

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Sistemas de Monitoramento e Gestão de Consumo Energético em Edifícios Residenciais

Rodrigo Luís Dias Leite de Pinho

WORKING VERSION



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: José Eduardo Neves dos Santos

March 25, 2025

Abstract

The increasing electricity consumption in residential buildings has driven the need for accessible and efficient solutions for energy monitoring and management. However, most solutions available on the market require replacing traditional meters with smart devices, making implementation expensive and less accessible for many households.

This work presents the development of an energy monitoring system based on non-invasive sensors and local storage, allowing data collection and detailed consumption analysis without requiring modifications to the electrical infrastructure of the house. The system consists of an Arduino Uno R3 microcontroller, SCT-013 sensors for measuring electrical current, and ADS1115 converters for analog-to-digital conversion, ensuring precise and continuous measurements. Data is recorded every 10 seconds and stored in CSV files on an SD card, organized to facilitate subsequent analysis.

The proposed approach enables consumption segmentation by sector, including climate control, outlets and appliances, electric vehicle charging, and lighting (estimated indirectly), allowing the identification of usage patterns, consumption peaks, and energy inefficiencies. To assess household efficiency, the measured values were compared with theoretical estimates based on the specific power of appliances in W/m^2 .

Experimental tests demonstrated that the developed system effectively detects anomalous consumption and provides a sectorized energy analysis of the household, delivering reliable data for implementing optimization strategies. Additionally, using local storage ensures system autonomy, eliminating the need for internet connectivity or integration with external servers, thus enhancing data accessibility and privacy.

The results validate the applicability of this system in various residential contexts, offering a low-cost and easily implementable alternative for electricity consumption monitoring. The proposed solution represents an advancement in intelligent energy management, promoting a more efficient use of resources and contributing to cost reduction and environmental impact mitigation.

Keywords: Energy Consumption Monitoring, Non-Invasive Sensors, Arduino, Local Storage, Energy Efficiency.

Resumo

O crescente consumo de energia elétrica em habitações residenciais tem impulsionado a necessidade de soluções acessíveis e eficientes para monitorização e gestão do consumo energético. No entanto, grande parte das soluções disponíveis no mercado exige a substituição dos contadores tradicionais por dispositivos inteligentes, tornando a implementação dispendiosa e pouco acessível para muitas residências.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitorização energética baseado em sensores não invasivos e armazenamento local, permitindo a recolha e análise detalhada dos consumos sem necessidade de alterações na infraestrutura elétrica da habitação. O sistema é composto por um microcontrolador Arduino Uno R3, sensores SCT-013 para medição da corrente elétrica e conversores ADS1115 para conversão analógico-digital, garantindo medições precisas e contínuas. Os dados são registados a cada 10 segundos e armazenados em ficheiros CSV num cartão SD, organizados de forma a facilitar a sua análise posterior.

A abordagem adotada permite segmentar o consumo por setores, como climatização, tomadas e equipamentos, carregamento de veículos elétricos e iluminação (estimada indiretamente), possibilitando a identificação de padrões de utilização, picos de consumo e desperdícios energéticos. Para avaliar a eficiência da habitação, os valores medidos foram comparados com estimativas teóricas calculadas com base na potência específica dos equipamentos em W/m^2 .

Os testes experimentais demonstraram que o sistema desenvolvido é eficaz na deteção de consumos anómalos e na análise individualizada dos setores energéticos da habitação, fornecendo dados fiáveis para a implementação de estratégias de optimização. Além disso, a utilização de armazenamento local garante a total autonomia do sistema, dispensando a necessidade de ligação à internet ou integração com servidores externos, assegurando maior acessibilidade e privacidade dos dados recolhidos.

Os resultados obtidos validam a aplicabilidade deste sistema em diferentes contextos residenciais, oferecendo uma alternativa de baixo custo e fácil implementação para monitorização do consumo elétrico. A solução proposta representa um avanço na gestão inteligente da energia, promovendo uma utilização mais eficiente dos recursos e contribuindo para a redução de custos e impacto ambiental.

Palavras-chave: Monitorização de Consumo Energético, Sensores Não Invasivos, Arduino, Armazenamento Local, Eficiência Energética.

Agradecimentos

Chegar aqui foi uma aventura. Foram anos de desafios, de noites mal dormidas, de frustração e conquistas, mas também de momentos que vou levar comigo para sempre. Não fiz este caminho sozinho e, agora que esta etapa chega ao fim, há pessoas e experiências que marcaram este percurso de uma forma que nunca vou esquecer.

Aos meus pais, obrigado por me deixarem seguir o meu caminho e por nunca hesitarem em apoiar-me, mesmo nos momentos em que nem eu tinha certeza do que estava a fazer. Deram-me a oportunidade de estudar aquilo que quis e sempre fizeram com que acreditasse que o futuro estava nas minhas mãos. Sei que este percurso foi meu, mas sem vocês, nada disto teria sido possível.

Aos amigos que estiveram sempre por perto, obrigado por tornarem esta jornada muito mais do que apenas aulas e exames. A faculdade deu-me conhecimento, mas também deu-me pessoas que sei que vou levar comigo para a vida. Obrigado por estarem lá nos momentos de stress, de exaustão e de dúvida, mas também nas celebrações, nos risos e em todas as pequenas coisas que tornaram este percurso tão especial.

Aos professores, especialmente aos do mestrado, obrigado por nunca virarem costas às dúvidas e por estarem sempre disponíveis para ajudar. Tive o privilégio de aprender com excelentes profissionais e, mais do que isso, com grandes exemplos de dedicação e conhecimento. Tenho orgulho em ter sido aluno de quem realmente faz a diferença na ciência. Falando em professores, não posso deixar de fazer um agradecimento especial ao professor José Neves dos Santos por ter aceitado fazer parte deste projeto, o mais importante do meu percurso académico. A sua orientação, disponibilidade e conhecimentos foram essenciais para que eu pudesse atingir o melhor resultado possível. Ter um professor assim ao meu lado fez toda a diferença, e fico grato por todo o apoio e confiança depositados neste trabalho.

À VAPROJ, empresa que me recebeu para realizar esta dissertação, obrigado pela oportunidade e pela experiência que me proporcionaram. Foi aqui que descobri o verdadeiro significado de resiliência, o valor do trabalho e, acima de tudo, a importância do trabalho em equipa. Aprendi que a teoria ganha vida quando colocada em prática e que cada desafio ultrapassado é uma oportunidade de crescimento. Esta experiência marcou-me e ajudou-me a preparar para o que vem a seguir.

Este trabalho é o fim de um ciclo, mas também o início de algo novo. Foi intenso, foi difícil, mas foi incrível. E se cheguei até aqui, foi porque tive as pessoas certas ao meu lado. Obrigado a todos.

Rodrigo Pinho

“É preciso sair da ilha para ver a ilha. Não nos vemos se não saímos de nós.”

José Saramago

Contents

1	Introdução	1
1.1	Definição do problema	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	3
1.3.1	Aquisição de Dados	3
1.3.2	Organização e Armazenamento dos Dados	4
1.3.3	Análise dos Dados e Justificação dos Comportamentos	4
1.3.4	Validação e Comparação dos Resultados	4
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Estado da Arte	7
2.1	Introdução à Monitorização de Energia	7
2.2	Tecnologias de Monitorização	8
2.2.1	Contadores Inteligentes (Smart Meters)	10
2.2.2	Sensores Não Invasivos (Transformadores de Corrente)	11
2.2.3	Conversor Analógico-Digital (ADC)	13
2.3	Microcontroladores para Monitorização de Consumo Energético	15
2.3.1	Protocolos de Comunicação em Microcontroladores	18
2.4	ZWCAD: Ferramenta para Projetos de Engenharia	19
2.5	Métodos de Análise de Dados	20
2.5.1	Gestão de Dados e Padrões de Consumo	20
2.5.2	Integração de inquéritos qualitativos	22
2.5.3	Armazenamento Local de Dados na Monitorização de Energia	23
2.5.4	Armazenamento Remoto de Dados na Monitorização de Energia	24
2.6	Soluções Existentes no Mercado para Monitorização de Energia	25
3	Desenvolvimento e Implementação do Sistema de Monitorização	29
3.1	Arquitetura do Sistema	29
3.2	Hardware Utilizado	31
3.3	Plano de Ligações	33
3.3.1	Conexão dos Leitores de Corrente SCT-013 aos Conversores ADC (ADS1115)	33
3.3.2	Conexão dos ADS1115 ao Arduino via I2C	34
3.3.3	Conexão do Módulo SD ao Arduino	35
3.3.4	Alimentação do Sistema	36
3.4	Implementação	36
3.4.1	Configuração do Sistema:	38
3.4.2	Função de Configuração	39
3.4.3	Fluxo Principal do Programa:	40

3.4.4	Leitura de Sensores	41
3.4.5	Gravação de Dados	43
3.4.6	Gestão de Ficheiros	45
3.4.7	Reinício de Valores Máximos	46
3.5	Critérios de Análise	48
3.5.1	Picos de consumo	48
3.5.2	Consumo Fantasma	50
3.5.3	Padrões Sazonais	51
4	Metodologia de Análise e Tratamento de Dados	54
4.1	Objetivos do Inquérito	54
4.2	Estrutura do Inquérito	56
4.2.1	Perfil dos Residentes e Rotina Diária	56
4.2.2	Divisão por Setores de Consumo	57
4.3	Estimativa do Consumo Teórico por Setores	59
5	Resultados	66
5.1	Mapeamento de Dados com Base no Inquérito	66
5.1.1	Estrutura do Inquérito e Recolha de Dados	67
5.1.2	Estimativa de Consumo Teórico	70
5.1.3	Estimativa do Consumo Teórico do Carregamento de Veículos Elétricos	74
5.1.4	Estimativa do Consumo Proveniente de Energia Renovável	75
5.2	Resultados Obtidos pelo Sistema de Monitorização	76
5.2.1	Consumo Instantâneo por Setor (Dia Útil)	78
5.2.2	Consumo Instantâneo por Setor (Fim de Semana)	81
5.2.3	Balanço do Consumo (Dia Útil vs. Fim de Semana)	84
5.2.4	Distribuição Percentual do Consumo por Setores	86
5.2.5	Estimativa Indireta do Consumo de Iluminação	87
5.2.6	Estimativa Indireta do Consumo Fantasma	88
6	Problemas Identificados e Estratégias de Otimização	90
6.1	Padrões de Consumo e Ineficiências Identificadas	91
6.1.1	Comparação com o Consumo Teórico	91
6.1.2	Ineficiências Energéticas Identificadas	91
6.1.3	Impacto das Ineficiências no Consumo Global	93
6.2	Soluções e Estratégias para Eficiência Energética	94
7	Conclusão	96
7.1	Síntese dos Resultados	96
7.2	Contribuições do Estudo	97
7.3	Limitações e Desafios	99
7.4	Considerações Finais	101
	References	102

List of Figures

2.1	Ring Main Unit - RMU. [9]	9
2.2	Sensor de corrente não invasivo: SCT-013. [24]	11
2.3	Circuito interno do sensor SCT-013.	12
2.4	Conversor analógico-digital ADS1115. [36]	14
2.5	Diagrama de um protocolo de comunicação.[35]	18
2.6	Estrutura de um Prédio em modelação 2D - ZWCAD.	20
2.7	Impacto na consciencialização através da integração de inquéritos. [20]	23
2.8	Leitor de cartões MicroSD para conectar com Microcontrolador.[6]	24
2.9	Interface do sistema de monitorização de consumo energético Efergy "eLink".[26]	26
2.10	Arquitetura do sistema de monitorização energética do TP-Link Kasa Smart Plug.	27
2.11	Equipamento de Monitorização TED 2.0.	27
3.1	Diagrama de Blocos da Arquitetura do Sistema.	30
3.2	Ligação entre Leitores de Corrente e o Conversor Analogico-Digital.	34
3.3	Protocolo de Endereçamento entre conversores ADC e Arduino.	35
3.4	Representação Esquemática do endereçamento realizado.	35
3.5	Representação gráfica das ligações entre o módulo SDCard e o Arduino.	36
3.6	Bibliotecas utilizadas e Inicialização de variáveis.	38
3.7	Verificação do funcionamento dos equipamentos - setup().	39
3.8	Fluxo Principal do Programa - loop().	40
3.9	Análise e Recolha de Dados dos Sensores - readADS().	42
3.10	Exemplo de medições de corrente ao longo do tempo.	43
3.11	Gravação de Dados - SaveToSD().	44
3.12	Segmentação dos Dados - CreateNewFile().	45
3.13	Reinício de Valores Máximo - ResetPeakValues().	46
5.1	Questões do Inquérito relativas ao perfil de ocupação.	68
5.3	Questões do Inquérito relativas ao consumo de tomadas e equipamentos.	68
5.4	Questões do Inquérito relativas ao consumo de equipamentos de maior consumo.	68
5.2	Questões do Inquérito relativas ao consumo de iluminação.	69
5.5	Questões do Inquérito relativas ao consumo de equipamentos de climatização.	69
5.6	Questões do Inquérito relativas ao carregamento de veículos elétricos.	69
5.7	Questões do Inquérito relativas à produção de energia renovável.	70
5.8	Períodos de Utilização e Frequência por Setor de Consumo.	70
5.9	Consumo estimado nos diferentes setores de consumo.	76
5.10	Configuração do sistema de monitorização elétrica.	77
(a)	Equipamento de Monitorização	77
(b)	Leitura dos diferentes circuitos do quadro elétrico	77

5.11	Dados Recolhidos no Quadro Geral de Entrada ao longo de um Dia Útil.	78
(a)	Potência Instantânea	78
(b)	Energia Consumida por hora	78
5.12	Dados Recolhidos nos circuitos de Tomadas e Equipamentos ao longo de um Dia Útil.	79
(a)	Potência Instantânea	79
(b)	Energia Consumida por hora	79
5.13	Dados Recolhidos nos circuitos de climatização ao longo de um Dia Útil.	80
(a)	Potência Instantânea	80
(b)	Energia Consumida por hora	80
5.14	Dados Recolhidos nos circuitos de Carregamento de Veículos Elétricos ao longo de um Dia Útil.	81
(a)	Potência Instantânea	81
(b)	Energia Consumida por hora	81
5.15	Dados Recolhidos no Quadro Geral de Entrada ao longo do Fim de Semana.	82
(a)	Potência Instantânea	82
(b)	Energia Consumida por hora	82
5.16	Dados Recolhidos nos circuitos de Tomadas e Equipamentos ao longo do Fim de Semana.	83
(a)	Potência Instantânea	83
(b)	Energia Consumida por hora	83
5.17	Dados Recolhidos nos circuitos de Climatização ao longo do Fim de Semana.	83
(a)	Potência Instantânea	83
(b)	Energia Consumida por hora	83
5.18	Dados Recolhidos nos circuitos de Carregamento de Veículos Elétricos ao longo do Fim de Semana.	84
(a)	Potência Instantânea	84
(b)	Energia Consumida por hora	84
5.19	Balanco de Consumo durante um Dia Útil.	85
5.20	Balanco de Consumo durante o Fim de Semana.	85
5.21	Distribuição Percentual do Consumo por Setores.	86
(a)	Distribuição Percentual do Consumo durante um Dia Útil	86
(b)	Distribuição Percentual do Consumo durante o Fim de Semana	86

List of Tables

2.1	Comparação entre Contadores Inteligentes e Sensores Não Invasivos.[18]	13
2.2	Comparação de Conversores ADC.[29]	15
2.3	Comparação entre diferentes microcontroladores.	17
5.1	Parâmetros de consumo dos principais equipamentos.	72
6.1	Comparação entre Consumo Teórico e Medido.	91

Abreviaturas e Símbolos

ADC	Analog-to-Digital Converter (Conversor Analógico-Digital)
CSV	Comma-Separated Values (Valores Separados por Vírgulas)
EV	Electric Vehicle (Veículo Elétrico)
IoT	Internet of Things
I2C	Inter-Integrated Circuit (Protocolo de Comunicação de Circuitos Integrados)
kWh	Kilowatt-hour (Quilowatt-hora, unidade de energia)
LED	Light Emitting Diode (Díodo Emissor de Luz)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisão e Aquisição de Dados)
SPI	Serial Peripheral Interface (Protocolo de Comunicação em Série)
SCT	Split-Core Transformer (Transformador de Núcleo Dividido, utilizado em sensores de corrente não invasivos)
SD	Secure Digital (Cartão de Memória SD)

Chapter 1

Introdução

O consumo de energia elétrica em residências tem vindo a crescer significativamente nos últimos anos, resultando em custos elevados para os utilizadores. No entanto, a falta de um sistema de monitorização acessível e preciso impede que os consumidores identifiquem quais dispositivos ou setores são responsáveis pelos maiores consumos.

A maioria dos sistemas de monitorização disponíveis no mercado requer contadores inteligentes ou dispositivos integrados à infraestrutura elétrica da residência, o que pode tornar sua implementação cara e complexa. Como alternativa, este trabalho propõe um sistema externo de monitorização baseado em sensores não invasivos, que permite a medição do consumo elétrico sem a necessidade de modificações na rede elétrica.

O sistema desenvolvido utiliza sensores SCT-013 para a medição da corrente elétrica, conversor analógico-digital ADS1115 para garantir alta precisão das leituras, e um microcontrolador Arduino Uno R3 para processamento dos dados. Os valores medidos são armazenados localmente num cartão SD, permitindo que os utilizadores analisem os padrões de consumo ao longo do tempo e comparem seus dados com referências de eficiência energética baseadas em W/m^2 .

1.1 Definição do problema

A eficiência energética tem revelado ser um tema de grande importância no contexto residencial, especialmente devido ao aumento dos custos de eletricidade e à necessidade de redução do consumo de energia para minimizar o impacto ambiental. Muitos utilizadores notam aumentos significativos nas suas faturas elétricas, mas não possuem meios eficazes para identificar quais dispositivos ou setores da casa são responsáveis pelos maiores consumos. A ausência de dados detalhados dificulta a adoção de medidas corretivas e a otimização do uso da eletricidade, resultando frequentemente em desperdícios evitáveis.

Os sistemas tradicionais de monitorização de consumo elétrico geralmente exigem a instalação de contadores inteligentes ou soluções que requerem modificações na infraestrutura elétrica, o que pode representar um investimento elevado ou até mesmo inviável para muitos utilizadores. Dessa

forma, a falta de acessibilidade a soluções práticas e eficientes de monitorização energética torna-se um problema significativo, principalmente para aqueles que desejam obter um maior controlo sobre seus consumos de eletricidade sem a necessidade de alterar a infraestrutura da rede.

Além disso, a maioria das soluções comerciais limita-se a fornecer dados em tempo real sem permitir um armazenamento detalhado para análise histórica. Isso impede os utilizadores de identificar padrões de consumo ao longo do tempo, dificultando a deteção de hábitos ineficientes, picos de consumo e possíveis falhas em equipamentos elétricos.

Diante desse cenário, surge a necessidade de um sistema alternativo de monitorização elétrica, capaz de medir e armazenar dados de consumo energético utilizando sensores não invasivos, que possam ser facilmente implementados sem a necessidade de modificações estruturais na rede elétrica da residência. Um sistema como este permitiria uma análise detalhada e contínua dos dados armazenados, fornecendo informações estratégicas para que os utilizadores possam tomar decisões mais conscientes sobre seu consumo de energia.

Este trabalho procura responder à seguinte questão:

"É possível desenvolver um sistema completo e confiável para monitorização do consumo elétrico residencial sem um investimento elevado?"

A resposta a essa questão pode ter um impacto direto na gestão do consumo energético residencial, tornando possível evitar alterações na infraestrutura elétrica, a otimização do uso de aparelhos elétricos e o incentivo a hábitos de consumo mais sustentáveis.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição de consumo elétrico em tempo real, utilizando sensores não invasivos e armazenamento local para permitir uma análise detalhada dos padrões de consumo energético. O sistema proposto pretende ser uma solução acessível e de fácil implementação, permitindo que os utilizadores monitorizem e compreendam melhor o seu consumo de energia elétrica sem necessidade de modificações estruturais na instalação elétrica da habitação.

Através da utilização de sensores SCT-013 para a medição da corrente elétrica e de conversores analógico-digitais ADS1115 para aumentar a precisão das leituras, o sistema recolhe dados em tempo real e armazena-os num cartão SD. Estes dados podem posteriormente ser analisados através de ferramentas como o Excel, possibilitando a identificação de padrões de consumo, desperdícios energéticos e a comparação com referências de eficiência energética baseadas em W/m².

Desta forma, o sistema pretende oferecer um método eficaz para reduzir o desperdício de energia e otimizar o consumo residencial, auxiliando na gestão energética dos utilizadores.

Para atingir este objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- **Desenvolver um sistema de medição de corrente elétrica** baseado em sensores SCT-013, garantindo que os dados recolhidos e armazenados sejam confiáveis e representativos do consumo real.

- **Implementar um método de conversão analógica-digital** utilizando o ADS1115 para assegurar a precisão das medições.
- **Desenvolver um código otimizado em C++ (Arduino IDE)** para gerir a aquisição de dados, garantindo eficiência na recolha e gravação dos valores medidos em um curto intervalo de tempo.
- **Criar um sistema de armazenamento de dados local num cartão SD**, garantindo que as leituras sejam registadas de forma contínua e acessível para futuras análises.
- **Analisar os padrões de consumo elétrico** ao longo do tempo, possibilitando a identificação de equipamentos de elevado consumo e períodos críticos de maior desperdício energético.
- **Comparar os valores recolhidos com padrões médios** de consumo por setor e em W/m^2 , permitindo detetar desperdícios e oportunidades de otimização.
- **Explorar potenciais melhorias e expansões do sistema**, incluindo a possibilidade de integração futura com conectividade remota (IoT) para visualização dos dados em tempo real através de plataformas web ou aplicações móveis.

A concretização destes objetivos permitirá a implementação de um sistema inovador e acessível de monitorização energética, fornecendo informações valiosas para os utilizadores reduzirem o consumo desnecessário de eletricidade e otimizarem os seus custos mensais. Além disso, a estrutura modular do sistema possibilita a sua adaptação a diferentes tipos de habitação e aplicações comerciais, ampliando o seu impacto no setor da eficiência energética.

1.3 Metodologia

A abordagem metodológica adotada combina medições experimentais, armazenamento local dos dados e análise qualitativa através de inquéritos aos residentes, garantindo uma interpretação mais completa dos padrões de consumo observados.

A metodologia do projeto pode ser dividida em três fases principais:

1.3.1 Aquisição de Dados

O sistema foi desenvolvido utilizando um Arduino Uno R3, que atua como unidade de processamento para os dados adquiridos pelos sensores. Os principais componentes utilizados são:

- **Sensores SCT-013**, responsáveis pela medição da corrente elétrica de forma não invasiva, convertendo a corrente alternada lida por um valor de tensão entre 0 e 1.
- **Conversor ADC ADS1115**, que melhora a precisão da leitura da corrente ao converter o sinal analógico dos sensores para valores digitais a processar pelo microcontrolador.

- **Cartão SD**, onde os dados são armazenados em formato CSV, permitindo um armazenamento contínuo e acessível para análise posterior.

A aquisição de dados ocorre de forma periódica, com medições sendo realizadas a cada 10 segundos. Para evitar sobrecarga de dados e garantir a organização das informações, um novo arquivo de registo é criado a cada 24 horas, garantindo que os dados sejam arquivados de maneira estruturada e cronológica.

1.3.2 Organização e Armazenamento dos Dados

O armazenamento dos dados no cartão SD é realizado em arquivos CSV, que contêm informações detalhadas sobre:

- **Timestamp** (tempo em segundos desde o início da medição).
- **Identificação do sensor e setor de consumo** ao qual a medição corresponde.
- **Valor da corrente elétrica** medida (A).

Essa estrutura facilita a posterior importação dos dados para ferramentas de análise, como Excel, onde são gerados gráficos e tabelas comparativas para identificar tendências de consumo ao longo do dia.

1.3.3 Análise dos Dados e Justificação dos Comportamentos

Após a recolha das medições, os dados são comparados com padrões médios de consumo residencial em W/m², permitindo avaliar se determinado setor da casa apresenta consumos anormalmente elevados. Para uma interpretação mais contextualizada, foi realizado um inquérito aos residentes, que teve um papel essencial na justificação de certos padrões invulgares de consumo.

Através do inquérito, os residentes foram questionados sobre:

- **Hábitos diários de consumo energético** (ex.: horários de maior uso de eletrodomésticos, disparidade entre rotina de semana e de fim de semana).
- **Picos de consumo identificados** e possíveis causas explicadas pelos próprios utilizadores.

A integração das respostas do inquérito com os dados registados permite correlacionar os eventos de consumo com a rotina da residência, validando a exatidão dos dados coletados e explicando anomalias ou padrões inesperados.

1.3.4 Validação e Comparação dos Resultados

Com base nos dados recolhidos e nas respostas dos residentes, são gerados gráficos comparativos, destacando:

- **Identificação de picos de consumo** nos diferentes setores de consumo, analisando possíveis avarias ou desgaste em equipamentos.
- **Comparação com padrões médios de consumo energético residencial**, permitindo a identificação de oportunidades de poupança

A metodologia proposta permite não apenas um registo contínuo e preciso do consumo elétrico, mas também a identificação de comportamentos energéticos específicos que podem estar a impactar significativamente os custos mensais. A combinação de medições objetivas e feedback qualitativo dos residentes garante uma análise abrangente e aplicável à realidade das habitações estudadas.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, estruturados de forma a apresentar de maneira clara e sequencial os fundamentos, metodologias, resultados e conclusões do trabalho desenvolvido.

O Capítulo 1 introduz o tema da dissertação, apresentando a definição do problema e a sua relevância no contexto da eficiência energética. São também definidos os objetivos principais e específicos, bem como a metodologia adotada, detalhando os processos de aquisição, organização e análise dos dados recolhidos. A estrutura global da dissertação é igualmente descrita, fornecendo uma visão geral do desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 2 foca-se no estado da arte, abordando conceitos fundamentais relacionados com a monitorização de energia. São apresentados temas como tecnologias de monitorização, sensores não invasivos, microcontroladores e protocolos de comunicação. Além disso, é discutida a utilização de ferramentas de apoio ao projeto de engenharia e metodologias de análise e armazenamento de dados. O capítulo inclui ainda uma revisão de equipamentos disponíveis no mercado, permitindo o enquadramento do projeto no contexto das soluções existentes.

O Capítulo 3 apresenta o desenvolvimento e implementação do sistema de monitorização, descrevendo a arquitetura do sistema, os componentes de hardware utilizados e a estrutura das ligações elétricas entre os dispositivos. São detalhadas as diferentes etapas da implementação, incluindo a programação do microcontrolador, os critérios definidos para a recolha e armazenamento dos dados e os métodos de análise adotados. Este capítulo estabelece as bases técnicas do sistema desenvolvido.

O Capítulo 4 descreve a metodologia de análise e tratamento de dados, com ênfase na estruturação do inquérito qualitativo realizado junto aos residentes, que permitiu mapear os hábitos de consumo energético. São também apresentados os métodos de estimativa teórica do consumo energético por setores, fundamentais para a posterior comparação com os valores efetivamente medidos pelo sistema.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos pelo sistema de monitorização, detalhando as medições recolhidas e analisadas. São incluídos gráficos representativos do consumo instantâneo

por setor, a comparação entre dias úteis e fins de semana, bem como uma análise do balanço energético da habitação. Além disso, são estimados de forma indireta os valores de consumo da iluminação e do consumo fantasma, com base nos dados registrados.

No Capítulo 6, são discutidos os problemas identificados e estratégias de otimização, avaliando padrões de consumo, ineficiências energéticas e impactos no consumo global. Com base nesta análise, são apresentadas estratégias para melhorar a eficiência energética da habitação, reduzindo desperdícios e otimizando o uso dos equipamentos elétricos.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões finais da dissertação, resumindo os principais resultados alcançados, as contribuições do estudo e as limitações encontradas. São também sugeridas perspectivas futuras para a evolução do sistema de monitorização, explorando possíveis melhorias e novas aplicações. O capítulo encerra a dissertação destacando a relevância do trabalho desenvolvido e o seu impacto na promoção de práticas energéticas mais sustentáveis.

Esta estrutura permite uma abordagem progressiva e coerente, guiando o leitor desde os conceitos fundamentais até à aplicação prática do sistema e às suas implicações na otimização do consumo energético.

Chapter 2

Estado da Arte

A crescente necessidade de eficiência energética e gestão inteligente do consumo elétrico tem impulsionado avanços na área da monitorização de energia. O desenvolvimento de novas tecnologias, aliado à crescente digitalização das infraestruturas elétricas, tem permitido a implementação de soluções cada vez mais precisas e acessíveis. Neste capítulo, são exploradas as principais abordagens utilizadas na monitorização de energia, desde sistemas tradicionais a soluções inovadoras que integram sensores, algoritmos avançados de análise e plataformas de gestão remota.

A evolução das metodologias de monitorização tem acompanhado as exigências dos consumidores e das empresas, permitindo não apenas a recolha de dados em tempo real, mas também a identificação de padrões de consumo e a deteção precoce de anomalias. Além disso, a integração de redes inteligentes e a adoção de sensores não invasivos têm desempenhado um papel crucial na democratização do acesso a informações detalhadas sobre o consumo energético, promovendo a otimização de recursos e a redução do desperdício.

Neste contexto, este capítulo aborda as diferentes tecnologias disponíveis para a monitorização de energia, desde medidores inteligentes (smart meters) a sensores de corrente não invasivos, bem como os protocolos de comunicação utilizados para a transmissão e processamento dos dados recolhidos. São ainda exploradas as principais ferramentas e metodologias empregues na análise dos consumos, destacando as vantagens e limitações das soluções existentes no mercado.

2.1 Introdução à Monitorização de Energia

O aumento da procura por energia elétrica, impulsionado pelo crescimento populacional e pelo avanço tecnológico, tem vindo a colocar desafios significativos no setor energético. A crescente dependência de dispositivos eletrónicos e eletrodomésticos intensivos em energia resulta numa maior pressão sobre as infraestruturas elétricas e, conseqüentemente, num aumento dos custos para os consumidores finais. Adicionalmente, a elevada utilização de fontes de energia não renováveis tem implicações diretas nas alterações climáticas e na sustentabilidade ambiental (International Energy Agency, 2022) [17]. Perante este cenário, a monitorização do consumo energético em ambientes residenciais surge como uma estratégia fundamental para a otimização do uso da

eletricidade, permitindo a redução do desperdício energético e a promoção de um consumo mais eficiente.

A monitorização detalhada do consumo de energia possibilita aos utilizadores uma maior perceção sobre os seus hábitos de consumo, permitindo a identificação de padrões e a deteção de eventuais ineficiências ou desperdícios. Estudos recentes demonstram que a adoção de sistemas de medição e monitorização de energia pode resultar numa redução significativa do consumo elétrico residencial. De acordo com um relatório da European Commission on Energy Efficiency (2022) [7], a implementação de sistemas de monitorização doméstica pode reduzir o consumo de eletricidade entre 10% a 15% [7, p. 88–91], através de uma melhor consciencialização e gestão do uso dos equipamentos elétricos. Por outro lado, neste estudo é evidenciado que os utilizadores que têm acesso a feedback em tempo real sobre o seu consumo energético tendem a ajustar os seus hábitos de utilização, resultando numa economia média anual de cerca de 12% na fatura elétrica.

A importância da monitorização do consumo energético reside também na possibilidade de deteção de anomalias, tais como consumos fantasma ou avarias em dispositivos elétricos. Estudos indicam que até de 10% do consumo elétrico doméstico corresponde a cargas de standby, provenientes de dispositivos que permanecem ligados mesmo quando não estão a ser utilizados [7, p. 86]. A identificação desses consumos ocultos permite aos utilizadores adotar medidas corretivas e reduzir desperdícios.

No entanto, apesar das vantagens, a implementação de sistemas de monitorização de energia em ambientes residenciais enfrenta alguns desafios. A maioria das soluções comerciais disponíveis requer a instalação de contadores inteligentes, que implicam um custo elevado e, em muitos casos, dependem de infraestrutura de comunicação avançada. Esta barreira tecnológica torna-se um entrave à massificação destes sistemas em habitações mais antigas ou em regiões onde a infraestrutura energética não suporta este tipo de tecnologia. Além disso, muitos consumidores não possuem conhecimentos técnicos para interpretar corretamente os dados apresentados por estas soluções, tornando essencial a criação de interfaces intuitivas que simplifiquem a análise da informação recolhida.

2.2 Tecnologias de Monitorização

A monitorização de redes elétricas tem evoluído significativamente com o advento de tecnologias mais avançadas e acessíveis. Atualmente, sistemas de monitorização desempenham um papel crucial na recolha de dados em tempo real, permitindo análises detalhadas do comportamento das redes e a identificação de anomalias, perdas energéticas e padrões de consumo. Estas tecnologias abrangem desde sensores simples a sistemas integrados mais complexos, frequentemente associados a redes inteligentes.

Uma das principais aplicações da monitorização reside na medição contínua de variáveis como tensão, corrente e potência ativa e reativa, fundamentais para a gestão eficiente de redes de baixa

tensão. Como abordado em [33], sensores inteligentes e módulos de comunicação têm sido amplamente utilizados para recolher dados em tempo real e transmiti-los para centros de dados centralizados. Estes dados, uma vez integrados em plataformas de gestão, como os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), permitem consolidar medições e atuar de forma proativa em caso de falhas[9].

Adicionalmente, dispositivos como medidores avançados e unidades RMU (Ring Main Units), equipamento visível na figura 2.1 a baixo, têm desempenhado um papel essencial na eficiência e confiabilidade das redes. Estes dispositivos não só recolhem dados detalhados, mas também automatizam processos, incluindo redistribuição de cargas em resposta a picos de consumo e manutenção preditiva. Em redes inteligentes, estas tecnologias são frequentemente combinadas com protocolos de comunicação sem fios, como os módulos XBee, que asseguram uma integração rápida e confiável entre diferentes componentes da rede.



Figure 2.1: Ring Main Unit - RMU. [9]

No contexto de redes de baixa tensão [33], também é destacada a importância de sistemas que medem perdas energéticas e identificam pontos de stress na infraestrutura elétrica. Estes sistemas utilizam tecnologias como GSM/3G para garantir que os dados recolhidos estão disponíveis para análise em tempo real, mesmo em locais remotos. Contudo, como apontado no mesmo estudo, a confiabilidade na comunicação em áreas com cobertura limitada e a recuperação de dados em caso de falhas são desafios ainda por superar.

Por outro lado, a monitorização em tempo real tem demonstrado aplicações diretas em redes residenciais e comerciais. Estes sistemas permitem aos consumidores finais compreender os seus padrões de consumo energético e adotar estratégias para reduzir desperdícios. Os dados recolhidos por sensores são frequentemente utilizados para identificar anomalias, como consumos fantasma ou picos de energia em horários específicos, permitindo a tomada de decisões informadas para melhorar a eficiência energética[9].

Em suma, de acordo com o documento [34] onde são abordados meios de controlo e medição em maior escala, as tecnologias de monitorização são indispensáveis para a gestão moderna de

redes elétricas, desde redes de baixa tensão até redes inteligentes. Apesar de desafios como custos iniciais e complexidade de infraestrutura, estas tecnologias oferecem benefícios claros na redução de perdas, melhoria da eficiência energética e maior confiabilidade da rede, alinhando-se às crescentes demandas por redes mais inteligentes e sustentáveis.

2.2.1 Contadores Inteligentes (Smart Meters)

Os contadores inteligentes, ou smart meters, têm se destacado no avanço das redes elétricas modernas, desempenhando um papel central na transição para sistemas energéticos mais eficientes e sustentáveis. Estes dispositivos oferecem funcionalidades muito além da medição básica de consumo elétrico, permitindo uma comunicação bidirecional entre os consumidores e as empresas fornecedoras de energia. Como abordado no relatório da IEI (Institute for Electric Innovation), os medidores inteligentes funcionam como a base digital para a infraestrutura energética, permitindo a monitorização contínua da rede e a integração de recursos distribuídos de energia [13].

Uma das principais vantagens dos medidores inteligentes é a capacidade de recolher dados detalhados sobre o consumo energético em tempo real, incluindo variáveis como tensão, corrente e potência ativa e reativa. Estes dados, são essenciais para prever cargas futuras e para gerir o consumo energético, reduzindo o risco de desequilíbrios no sistema [16]. A possibilidade de transmissão destes dados via tecnologias como Wi-Fi, GSM e fibra ótica também promove uma análise mais precisa e em tempo real, facilitando decisões baseadas em dados sobre a operação da rede.

Além disso, os contadores inteligentes permitem a aplicação de programas de controlo de preço de forma dinâmica, como tarifas baseadas no horário de consumo. Essas estratégias incentivam os consumidores a ajustarem seus hábitos de uso para períodos de menor consumo, contribuindo para a eficiência energética global. A implementação de notificações automáticas sobre interrupções e alertas de uso excessivo também reforça o papel dos medidores na melhoria da experiência do consumidor e na redução de custos operacionais para as empresas [13].

No contexto de modernização das redes elétricas, os medidores inteligentes desempenham ainda um papel crucial na integração de fontes de energia renováveis, como solar e eólica. A capacidade de recolher a energia gerada por sistemas distribuídos e otimizar a sua distribuição na rede é essencial para garantir a estabilidade do sistema e maximizar o uso de fontes renováveis [16]. Conforme observado por Dewangan, esta integração exige uma análise contínua dos dados fornecidos pelos contadores, bem como a adoção de técnicas avançadas de previsão de cargas e comportamento do consumidor.

Por fim, a utilização de equipamentos inteligentes tem demonstrado benefícios tangíveis em termos de redução de custos operacionais e na melhoria do fornecimento de energia. Empresas como a Florida Power e Light relataram economias significativas em custos operacionais devido à capacidade de monitorização remoto e análise preditiva, evidenciando a eficácia desta tecnologia na modernização das redes elétricas [[13], p. 2-3].

2.2.2 Sensores Não Invasivos (Transformadores de Corrente)

Os sensores não invasivos têm emergido como uma solução prática e eficiente na monitorização de redes elétricas, permitindo a medição de corrente sem a necessidade de interromper o circuito elétrico. Estes dispositivos destacam-se pela simplicidade de instalação e segurança, eliminando a manipulação direta dos condutores [30].

O sensor SCT-013, ilustrado na figura 2.3, que opera com base no princípio dos transformadores de corrente, converte a corrente que circula no circuito primário em sinais elétricos proporcionais, permitindo a leitura de dados por microcontroladores. Estes sensores são amplamente utilizados em sistemas IoT para monitorizar padrões de consumo energético e identificar possíveis desperdícios [24]. Graças ao seu núcleo dividido, os SCT-013 podem ser facilmente instalados em cabos existentes, sem a necessidade de alterações no circuito [30].



Figure 2.2: Sensor de corrente não invasivo: SCT-013. [24]

A versatilidade dos SCT-013 permite medições em diferentes faixas de corrente, adaptando-se tanto a circuitos de baixa potência quanto a sistemas industriais. Este sensor é especialmente adequado para aplicações em casas inteligentes e pequenos negócios, oferecendo medições precisas a um custo acessível [15]. Além disso, a integração destes sensores com microcontroladores, como o Arduino, facilita a transformação dos sinais captados em dados úteis para análise de consumo energético [24].

Estes dispositivos são frequentemente utilizados para recolher dados que podem ser integrados em sistemas de análise em tempo real, contribuindo para a identificação de padrões de consumo e a otimização da utilização energética. Essa abordagem, associada ao baixo custo de implementação, torna os sensores não invasivos uma escolha popular em projetos de monitorização residencial e comercial [30].

Entre os vários sensores disponíveis no mercado, o **SCT-013** destaca-se como uma das opções mais utilizadas para aplicações de monitorização residencial e industrial. Este sensor foi selecionado para este trabalho devido às seguintes características:

- **Instalação simplificada** – Não requer cortes ou modificações no circuito elétrico.

- **Segurança** – Permite medições sem contacto direto com fios energizados.
- **Compatibilidade com microcontroladores** - Pode ser facilmente integrado com sistemas como *Arduino* e *ESP32*.
- **Precisão aceitável** para medições residenciais, sendo possível ajustar a sua calibração através de circuitos externos.

Sensor SCT-013

O SCT-013 é um sensor de corrente não invasivo, amplamente utilizado para a medição da corrente alternada (AC) em instalações elétricas. Este sensor baseia-se no princípio do transformador de corrente, utilizando a indução eletromagnética para captar o campo magnético gerado pela passagem de corrente através de um condutor elétrico. O núcleo do sensor, constituído por ferrite dividido, é colocado ao redor do cabo condutor sem necessidade de interromper o circuito, permitindo a medição sem a modificação da instalação elétrica existente.

Quando a corrente alternada flui através do condutor, o campo magnético gerado é captado pelo núcleo do transformador, o que induz uma corrente proporcional no circuito secundário do sensor. Esta corrente é posteriormente convertida numa saída de tensão analógica, que pode ser lida por sistemas eletrónicos como microcontroladores. A saída do SCT-013 é diretamente proporcional à corrente que passa no condutor primário. Por exemplo, num modelo que mede até 100A, a saída do sensor é de 1V, convertendo o sinal de corrente num sinal proporcional de tensão adequado para análise por dispositivos de monitorização. Na figura abaixo é possível ver uma representação do circuito interno do sensor em questão.

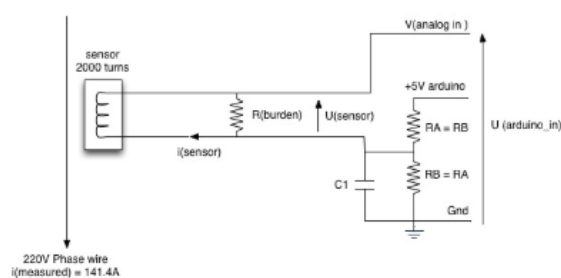


Figure 2.3: Circuito interno do sensor SCT-013.

Uma das principais características do SCT-013 é a sua linearidade, o que garante que a relação entre a corrente primária e a tensão de saída seja precisa e constante. Esta linearidade torna-o adequado para uma ampla variedade de aplicações, desde a monitorização de pequenos sistemas domésticos até grandes instalações comerciais. A sua precisão e não invasividade fazem deste sensor uma escolha ideal para sistemas de monitorização de consumo energético, sem a necessidade de intervenções intrusivas na infraestrutura elétrica.

As áreas de aplicação do SCT-013 são diversas, com destaque para o monitorização de consumo energético em edifícios residenciais, onde o sensor é integrado em sistemas de gestão doméstica para fornecer dados em tempo real sobre o uso de energia. Além disso, o SCT-013 é amplamente utilizado em sistemas de automação e domótica, permitindo o controlo e optimização de aparelhos elétricos em casas inteligentes. O sensor também tem aplicação em sistemas comerciais e industriais, onde o monitorização de grandes fluxos de corrente é essencial para a eficiência energética. Adicionalmente, em projetos de energia renovável, como sistemas de energia solar ou eólica, o SCT-013 é utilizado para monitorizar tanto a produção como o consumo de energia, oferecendo uma visão detalhada da eficiência do sistema[30].

Table 2.1: Comparação entre Contadores Inteligentes e Sensores Não Invasivos.[18]

Característica	Contadores Inteligentes	Sensores SCT-013
Custo	Alto	Baixo
Instalação	Complexa	Simples
Precisão	Muito alta	Média-Alta
Acesso aos Dados	Remoto (Wi-Fi/PLC)	Local (SD Card)
Autonomia	Depende da rede elétrica	Independente
Aplicação	Empresas elétricas	Uso residencial/DIY

A partir desta comparação reproduzida na forma de tabela 2.1, percebe-se que os medidores inteligentes são mais precisos, mas a sua instalação complexa e dependência da infraestrutura da operadora limitam a sua acessibilidade. Em contrapartida, os sensores não invasivos oferecem uma solução mais prática e económica, tornando-se ideais para utilizadores que desejam monitorizar o consumo sem recorrer a serviços externos.

2.2.3 Conversor Analógico-Digital (ADC)

A medição precisa do consumo energético exige que os valores captados pelos sensores sejam corretamente interpretados pelo sistema de monitorização. No caso dos sensores não invasivos como o SCT-013, a saída do sensor é um sinal analógico de baixa amplitude, o que requer um processo de conversão para um valor digital utilizável pelo microcontrolador. Para garantir maior precisão na leitura destes sinais, recorre-se a um conversor analógico-digital (ADC - Analog to Digital Converter). Um dos conversores de sinal analógico para digital mais utilizados em projetos que ainda se encontram em estado embrionário é o ADS1115[36].



Figure 2.4: Conversor analógico-digital ADS1115. [36]

Acima está uma imagem do módulo que permite a conversão de sinais analógicos com maior precisão do que as portas analógicas de vários microcontroladores, oferecendo uma resolução de 16 bits. Este conversor permite a detecção de variações mais subtis na corrente medida pelo sensores a ele ligados. Além disso, este conversor possui um amplificador de ganho programável (PGA - Programmable Gain Amplifier), que possibilita o ajuste da sensibilidade da leitura, otimizando a aquisição de dados.

Principais vantagens do ADS1115:

- **Maior precisão** – A conversão de 16 bits permite medições mais detalhadas.
- **Amplificador de ganho programável** – Ajusta o nível do sinal para melhor adequação à faixa de leitura.
- **Interface I2C** – Comunicação eficiente com o microcontrolador, utilizando poucos pinos.
- **Baixo consumo energético** – Ideal para aplicações de monitorização contínua.

Comparação com Alternativas

A selecção de um conversor analógico-digital (ADC) adequado é um passo crítico para garantir a precisão e a eficiência de sistemas de monitorização e controlo, como os utilizados neste trabalho. Existem várias opções disponíveis no mercado, cada uma com características técnicas e aplicabilidades específicas que as tornam mais ou menos adequadas a diferentes cenários.

A tabela seguinte 2.2 sintetiza esta informação, permitindo identificar as vantagens e limitações de cada dispositivo em função das necessidades do projeto.

- **Resolução e Precisão:** Conversores ADC variam de 10 a 24 bits de resolução. Maior resolução implica maior precisão na medição, sendo essencial para identificar pequenas variações na corrente eléctrica. ADCs como o LTC2499 (24 bits) oferecem alta precisão, mas sua baixa taxa de amostragem (7,5 SPS) pode ser uma limitação para aplicações que exigem medições em tempo real.[8]
- **Taxa de Amostragem:** A frequência de aquisição de dados pode impactar diretamente a capacidade de detecção de picos de consumo e variações rápidas na corrente eléctrica. Conversores como o MCP3008 (200 kSPS) e o INA226 (2.1 kSPS) possuem taxas de amostragem

Table 2.2: Comparação de Conversores ADC.[29]

Conversor	Resolução	Interface	Amostragem	Nº de Entradas
MCP3008	10 bits	SPI	200 kSPS	8 Canais Simples ou 4 Canais Diferenciais
ADS1115	16 bits	I2C	860 SPS	4 Canais Simples ou Diferenciais
MCP3424	12-18 bits	I2C	240 SPS	4 Canais Diferenciais
INA226	16 bits	I2C	2.1 kSPS	4 Canais Diferenciais
LTC2499	24 bits	I2C	7.5 SPS	16 Canais Diferenciais ou 8 Canais Simples

elevadas, sendo adequados para aplicações que exigem maior rapidez na captura dos sinais. [27]

- **Interface de Comunicação:** protocolo de comunicação utilizado pelo conversor ADC influencia a facilidade de integração com microcontroladores. Conversores I2C (ex: ADS1115, MCP3424, LTC2499, INA226) são amplamente utilizados devido à sua simplicidade e compatibilidade com diversos sistemas embarcados, enquanto ADCs que utilizam SPI (ex: MCP3008) oferecem velocidades de comunicação mais elevadas, mas requerem mais pinos para conexão. [1]
- **Número de Entradas:** Dependendo do número de sensores utilizados, pode ser necessário um ADC com mais canais de entrada. O LTC2499 (16 canais diferenciais ou 8 simples) é um dos mais versáteis, enquanto modelos como o ADS1115 e o MCP3424 oferecem 4 canais, podendo ser utilizados em modo diferencial ou simples. [27]

A seleção do conversor ADC ideal deve considerar o equilíbrio entre resolução, taxa de amostragem e facilidade de implementação, garantindo que as medições sejam precisas e confiáveis para a aplicação desejada. Estudos na literatura indicam que soluções baseadas em ADCs com 12 a 16 bits de resolução são suficientes para a maioria das aplicações de monitorização de consumo energético residencial, enquanto sensores industriais podem exigir resoluções superiores. A escolha de um conversor ADC para um sistema de monitorização energética depende de vários fatores, incluindo precisão, taxa de amostragem, consumo energético e complexidade de integração.

2.3 Microcontroladores para Monitorização de Consumo Energético

Os microcontroladores desempenham um papel fundamental em sistemas de monitorização de consumo energético, permitindo a aquisição, processamento e armazenamento de dados de sensores. A escolha de um microcontrolador para esse tipo de aplicação depende de diversos fatores,

incluindo consumo energético, capacidade de processamento, número de portas analógicas e digitais, conectividade e custo-benefício.

Atualmente, existem várias opções no mercado, cada uma com características específicas que as tornam mais adequadas para diferentes aplicações. A Tabela 2.3 apresenta uma comparação entre algumas das plataformas mais utilizadas em projetos de monitorização e automação, destacando os principais critérios analisados.

Opções de Microcontroladores para Monitorização Energética

- **Arduino Uno R3:** Um dos microcontroladores mais populares devido à sua simplicidade, baixo consumo energético e ampla documentação. Possui seis entradas analógicas e é amplamente utilizado em projetos educacionais, industriais e de automação residencial. Sua arquitetura baseada no ATmega328P oferece desempenho suficiente para aquisição e processamento de sinais analógicos provenientes de sensores de corrente e tensão.[31]
- **Arduino Uno R4 WiFi:** Versão mais recente do Uno, que adiciona capacidade Wi-Fi integrada e melhorias no processamento, mantendo a compatibilidade com bibliotecas e acessórios do Uno R3. É uma alternativa viável para aplicações que requerem comunicação remota, sem a necessidade de módulos adicionais. [28]
- **ESP32:** Um microcontrolador avançado que integra Wi-Fi e Bluetooth, permitindo comunicação remota e armazenamento em nuvem. Sua alta velocidade de processamento (240 MHz) o torna uma escolha comum em aplicações de Internet das Coisas (IoT). No entanto, seu consumo energético é superior ao de outras alternativas, o que pode ser uma limitação em sistemas que precisam operar continuamente com baixo consumo. [4]
- **Raspberry Pi:** Um minicomputador com elevado poder de processamento e suporte para sistemas operativos completos. É amplamente utilizado em aplicações de computação embarcada e processamento de dados avançados, mas sua ausência de portas analógicas e o consumo energético elevado limitam seu uso em sistemas de monitorização contínua baseados em sensores analógicos. [32]

Table 2.3: Comparação entre diferentes microcontroladores.

Crítério	Arduino Uno R3	ESP32	Arduino R4 Wifi	Raspberry Pi
Custo	Baixo	Médio	Médio	Alto
Consumo (W)	Baixo	Médio-Alto	Médio	Alto
Velocidade (MHz)	16	240	16	1500
Portas Analógicas	6	18	16	0
Comunicação	Nenhuma	Wi-Fi, BT	Wifi	Ethernet, Wi-Fi
Facilidade de Uso	Alta	Média	Alta	Baixa
Aplicação	Projetos básicos	IoT e automação	Projetos com comunicação	Computação embarcada

Como apresentado na tabela 2.3, todos estes microcontroladores são utilizados em diversos cenários, desde sistemas de monitorização até aplicações industriais e de Internet das Coisas (IoT). Em projetos orientados para monitorização doméstica, a simplicidade e a eficiência energética são fatores determinantes na escolha do hardware, levando ao uso frequente de microcontroladores como o Arduino Uno R3 e R4 WiFi. O Arduino Uno R3, devido ao seu baixo consumo energético e facilidade de programação, tem sido utilizado com sucesso em sistemas de monitorização de energia elétrica em residências, permitindo a recolha de dados sobre consumo de dispositivos específicos sem necessidade de infraestrutura complexa [31]. Da mesma forma, o Arduino Uno R4 WiFi surge como uma alternativa que mantém a simplicidade do modelo anterior, mas com a vantagem de possuir conectividade sem fio integrada, o que facilita a transmissão de dados para plataformas de análise remota, onde a integração com redes Wi-Fi permitiu o armazenamento contínuo de dados em servidores remotos. [28]

Dispositivos com conectividade embutida, como o ESP32, também têm sido explorados em projetos que exigem comunicação em tempo real e integração com serviços de armazenamento em nuvem. Em um estudo [4], o ESP32 foi utilizado em um sistema de monitorização de energia para otimização de consumo em escritórios inteligentes, demonstrando a sua versatilidade ao permitir a criação de redes de sensores interconectados que enviam dados de consumo energético para servidores centralizados. Apesar dessas vantagens, o seu consumo energético mais elevado em relação a outros microcontroladores pode ser um fator limitativo em aplicações que necessitam de funcionamento contínuo e de baixo consumo, tornando a sua utilização mais comum em sistemas que podem ser alimentados por fontes externas sem restrições de consumo.

2.3.1 Protocolos de Comunicação em Microcontroladores

Os protocolos de comunicação desempenham um papel fundamental no funcionamento de sistemas baseados em microcontroladores, permitindo a interação eficiente entre sensores, atuadores e dispositivos de armazenamento ou processamento. Estes protocolos garantem a troca de dados de forma estruturada e confiável, seja em aplicações locais ou em redes distribuídas.

Como abordado em [37], a comunicação entre microcontroladores e outros dispositivos no contexto da Internet das Coisas (IoT) recorre frequentemente a protocolos como I2C, SPI e UART. Estes protocolos são escolhidos pela sua simplicidade e pela capacidade de integrar múltiplos dispositivos com baixo consumo energético, uma característica essencial em sistemas embarcados. O protocolo I2C, por exemplo, destaca-se pela sua capacidade de conectar vários dispositivos através de apenas dois fios (SDA e SCL), simplificando a arquitetura do sistema e reduzindo custos de implementação. Já o SPI oferece maior velocidade de transmissão, sendo mais adequado para aplicações que requerem alta taxa de transferência de dados.

Outro aspeto relevante refere-se à utilização de protocolos de comunicação sem fios, como ZigBee, Bluetooth e WiFi, que expandem a funcionalidade dos microcontroladores para aplicações remotas e redes inteligentes [35]. A escolha do protocolo sem fios depende, sobretudo, do alcance necessário, da largura de banda e do consumo energético permitido. ZigBee, por exemplo, é frequentemente utilizado em redes de sensores devido ao seu baixo consumo e capacidade de formar redes em malha, enquanto WiFi é preferido em cenários que exigem alta largura de banda para transmitir dados.

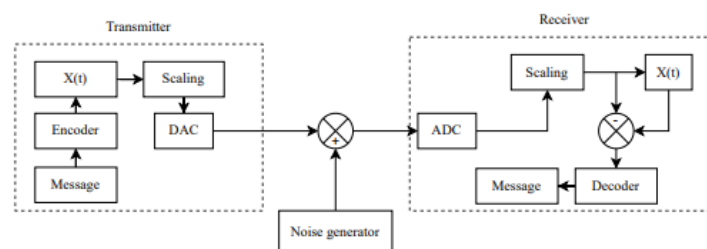


Figure 2.5: Diagrama de um protocolo de comunicação.[35]

Além disso, os microcontroladores modernos são integrados com módulos que suportam comunicações baseadas em protocolos mais avançados, como MQTT e CoAP, frequentemente utilizados em aplicações IoT [37]. Estes protocolos permitem a transmissão eficiente de dados em redes distribuídas, otimizando o uso de recursos limitados, como energia e largura de banda. MQTT, por exemplo, baseia-se num modelo de publicação e subscrição que facilita a comunicação entre dispositivos, reduzindo a complexidade no envio de dados.

A integração de técnicas avançadas, como modulação baseada em coeficientes de simetria, pode melhorar significativamente a segurança em transmissões de dados, especialmente em cenários com requisitos de comunicação criptografada. Estas técnicas permitem mitigar os efeitos de interferências externas e ataques de interceptação, garantindo a integridade dos dados. [35]

Em suma, a seleção adequada de protocolos de comunicação, alinhada às necessidades específicas de cada aplicação, é essencial para garantir a eficiência e a robustez de sistemas baseados em microcontroladores. Com a evolução constante de tecnologias de comunicação, é esperado que novos protocolos e abordagens inovadoras continuem a surgir, oferecendo soluções ainda mais integradas e adaptáveis.

2.4 ZWCAD: Ferramenta para Projetos de Engenharia

As ferramentas de Computer-Aided Design (CAD) desempenham um papel crucial no desenvolvimento de projetos de engenharia, permitindo a criação, simulação e análise de modelos virtuais com elevada precisão. Estes softwares evoluíram significativamente, integrando funcionalidades que vão desde o desenho básico em 2D até modelações complexas em 3D, suportando todo o ciclo de vida de um produto, desde a concepção inicial até à prototipagem e fabricação. As ferramentas CAD modernas incluem funcionalidades para a recolha de dados em tempo real sobre o desempenho dos modelos, oferecendo insights detalhados que podem ser aplicados diretamente para melhorar o processo de design [11].

Uma das principais vantagens das ferramentas CAD é a sua capacidade de suportar múltiplas iterações de design de forma eficiente, permitindo que engenheiros e projetistas otimizem os seus projetos sem os custos associados à produção de protótipos físicos [11]. Este ciclo iterativo é particularmente relevante no contexto da engenharia educacional, onde plataformas como o Energy3D têm demonstrado ser eficazes para ensinar conceitos de design e simulação a estudantes. Além disso, a integração destas ferramentas com tecnologias de fabrico digital, como impressoras 3D, facilita a transição do virtual para o físico, ampliando as possibilidades de validação e testes de projetos [11].

Outra característica fundamental dos softwares CAD é a sua capacidade de gerir dados complexos. Ferramentas modernas utilizam técnicas avançadas de análise de dados, como séries temporais, para monitorizar e avaliar os processos de design [14]. Estes dados permitem identificar padrões e tendências no comportamento dos utilizadores, otimizando as ferramentas para melhor atender às necessidades específicas de cada projeto. Esta abordagem baseada em dados é especialmente útil em ambientes educacionais, onde se pode avaliar o progresso dos alunos e personalizar estratégias de ensino com base nos dados recolhidos durante o uso da ferramenta [11].

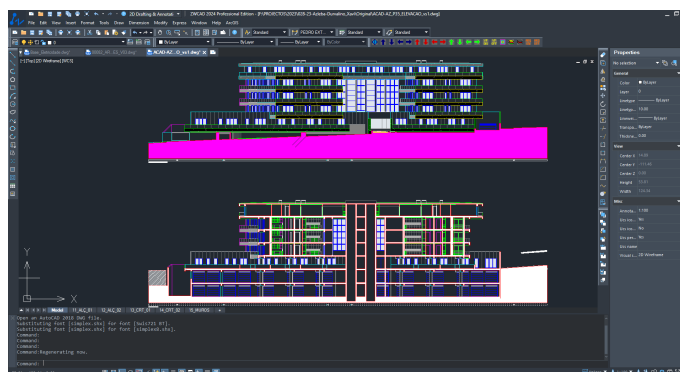


Figure 2.6: Estrutura de um Prédio em modelação 2D - ZWCAD.

Além das aplicações educacionais, os softwares CAD são amplamente utilizados na indústria para diversos fins, como design de produtos, arquitetura e engenharia civil (exemplo visível na figura 2.4) [11]. A capacidade de visualizar modelos bidimensionais e tridimensionais detalhados e realizar simulações de desempenho em diferentes condições reduz significativamente o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de novos produtos. Os avanços nas interfaces de utilizador e na integração com outras ferramentas digitais têm tornado os softwares CAD mais acessíveis, mesmo para utilizadores com menos experiência técnica.

Em resumo, as ferramentas CAD são indispensáveis para a engenharia moderna, oferecendo uma plataforma versátil e poderosa para o design, simulação e fabrico de projetos [11]. A integração de funcionalidades educacionais e industriais reforça o papel destas ferramentas na formação de engenheiros mais capacitados e na aceleração do desenvolvimento de soluções inovadoras.

2.5 Métodos de Análise de Dados

A monitorização detalhada do consumo energético residencial desempenha um papel fundamental na identificação de padrões de uso, permitindo compreender como a energia é utilizada ao longo do tempo e possibilitando a implementação de estratégias de eficiência energética. O desenvolvimento de sistemas que registam e analisam dados de consumo de forma contínua tem sido amplamente estudado na literatura, destacando-se a utilização de sensores e metodologias estatísticas para interpretar variações no consumo e detetar anomalias.

2.5.1 Gestão de Dados e Padrões de Consumo

A análise de padrões de consumo não só permite prever o comportamento energético de uma habitação, como também possibilita a identificação de equipamentos que apresentam consumos excessivos, auxiliando na tomada de decisões para reduzir desperdícios.

No âmbito da gestão de dados, o conceito de Big Data tem sido amplamente utilizado, pois permite processar e analisar grandes volumes de informações provenientes de múltiplas fontes. Características como volume, velocidade e variedade dos dados são determinantes para compreender os padrões de consumo energético. Estudos destacam que o uso de técnicas de análise preditiva e sistemas de gestão de dados centralizados são cruciais para a tomada de decisões informadas sobre eficiência energética [22].

Por outro lado, métodos baseados na análise envolvente de dados (DEA) têm sido aplicados para avaliar a eficiência energética em diversos setores. A DEA permite avaliar o desempenho de sistemas energéticos considerando múltiplos inputs e outputs, ajudando a identificar oportunidades para melhorias específicas em determinados contextos [?]. Esta abordagem é particularmente útil quando se busca avaliar o impacto de fatores externos, como condições climáticas e hábitos de consumo, nos padrões de utilização de energia.

A integração de técnicas de análise de séries temporais, agrupamento de dados e modelação de comportamentos sazonais é fundamental para compreender padrões diários, semanais e sazonais. Estas abordagens permitem não apenas detetar consumos atípicos, mas também otimizar a utilização da energia em função das necessidades reais da residência. Além disso, a combinação de medições objetivas dos sensores com inquéritos qualitativos aplicados aos utilizadores da habitação permite contextualizar os dados recolhidos, resultando numa análise mais abrangente e precisa.

Análise de Séries Temporais

A análise de séries temporais é uma das metodologias mais utilizadas para estudar o consumo energético ao longo do tempo. Este método permite:

Identificar padrões diários, semanais ou sazonais, como variações de consumo durante o dia ou mudanças relacionadas a estações do ano. Detetar anomalias, como picos inesperados de consumo ou alterações bruscas no comportamento energético. Prever tendências futuras de consumo, auxiliando na gestão da demanda energética. Ferramentas como médias móveis, decomposição de séries temporais (para separar componentes de tendência, sazonalidade e ruído) e modelos ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) são frequentemente utilizadas para interpretar estes dados [5].

Agrupamento de Dados

Técnicas de agrupamento, como K-means ou DBSCAN, são amplamente utilizadas para segmentar padrões de consumo em diferentes grupos ou categorias [19]. Este método é particularmente útil para:

Identificar perfis de consumo distintos entre diferentes utilizadores ou setores. Agrupar padrões semelhantes de consumo, como equipamentos que operam em horários específicos ou cargas contínuas que contribuem para o consumo fantasma. Suportar decisões relacionadas a tarifação diferenciada ou estratégias de eficiência energética.

Modelação de Comportamentos Sazonais

A literatura também destaca a relevância da modelação de comportamentos sazonais para capturar variações que ocorrem em diferentes estações do ano [12]. Este método utiliza dados históricos para identificar padrões recorrentes relacionados a condições climáticas ou mudanças de rotina, como maior consumo de aquecimento no inverno ou refrigeração no verão.

2.5.2 Integração de inquéritos qualitativos

A integração de inquéritos qualitativos representa uma abordagem inteligente para compreender padrões de comportamento e hábitos de utilização de recursos. Estes inquéritos permitem recolher informações detalhadas que complementam os dados quantitativos provenientes de sensores, oferecendo uma visão mais abrangente e contextualizada das práticas energéticas em ambientes domésticos.

Os inquéritos qualitativos são frequentemente utilizados para explorar como os residentes percebem o uso da energia, as suas rotinas diárias e as motivações subjacentes às suas escolhas de consumo. Estes dados ajudam a identificar fatores que podem não ser diretamente captados por sistemas automatizados, como o uso esporádico de equipamentos ou alterações sazonais nos hábitos energéticos. Estudos prévios demonstram que a educação e sensibilização dos utilizadores sobre eficiência energética desempenham um papel central na adoção de comportamentos mais sustentáveis [3].

Além disso, a integração de inquéritos qualitativos em auditorias energéticas residenciais permite avaliar a eficácia de recomendações de eficiência energética. Estes inquéritos fornecem um feedback direto sobre a implementação de medidas sugeridas, permitindo ajustes contínuos às estratégias propostas. Por exemplo, em auditorias realizadas em habitações, observou-se que os residentes eram mais propensos a adotar práticas energéticas eficientes quando compreendiam claramente os benefícios económicos e ambientais dessas ações [23]. Na figura 2.8 abaixo é possível provar a redução direta do consumo em diferentes habitações aliada à consciencialização feita através de inquéritos.

Por fim, os inquéritos qualitativos também desempenham um papel crucial na validação de modelos preditivos de consumo energético. Os dados recolhidos ajudam a calibrar estes modelos, tornando-os mais representativos da realidade vivida pelos utilizadores. Esta integração de dados qualitativos e quantitativos resulta em análises mais robustas e informadas, permitindo o desenvolvimento de soluções personalizadas para melhorar a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental.

House	Gas savings (£)	Gas (temperature adjusted) savings (£)	Electricity savings (£)	Total savings (£)
A	2.22	2.91	0.29	3.20
B	10.17	13.33	7.66	20.99
C	-0.72	-0.55	69.17	68.62
D	2.36	3.10	3.64	6.74
E	-1.77	-1.35	n.a.	-1.34
F	5.95	7.79	1.54	9.33
G	2.22	2.91	22.36	25.27
H	2.78	3.64	-0.78	2.86
Total	23.22	31.80	103.88	135.68

Figure 2.7: Impacto na consciencialização através da integração de inquéritos. [20]

Desta forma, a conjugação de medições objetivas e dados qualitativos representa uma ferramenta essencial para compreender os fatores que influenciam o consumo energético, permitindo não apenas a monitorização detalhada do uso de energia, mas também a formulação de estratégias que promovam uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos.

2.5.3 Armazenamento Local de Dados na Monitorização de Energia

O armazenamento local de dados em sistemas de monitorização energética desempenha um papel essencial na recolha, organização e preservação de informações críticas para a análise de padrões de consumo e desempenho de dispositivos. Este método é particularmente relevante em contextos onde a conectividade com servidores remotos é limitada ou inexistente, como em zonas rurais ou sistemas isolados. Entre as diversas soluções existentes, o uso de cartões SD destaca-se pela sua combinação de alta capacidade de armazenamento, eficiência energética e custo reduzido, tornando-se uma escolha ideal para projetos de monitorização baseados em microcontroladores [6].

Um dos principais benefícios do armazenamento local é a capacidade de operar de forma autónoma, armazenando dados diretamente no dispositivo sem necessidade de conexão contínua à Internet. Por exemplo, em sistemas de monitorização baseados em Arduino, o cartão SD pode armazenar grandes volumes de dados provenientes de múltiplos sensores, com a segurança adicional de proteger os dados contra perdas de comunicação. Além disso, a utilização de módulos RTC (Real-Time Clock) permite o registo de dados com marcação temporal precisa, garantindo a rastreabilidade e a coerência das informações armazenadas [25].

Por outro lado, o design eficiente de sistemas de armazenamento local enfrenta desafios relacionados com o consumo energético, especialmente em dispositivos alimentados por baterias. Estudos indicam que a gestão otimizada de eventos de gravação pode prolongar significativamente a vida útil da bateria. Técnicas como a utilização de modos

de baixa potência, escrita periódica e o controle seletivo de energia em dispositivos periféricos são cruciais para reduzir os picos de consumo e melhorar a eficiência global do sistema [6].

Em aplicações como a monitorização de sistemas fotovoltaicos, o armazenamento local permite uma recolha contínua de dados de tensão, corrente e potência gerada ao longo do tempo. Esta abordagem é especialmente vantajosa em sistemas off-grid, onde a supervisão constante não é prática. Os cartões SD, além de oferecerem memória extensível, apresentam suporte a interfaces SPI, permitindo a integração com múltiplos dispositivos sem comprometer a simplicidade do circuito [25].

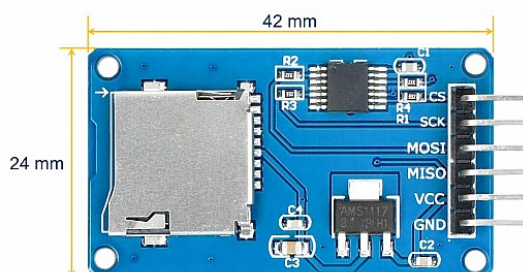


Figure 2.8: Leitor de cartões MicroSD para conectar com Microcontrolador.[6]

Embora o armazenamento local ofereça diversas vantagens, é importante considerar os seus limites, como a necessidade de capacidades de memória adequadas ao período de monitorização e a gestão de falhas de hardware. Soluções que incluem redundância, como o uso de múltiplos cartões SD, podem mitigar estes riscos, assegurando a continuidade da recolha de dados mesmo em condições adversas [25].

Assim, o armazenamento local de dados continua a ser uma solução viável e eficiente para projetos de monitorização de energia, especialmente em cenários onde a acessibilidade, a autonomia e a confiabilidade são fatores determinantes.

2.5.4 Armazenamento Remoto de Dados na Monitorização de Energia

O armazenamento remoto de dados surge como uma solução cada vez mais integrada em sistemas de monitorização de energia, beneficiando de avanços em tecnologias de comunicação e infraestrutura em nuvem. Este modelo permite que os dados recolhidos pelos

sensores sejam transmitidos diretamente para servidores remotos, promovendo a acessibilidade, escalabilidade e a centralização das informações. Este tipo de abordagem é especialmente relevante em sistemas residenciais e industriais que necessitam de monitorização contínua, análise detalhada e gestão em tempo real de dados energéticos.

Um dos principais benefícios do armazenamento remoto é a sua capacidade de permitir a análise e processamento centralizados, eliminando limitações de espaço físico ou capacidade de armazenamento local. Através da utilização de servidores em nuvem, as informações recolhidas podem ser disponibilizadas em tempo real para utilizadores ou sistemas de gestão de energia, facilitando o controlo e a tomada de decisões. Este tipo de implementação foi destacado pela sua eficiência em projetos de automação residencial e monitorização inteligente [10].

Adicionalmente, o armazenamento remoto proporciona um nível superior de segurança e redundância, uma vez que as informações armazenadas em servidores remotos são protegidas contra falhas de hardware ou perda de dados local. No entanto, este modelo apresenta desafios relacionados à dependência de conectividade à internet e à possibilidade de custos adicionais associados à infraestrutura em nuvem. Estes fatores tornam a implementação deste método mais adequada para sistemas que exigem acessibilidade global e análise avançada.

No contexto da monitorização de energia, os dados armazenados remotamente são frequentemente utilizados em combinação com algoritmos de inteligência artificial e aprendizagem automática para identificar padrões de consumo, prever picos de energia e propor estratégias de otimização. Este nível de sofisticação destaca o potencial do armazenamento remoto na integração com sistemas de redes inteligentes, promovendo uma gestão de energia mais eficiente e sustentável [10].

Assim, o armazenamento remoto de dados apresenta-se como uma alternativa robusta para monitorização de energia, especialmente em aplicações que requerem processamento em larga escala e análise detalhada. A sua integração com plataformas em nuvem e sistemas inteligentes torna-o um componente essencial na evolução das redes elétricas modernas e nos projetos de automação residencial.

2.6 Soluções Existentes no Mercado para Monitorização de Energia

A crescente preocupação com a eficiência energética e a necessidade de uma gestão mais consciente do consumo elétrico impulsionaram o desenvolvimento de diversas soluções de monitorização de energia disponíveis no mercado. Estes dispositivos variam em termos de tecnologia, funcionalidades e precisão, permitindo que consumidores residenciais e industriais acompanhem os seus consumos em tempo real e identifiquem potenciais desperdícios. Entre as soluções mais relevantes encontram-se o Efergy Engage Hub Kit, o TP-Link Kasa Smart Plug Energy Monitoring e o TED (The Energy Detective).

Efergy Engage Hub Kit

O Efergy Engage Hub Kit é uma solução acessível para monitorização do consumo energético em residências. Baseia-se em sensores de corrente não invasivos instalados no quadro elétrico, permitindo a medição do consumo total da habitação sem necessidade de alterações na infraestrutura elétrica. A principal vantagem deste sistema reside na sua conectividade Wi-Fi, que possibilita a transmissão de dados para uma plataforma online acessível via dispositivos móveis ou computadores. Através desta interface (figura 2.9), os utilizadores podem visualizar o consumo em tempo real, definir alertas e acompanhar tendências de longo prazo. No entanto, o Efergy Engage Hub Kit apresenta como limitação a impossibilidade de desagregar consumos por setor ou equipamento específico, fornecendo apenas uma visão global do consumo elétrico



Figure 2.9: Interface do sistema de monitorização de consumo energético Efergy "eLink".[26]

TP-Link Kasa Smart Plug Energy Monitoring

O TP-Link Kasa Smart Plug representa uma abordagem diferente para monitorização do consumo elétrico, focando-se na medição individualizada de dispositivos conectados às suas tomadas inteligentes. Este sistema permite que os utilizadores acompanhem o consumo energético de equipamentos específicos através de uma aplicação móvel, possibilitando a identificação de aparelhos de alto consumo e o controlo remoto da sua utilização. A arquitetura de gestão de equipamentos utilizada pelo Kasa Smart Plug está representada abaixo na figura 2.10.

Além disso, algumas versões deste dispositivo oferecem integração com assistentes de voz, permitindo automação e agendamento do funcionamento dos equipamentos. Apesar da sua praticidade e facilidade de implementação, a limitação do Kasa Smart Plug reside na incapacidade de fornecer uma visão global do consumo da habitação, uma vez que apenas monitoriza os dispositivos diretamente conectados às suas tomadas. [2]

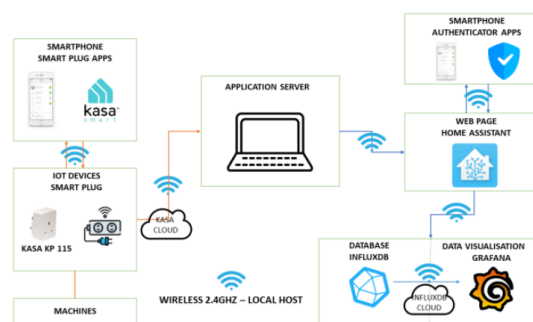


Figure 2.10: Arquitetura do sistema de monitorização energética do TP-Link Kasa Smart Plug.

TED (The Energy Detective)

O equipamento da figura abaixo, TED (The Energy Detective), destaca-se pela capacidade de monitorizar o consumo energético com elevada precisão, através da instalação de sensores no quadro elétrico. O sistema oferece medições quase em tempo real e uma interface intuitiva que permite aos utilizadores identificar padrões de consumo e oportunidades de redução de custos. Além disso, diferencia-se pela apresentação de um histórico detalhado do consumo elétrico, permitindo análises retrospectivas e a implementação de estratégias de eficiência energética. Um dos seus principais benefícios é a elevada precisão na medição da potência real utilizada pelos equipamentos, proporcionando leituras fiáveis. No entanto, tal como outras soluções que medem apenas o consumo total da habitação, o TED não permite a segmentação detalhada do consumo por setor ou equipamento individual [21].



Figure 2.11: Equipamento de Monitorização TED 2.0.

Os dispositivos analisados oferecem abordagens distintas para a monitorização do consumo elétrico. O Efergy Engage Hub Kit destaca-se pela sua acessibilidade e monitorização remota, mas não permite a segmentação detalhada do consumo. O TP-Link Kasa Smart Plug proporciona uma análise detalhada do consumo de dispositivos específicos, mas não fornece uma visão global da habitação. Já o TED (The Energy Detective)

oferece elevada precisão e medições em tempo real, mas sem a capacidade de desagregar consumos individuais.

O sistema desenvolvido neste trabalho diferencia-se por oferecer uma solução modular e de baixo custo que permite a monitorização detalhada do consumo por setor da habitação. Utilizando sensores de corrente não invasivos e armazenamento local, a solução proposta proporciona uma análise mais abrangente e flexível do consumo elétrico, permitindo uma melhor gestão energética sem comprometer a infraestrutura elétrica existente.

Chapter 3

Desenvolvimento e Implementação do Sistema de Monitorização

3.1 Arquitetura do Sistema

A monitorização energética residencial desenvolvida neste projeto baseia-se num sistema integrado composto por diversos componentes interligados, cuja principal função é recolher, processar e armazenar dados de consumo elétrico de forma eficiente e autónoma. A arquitetura do sistema foi concebida para garantir uma monitorização contínua e fiável, assegurando a precisão das medições e a acessibilidade dos dados para posterior análise.

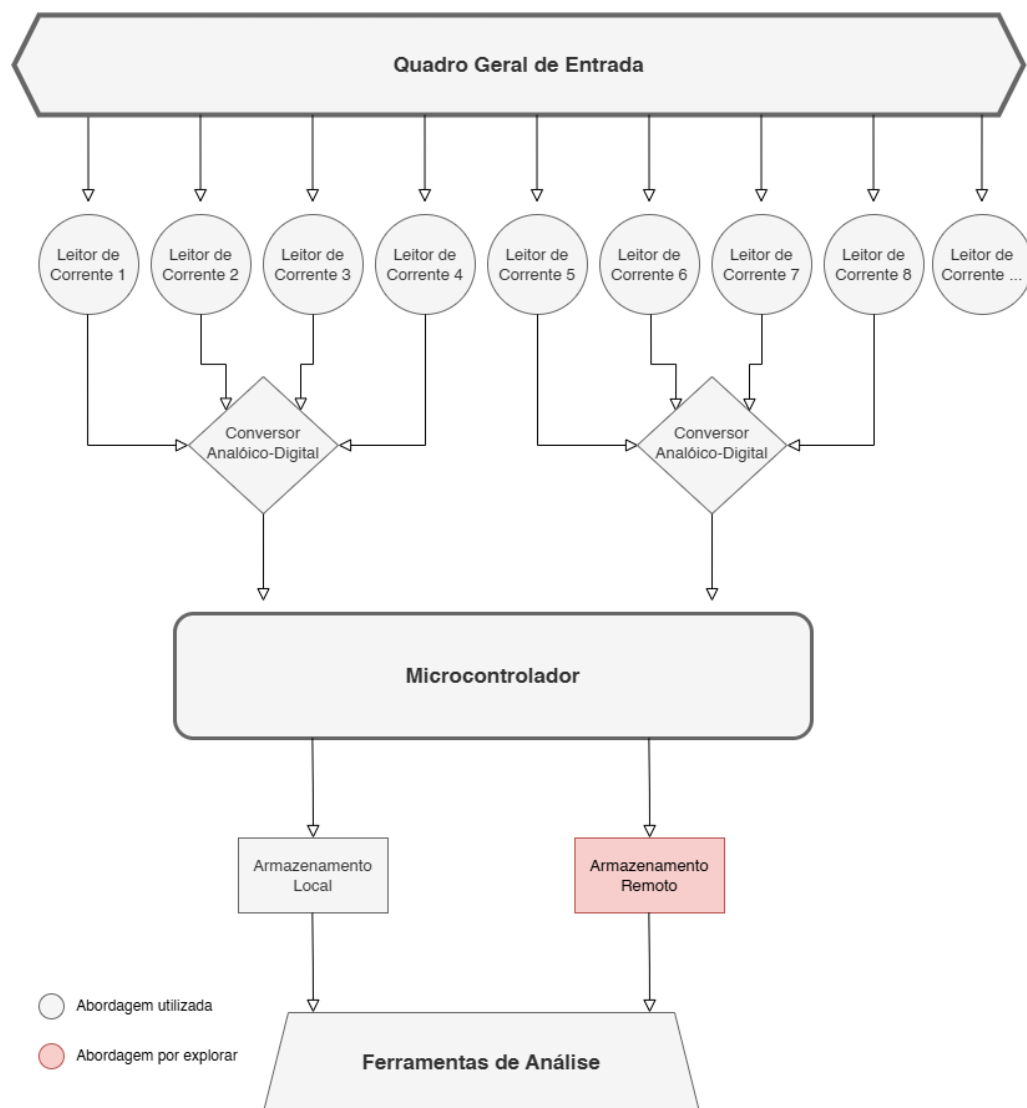


Figure 3.1: Diagrama de Blocos da Arquitetura do Sistema.

O sistema desenvolvido é estruturado em três módulos principais: aquisição de dados, processamento e armazenamento, e análise de informação. Estes módulos operam de forma integrada, garantindo que os dados recolhidos sejam processados em tempo real e armazenados de maneira estruturada para posterior análise. A Figura 3.1 ilustra o fluxo de dados e a interligação entre os diferentes componentes.

No módulo de aquisição de dados, sensores de corrente não invasivos são responsáveis por medir a intensidade da corrente elétrica em diferentes circuitos do quadro geral de entrada. Estes sensores geram sinais analógicos proporcionais ao consumo energético, que são posteriormente enviados para conversores analógico-digitais (ADC). Estes dispositivos desempenham um papel fundamental ao transformar os sinais analógicos em valores digitais, assegurando medições precisas que possam ser interpretadas pelo microcontrolador.

Os dados convertidos são então encaminhados para o módulo de processamento e armazenamento, onde um microcontrolador central gere e organiza as informações recolhidas. Durante o período de amostragem definido, os valores máximos de corrente são registados e armazenados localmente num cartão SD. Esta abordagem proporciona maior autonomia ao sistema, eliminando a dependência de uma conexão constante à internet. No entanto, a arquitetura foi desenvolvida de forma flexível, permitindo a expansão futura para armazenamento remoto, caso seja necessário transmitir os dados para servidores externos ou plataformas na nuvem.

O módulo de análise de informação é responsável por disponibilizar os dados recolhidos para interpretação e estudo. Os ficheiros CSV gerados incluem informações detalhadas, como timestamps, circuitos monitorizados e valores de corrente elétrica medidos. Estes dados podem ser analisados em ferramentas como o Microsoft Excel, permitindo a visualização e identificação de padrões de consumo, picos de utilização e potenciais desperdícios energéticos.

A estrutura modular do sistema permite a sua escalabilidade e adaptação a diferentes cenários. Com a possibilidade de adicionar novos sensores ou integrar comunicação remota, a arquitetura proposta não só atende aos requisitos da monitorização energética residencial, como também apresenta potencial para evoluir e ser aplicada em contextos mais complexos.

3.2 Hardware Utilizado

O desenvolvimento do sistema de monitorização energética residencial exigiu a utilização de diferentes componentes de hardware, cada um desempenhando um papel essencial na recolha, processamento e armazenamento dos dados de consumo energético. A seleção destes dispositivos baseou-se nos requisitos específicos do projeto, nomeadamente a precisão das medições, a simplicidade de integração e a eficiência energética, fatores abordados no estado da arte desta dissertação.

Sensores de Corrente Não Invasivos (SCT-013)

Os sensores SCT-013 foram escolhidos pela sua capacidade de realizar medições de corrente elétrica de forma não invasiva, característica essencial para este tipo de projeto residencial. Este sensor utiliza um transformador de corrente para medir a intensidade da corrente elétrica sem necessidade de interromper o circuito, garantindo facilidade de instalação e segurança para o utilizador. Além disso, a sua ampla utilização em projetos de monitorização energética justifica a escolha, como abordado anteriormente no subcapítulo [2.2.2.](#)

Para assegurar a adaptação às diferentes necessidades de medição no sistema, foram utilizadas diferentes gamas do sensor SCT-013 em função da intensidade máxima de corrente esperada em cada circuito. No Quadro de Entrada, onde circulam correntes mais elevadas, foram utilizados SCT-013 com capacidade de medição até 50 A, garantindo que os sensores pudessem captar os valores máximos das fases sem risco de saturação. Para os restantes circuitos, onde os consumos eram mais reduzidos, optou-se por SCT-013 com capacidade de medição até 30 A, assegurando maior sensibilidade e precisão nas medições.

Esta seleção de gamas permitiu uma configuração otimizada para diferentes circuitos da instalação residencial, assegurando tanto a precisão das medições quanto a robustez do sistema. A flexibilidade dos SCT-013 para lidar com correntes de várias magnitudes, aliada à sua instalação não invasiva, foi determinante para a escolha destes sensores, alinhando-se às exigências de precisão discutidas no estado da arte.

Conversores Analógico-Digitais (ADS1115)

A conversão de sinais analógicos provenientes dos sensores para valores digitais foi realizada através do ADS1115, um conversor analógico-digital (ADC) de 16 bits. A escolha deste dispositivo foi fundamentada pela sua elevada resolução, que proporciona medições precisas e detalhadas, atendendo às necessidades de monitorização de consumo energético em tempo real.

O ADS1115 destaca-se pela sua compatibilidade com o protocolo de comunicação I2C, permitindo uma integração simples com o microcontrolador utilizado no sistema. Além disso, a possibilidade de configurar entradas diferenciais ou simples aumenta a versatilidade do dispositivo, como referenciado no estado da arte ao comparar diferentes ADCs disponíveis no mercado. Esta característica foi particularmente útil para adaptar o sistema às exigências do projeto, garantindo a fiabilidade e precisão das medições.

Microcontrolador Arduino Uno R3

O Arduino Uno R3 foi selecionado como unidade de processamento principal do sistema devido à sua simplicidade de programação, baixo consumo energético e ampla compatibilidade com os outros componentes utilizados. Este microcontrolador possui seis entradas analógicas e ao complementar com os conversores analógicos torna-se suficiente para gerir as medições realizadas pelos sensores conectados ao sistema.

Conforme discutido no estado da arte, o Arduino Uno R3 é amplamente utilizado em projetos de monitorização energética devido à sua popularidade, vasta documentação e suporte técnico, que facilitam o desenvolvimento e a resolução de problemas durante a implementação do sistema. Além disso, a sua estabilidade e fiabilidade foram fatores determinantes para garantir o registo contínuo das medições ao longo do tempo.

Cartão SD e Módulo SD Card

Para o armazenamento dos dados recolhidos, foi utilizado um cartão SD, integrado ao sistema através de um módulo de leitura SD Card. Esta solução oferece uma forma local, segura e acessível de registar as medições, eliminando a dependência de conectividade com servidores remotos.

O cartão SD foi escolhido devido à sua capacidade de armazenamento de longo prazo, permitindo guardar registos contínuos durante semanas ou meses. A utilização deste método de armazenamento foi amplamente discutida no estado da arte, onde estudos destacaram a sua autonomia e fiabilidade em sistemas de monitorização que não dependem de conexão à internet. Além disso, o formato CSV (Comma-Separated Values) utilizado para registar os dados no cartão SD facilita a análise posterior em ferramentas como Microsoft Excel ou MATLAB, promovendo a acessibilidade dos registos e a simplicidade na interpretação dos resultados.

3.3 Plano de Ligações

O esquema de ligações entre os componentes do sistema de monitorização energética desempenha um papel fundamental para garantir o correto funcionamento e fiabilidade do sistema. Este subcapítulo tem como objetivo apresentar a forma como os diferentes elementos de hardware foram interligados, detalhando as conexões realizadas e a lógica subjacente ao circuito implementado.

A ligação entre o microcontrolador, os sensores de corrente e os restantes módulos foi cuidadosamente planeada para assegurar uma comunicação eficiente, minimizando interferências e garantindo a precisão das medições. O uso de um barramento de comunicação como o I2C simplificou o processo de interligação entre o Arduino e os conversores ADC, permitindo a leitura simultânea de múltiplos canais de corrente.

Além disso, foi necessário atender a requisitos técnicos específicos, como o isolamento dos sensores SCT-013 e a correta alimentação dos componentes eletrónicos. Estes aspetos garantem a segurança e robustez do sistema, bem como a integridade dos dados recolhidos.

Ao longo deste subcapítulo, será apresentado o esquema de ligações implementado, com uma descrição detalhada de cada conexão, bem como uma representação gráfica do circuito, para facilitar a sua compreensão. A montagem prática do circuito será também ilustrada, destacando os principais desafios enfrentados durante a implementação e as soluções adotadas para os superar.

3.3.1 Conexão dos Leitores de Corrente SCT-013 aos Conversores ADC (ADS1115)

O sistema foi projetado para suportar até 16 leitores de corrente SCT-013, que estão conectados a quatro conversores analógico-digitais (ADC) do modelo ADS1115. Cada

ADS1115 disponibiliza quatro entradas analógicas (A0, A1, A2 e A3), permitindo uma monitorização segmentada de até 16 circuitos elétricos distintos. Através da representação gráfica da figura 3.2, é possível analisar os sensores SCT-013 estão ligados aos circuitos do quadro elétrico de forma a garantir uma correspondência lógica e organizada, com os sensores ligados ao mesmo setor de consumo conectados em entradas consecutivas do ADC.

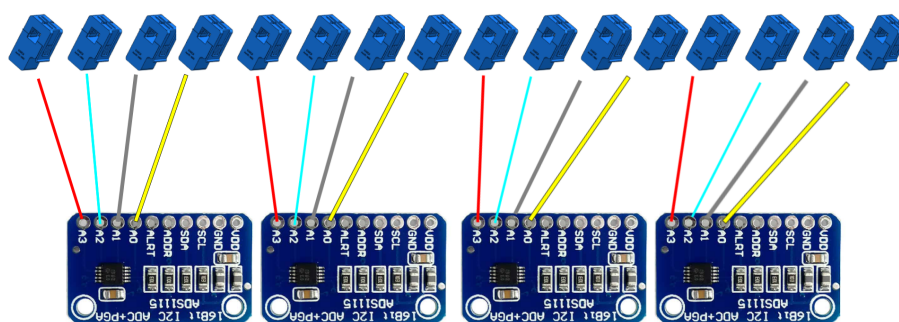


Figure 3.2: Ligação entre Leitores de Corrente e o Conversor Analógico-Digital.

Foram utilizados dois tipos de sensores SCT-013, com gamas de corrente máxima de 50A e 30A. Os sensores de 50A foram atribuídos aos circuitos principais de cada fase no quadro de entrada, enquanto os sensores de 30A monitorizam circuitos de menor potência, como equipamentos e tomadas.

A alimentação e a referência dos sensores são garantidas através da ligação à massa (ground) e à linha de alimentação dos ADCs, assegurando medições fiáveis e consistentes.

3.3.2 Conexão dos ADS1115 ao Arduino via I2C

A ligação entre os quatro módulos ADS1115 e o Arduino Uno R3 é feita através do protocolo I2C, utilizando apenas os pinos SDA (A4) e SCL(A5) do Arduino. Este protocolo é especialmente eficiente em projetos com múltiplos dispositivos, como neste caso, onde quatro ADCs partilham o mesmo barramento de comunicação. Para distinguir os sinais de cada módulo, é utilizado um método de endereçamento configurado nos pinos ADDR de cada ADS1115 (visível na figura 3.3), atribuindo os endereços I2C 0x48, 0x49, 0x4A e 0x4B.

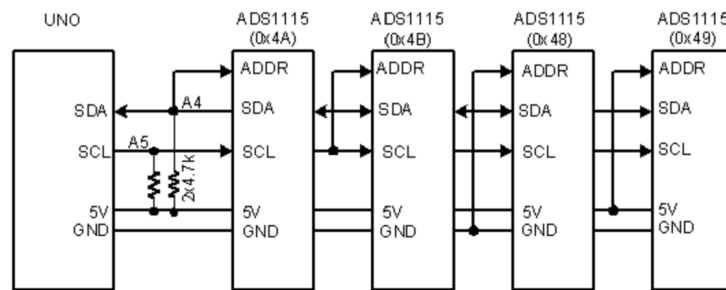


Figure 3.3: Protocolo de Endereçamento entre conversores ADC e Arduino.

Cada módulo ADS1115 permite a leitura de quatro canais analógicos (A0, A1, A2 e A3), que são mapeados para sensores diferentes no quadro elétrico. Esta configuração de endereços I2C permite que o Arduino acesse todas as 16 entradas analógicas disponíveis nos quatro ADCs, enquanto utiliza apenas dois pinos digitais (SDA e SCL). Na figura abaixo 3.4 foi representado o esquema de ligações entre o Arduino e cada ADC utilizado, de forma a comunicar em simultâneo com todos.

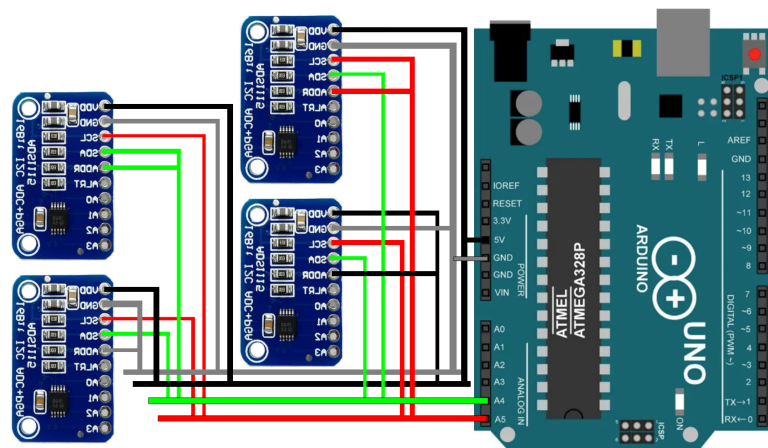


Figure 3.4: Representação Esquemática do endereçamento realizado.

3.3.3 Conexão do Módulo SD ao Arduino

O módulo SD está conectado ao Arduino Uno R3 utilizando o protocolo SPI (Serial Peripheral Interface). Este protocolo requer quatro ligações principais entre o Arduino e o módulo SD:

- **CS (Chip Select):** Pino digital 10.
- **MOSI (Master Out Slave In):** Pino digital 11.
- **MISO (Master In Slave Out):** Pino digital 12.
- **SCK (Serial Clock):** Pino digital 13.

A escolha destes pinos é obrigatória, pois no Arduino Uno R3, os pinos 11, 12 e 13 são fisicamente associados ao hardware SPI da unidade microcontroladora *ATmega328P*. Este hardware dedicado é responsável por garantir a comunicação rápida e eficiente entre o Arduino e o módulo SD. O pino CS (pino 10) é utilizado para selecionar o módulo SD como o dispositivo ativo no barramento SPI, permitindo a comunicação exclusiva com o mesmo.

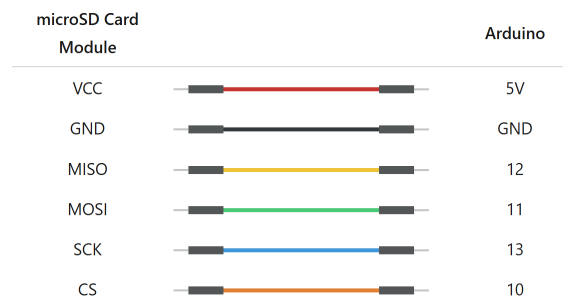


Figure 3.5: Representação gráfica das ligações entre o módulo SDCard e o Arduino.

Além das ligações SPI, o módulo SD é alimentado pelos pinos de 5V e GND do Arduino, garantindo energia estável e contínua para as operações de leitura e escrita no cartão de memória.

3.3.4 Alimentação do Sistema

O Arduino Uno R3 é alimentado através de uma fonte externa (ou via USB durante o desenvolvimento). Os módulos ADS1115 e o módulo SD recebem a alimentação diretamente do Arduino, que fornece 5V estáveis. É importante garantir que a fonte de alimentação do Arduino é capaz de fornecer energia suficiente para todos os periféricos conectados. Ao alimentar o arduino através de uma fonte externa, a leitura será iniciada no momento em que os equipamentos deste sistema estiverem prontos a operar.

3.4 Implementação

A implementação do código é uma componente essencial no desenvolvimento do sistema de monitorização energética residencial. Este código foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C/C++, a base principal para a plataforma Arduino. A escolha desta linguagem deve-se à sua robustez, simplicidade e ampla compatibilidade com microcontroladores, sendo uma ferramenta amplamente utilizada para desenvolvimento de sistemas embarcados. O C/C++ permite um controlo direto sobre os recursos do hardware, como portas analógicas e digitais, e proporciona uma integração eficiente com bibliotecas específicas, como as utilizadas neste projeto para os sensores e o armazenamento de dados.

O código foi projetado para integrar o hardware utilizado, processar as medições recolhidas pelos sensores e organizar os dados de forma eficiente para armazenamento e análise posterior. A programação foi realizada com o objetivo de garantir um funcionamento autónomo, preciso e confiável, atendendo às especificações do projeto.

O programa foi estruturado em várias funções modulares, cada uma desempenhando um papel específico no sistema. Esta abordagem modular permite uma melhor organização e facilita a compreensão do seu funcionamento, ao mesmo tempo que simplifica futuras modificações ou expansões. As funções modulares implementadas possibilitam desde a configuração inicial do sistema até à aquisição e registo de medições periódicas, assegurando que o fluxo de dados é contínuo e sem falhas.

O fluxo principal do programa baseia-se na leitura periódica dos valores de corrente elétrica, no registo desses valores em ficheiros CSV no cartão SD e na gestão dos ficheiros de forma segmentada, criando novos arquivos em intervalos de tempo definidos. Esta organização garante que os dados são armazenados de forma clara e acessível, permitindo análises detalhadas a partir das medições recolhidas.

Neste capítulo, será realizada uma análise detalhada do código desenvolvido, dividido nas seguintes secções principais:

1. **Configuração do Sistema:** Configuração inicial do hardware e bibliotecas necessárias.
2. **Função de Configuração :** Inicialização dos componentes e parâmetros do sistema.
3. **Fluxo Principal do Programa :** Descrição do ciclo contínuo de execução, incluindo leitura de sensores, armazenamento de dados e gestão de ficheiros.
4. **Leitura de Sensores :** Função dedicada à aquisição de dados dos sensores de corrente.
5. **Gravação de Dados :** Organização e armazenamento das medições no cartão SD.
6. **Gestão de Ficheiros :** Criação de novos ficheiros para segmentação dos registos de dados.
7. **Reinício de Valores Máximos :** Função para reiniciar os valores de picos de corrente ao início de cada período de amostragem.

Esta análise permite compreender de forma detalhada como o código foi desenvolvido e como as suas diferentes partes interagem para formar um sistema coeso e eficiente. Além disso, demonstra como as medições recolhidas são tratadas e organizadas, garantindo a fiabilidade e acessibilidade dos dados registados.

3.4.1 Configuração do Sistema:

A configuração inicial do sistema é tem como objetivo preparar o hardware e o software para o funcionamento adequado do sistema de monitorização energética. Esta configuração é realizada no início do código, garantindo que todos os componentes necessários estejam devidamente integrados.

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_ADS1X15.h>
3  #include <SPI.h>
4  #include <SD.h>
5
6  // Criar objetos ADS1115
7  Adafruit_ADS1115 ads1, ads2, ads3, ads4;
8
9  const int chipSelect = 10; // Pino CS do SD Card
10 File dataFile;
11
12 // Protótipo da função readADS()
13 void readADS(Adafruit_ADS1115& ads, int deviceIndex, int maxChannels = 4);
14
15 bool isReading = false;
16 unsigned long startTime;
17 const unsigned long samplePeriod = 10000; // 10 segundos
18 unsigned long startMillis = 0; // Guarda o tempo inicial do Arduino
19
20 int fileNumber = 1; // Número do arquivo (dados_1.csv, dados_2.csv, etc.)
21
22 // Armazenar os picos de corrente detectados em cada canal
23 float peakCurrent[4][4] = {{0.0, 0.0, 0.0, 0.0}, {0.0, 0.0, 0.0, 0.0}, {0.0, 0.0, 0.0, 0.0}, {0.0, 0.0, 0.0, 0.0}};
24

```

Figure 3.6: Bibliotecas utilizadas e Inicialização de variáveis.

As bibliotecas utilizadas no código incluem:

- **Wire.h:**Facilita a comunicação I2C entre o Arduino e os conversores analógico-digitais (ADS1115).
- **Adafruit_ADS1X15.h:** Permite o controlo direto dos ADS1115, responsáveis pela conversão dos sinais analógicos dos sensores de corrente em valores digitais.
- **SPI.h e SD.h:** Gerem a comunicação SPI entre o Arduino e o módulo SD Card, garantindo a gravação eficiente dos dados recolhidos.

Foram criados quatro objetos do tipo `Adafruit_ADS1115` (`ads1`, `ads2`, `ads3` e `ads4`) para gerir os quatro conversores ADS1115 conectados ao sistema. Estes objetos permitem a leitura simultânea de múltiplos sensores, otimizando a aquisição de dados em diferentes circuitos da residência monitorizada.

Além disso, variáveis globais foram definidas para armazenar medições e controlar o fluxo do sistema:

- **fileNumber:** Numera os ficheiros gerados no cartão SD, facilitando a segmentação dos dados.

- **peakCurrent:** Matriz que armazena os picos de corrente registados para cada canal durante o período de amostragem.
- **samplePeriod** e **startTime:** Controlam os intervalos de tempo para registo e reinício de medições.

A modularidade desta configuração inicial garante que o código esteja devidamente organizado e fácil de modificar ou expandir em futuras implementações. O excerto de código apresentado na Figura 3.6 ilustra como os diferentes elementos do sistema estão configurados no software.

3.4.2 Função de Configuração

A função *setup()* é responsável por inicializar todos os componentes de hardware e preparar o sistema para iniciar o ciclo de funcionamento contínuo definido na função *Loop()* (abordado em 3.4.3). Esta configuração inicial é crucial para garantir que todos os dispositivos necessários ao sistema e as respetivas ligações entre eles estejam operacionais e corretamente configurados.

```

25 void setup() {
26     Serial.begin(9600);
27
28     if (!SD.begin(chipSelect)) {
29         Serial.println("Falha ao inicializar o SD Card!");
30         while (1);
31     }
32     Serial.println("SD Card inicializado com sucesso.");
33
34     // Criar o primeiro arquivo CSV baseado no tempo
35     createNewFile();
36
37     // Inicializar os ADS1115
38     if (!ads1.begin(0x48) || !ads2.begin(0x49) || !ads3.begin(0x4A) || !ads4.begin(0x4B)) {
39         Serial.println("Falha ao inicializar ADS1115!");
40         while (1);
41     }
42
43     Serial.println("Iniciando leituras...");
44     isReading = true;
45     startTime = millis();
46     startMillis = millis(); // Guarda o tempo inicial do Arduino
47 }
48

```

Figure 3.7: Verificação do funcionamento dos equipamentos - *setup()*.

Primeiramente, a comunicação em série é iniciada para permitir o envio de mensagens de depuração e diagnóstico através do terminal do computador. Esta funcionalidade é especialmente útil durante o desenvolvimento e testes, uma vez que permite monitorizar o estado do sistema e identificar possíveis falhas.

De seguida, o cartão SD é inicializado através da função *SD.begin()*, utilizando o pino de seleção de chip (*chipSelect*) previamente definido no subcapítulo 3.3. Este passo

garante que o cartão SD está pronto para armazenar os dados recolhidos. Caso a inicialização falhe, uma mensagem de erro é enviada para o terminal, e o sistema é interrompido, evitando que o programa continue sem um meio de armazenamento funcional.

Outro passo fundamental na configuração é a inicialização dos conversores analógico-digitais (ADC) ADS1115. Estes dispositivos são responsáveis por converter os sinais analógicos provenientes dos sensores de corrente em valores digitais legíveis pelo microcontrolador. A função *begin()* é utilizada para verificar a comunicação I2C com cada um dos ADCs, e, tal como no cartão SD, qualquer falha neste processo resulta na interrupção do sistema para evitar leituras incorretas.

Por fim, após a verificação bem sucedida dos equipamentos, os parâmetros globais são inicializados, como o tempo de início do programa (*startMillis*) e a variável *isReading*, que indica se o sistema está preparado para realizar leituras. Estas variáveis garantem que o sistema está pronto para iniciar o seu ciclo principal assim que a configuração esteja concluída.

3.4.3 Fluxo Principal do Programa:

A função *loop()* constitui o núcleo do sistema, sendo responsável pela execução contínua e autónoma das tarefas necessárias para monitorizar o consumo energético. Este ciclo principal realiza leituras periódicas dos sensores, armazena os dados recolhidos e organiza os ficheiros de registo, assegurando que as medições sejam recolhidas e gravadas de forma precisa e estruturada.

```
48
49 void loop() {
50     if (isReading) {
51         readADS(ads1, 0);
52         readADS(ads2, 1);
53         readADS(ads3, 2);
54         readADS(ads4, 3, 2);
55
56         if (millis() - startTime >= samplePeriod) {
57             saveToSD();
58             startTime = millis();
59         }
60
61         // Verifica se passou 24 horas (86.400.000 ms) para criar um novo arquivo
62         if (millis() - startMillis >= 86400000) {
63             fileNumber++;
64             createNewFile();
65             startMillis = millis(); // Reinicia a contagem de 24h
66         }
67     }
68 }
69
```

Figure 3.8: Fluxo Principal do Programa - *loop()*.

O fluxo principal do programa pode ser dividido em três etapas fundamentais:

1. Leitura dos Sensores:

A cada iteração do ciclo, a função *readADS()* é chamada para realizar a leitura dos valores de corrente de todos os sensores conectados ao sistema. Estes valores são convertidos de analógico para digital através dos conversores ADS1115 e armazenados em variáveis globais. Durante este processo, são registados os valores de pico de corrente para cada canal, permitindo identificar os momentos de maior consumo ao longo do período de amostragem.

2. Armazenamento Periódico de Dados:

A cada 10 segundos, o sistema grava os dados recolhidos no cartão SD, utilizando a função *saveToSD()*. Esta função organiza os valores de corrente medidos num ficheiro CSV, incluindo informações como o timestamp, o circuito monitorizado e o valor da corrente medida. Após o armazenamento, a função *resetPeakValues()* é chamada para reiniciar os valores de pico, garantindo que os dados gravados representem apenas o intervalo de amostragem mais recente.

3. Gestão de Ficheiros:

Para organizar os registos, a função verifica se o intervalo definido para a criação de novos ficheiros foi alcançado (ex.: 24 horas). Caso este intervalo seja atingido, um novo ficheiro CSV é criado pela função *createNewFile()*, permitindo segmentar os dados em períodos distintos e facilitando a análise posterior.

Este fluxo contínuo garante o funcionamento autónomo do sistema, integrando as medições, o armazenamento e a gestão dos ficheiros de forma eficiente. A estrutura modular do código permite que cada etapa seja executada de maneira independente, simplificando o desenvolvimento e a manutenção do sistema.

3.4.4 Leitura de Sensores

A função *readADS()* é responsável por adquirir as medições provenientes dos sensores de corrente instalados no sistema. Estes sensores utilizam sinais analógicos para representar a intensidade da corrente elétrica em cada circuito monitorizado. A conversão destes sinais para valores digitais é realizada pelos conversores analógico-digitais (ADC) ADS1115, garantindo medições precisas e adequadas para análise posterior.

Os sensores de corrente utilizados neste sistema, como os SCT-013, operam de forma não invasiva, permitindo medir a corrente sem necessidade de interromper o circuito elétrico. Os sinais analógicos gerados são enviados ao ADC, que os converte para valores digitais com uma resolução de 16 bits, assegurando um nível elevado de precisão.

Código da Função

O excerto do código abaixo apresenta a implementação da função *readADS()*, ilustrando o processo descrito:

```

127 // Função para ler um ADS1115 e capturar os picos de corrente
128 void readADS(Adafruit_ADS1115& ads, int deviceIndex, int maxChannels = 4) {
129     for (int channel = 0; channel < maxChannels; channel++) {
130         float voltage = ads.readADC_SingleEnded(channel) * (4.096 / 32768.0);
131         float current = (deviceIndex == 0 && channel < 3) ? voltage * 60.8 : voltage * 36.5;
132
133         // Atualiza o pico de corrente apenas para os últimos 10 segundos
134         if (abs(current) > peakCurrent[deviceIndex][channel]) {
135             peakCurrent[deviceIndex][channel] = abs(current);
136         }
137     }
138 }
139 
```

Figure 3.9: Análise e Recolha de Dados dos Sensores - *readADS()*.

Aquisição e Processamento dos Dados

A função *readADS()* recolhe os sinais analógicos através dos canais do ADS1115 e converte-os em valores digitais. Após a conversão, aplica-se um fator de calibração para obter os valores de corrente elétrica em amperes. Este fator depende da gama do sensor utilizado:

- Para os sensores SCT-013 com capacidade máxima de 50 A (instalados no Quadro de Entrada), utiliza-se um fator de calibração de 60.8.
- Para os sensores SCT-013 com capacidade máxima de 30 A (utilizados nos circuitos com menor consumo), o fator de calibração é 36.5.

Este processo de calibração foi verificado manualmente para ambas as gamas do sensor e assegura que os valores obtidos sejam representativos da corrente real nos circuitos monitorizados.

Identificação e Registo de Picos de Corrente

Durante cada leitura, a função compara o valor de corrente medido com o valor máximo registado previamente para o canal correspondente. Caso a nova leitura seja superior, a função atualiza a matriz *peakCurrent* com o novo valor de pico. Este método assegura que o sistema regista os picos de corrente dentro de cada período de amostragem, permitindo a identificação de momentos de maior consumo energético.

A Figura 3.10 ilustra a forma como os valores de corrente são amostrados ao longo do tempo. A curva sinusoidal representa a corrente alternada captada pelos sensores SCT-013, enquanto os pontos pretos destacam as medições efetuadas a intervalos regulares. Este processo permite ao sistema monitorizar continuamente as oscilações da corrente e detetar os valores máximos registados em cada intervalo.

A matriz *peakCurrent* é organizada de forma a armazenar os valores máximos para cada canal e dispositivo. Como o sistema utiliza até quatro dispositivos ADS1115, cada

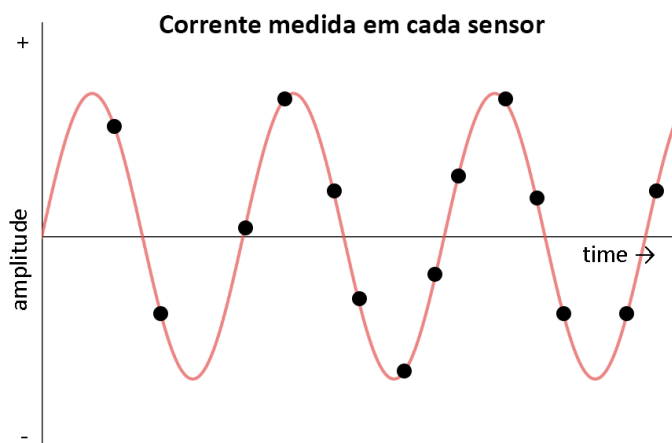


Figure 3.10: Exemplo de medições de corrente ao longo do tempo.

um com quatro canais de entrada, é possível monitorizar simultaneamente 16 sensores de corrente. Esta estrutura de armazenamento permite um registo eficiente e ordenado dos picos de consumo.

Para garantir que os valores registados refletem apenas a variação mais recente do consumo, a matriz `peakCurrent` é reiniciada ao final de cada período de amostragem, definido em 10 segundos. Desta forma, os picos de corrente armazenados representam os valores mais elevados dentro de cada intervalo de medição, permitindo uma análise precisa da dinâmica do consumo elétrico ao longo do tempo.

Integração no Ciclo Principal

A função `readADS()` é chamada no ciclo principal do programa (`loop()`), garantindo uma recolha contínua de medições durante o funcionamento do sistema. Cada chamada processa os sinais de um dispositivo ADS1115, sendo que o sistema suporta até quatro dispositivos conectados simultaneamente. Esta modularidade permite escalar o sistema para monitorizar múltiplos circuitos sem comprometer a eficiência.

3.4.5 Gravação de Dados

Ao acrescentar um cartão SD no sistema de monitorização energética, o mesmo permite que as medições realizadas pelos sensores sejam armazenadas de forma estruturada para análise futura. Esta funcionalidade foi implementada na função `saveToSD()`, que organiza os dados recolhidos e os grava num ficheiro CSV (Comma-Separated Values). Este formato foi escolhido pela sua simplicidade e ampla compatibilidade com ferramentas de análise de dados, como Microsoft Excel e MATLAB.

A função `saveToSD()` é executada periodicamente, ao final de cada intervalo de amostragem definido (10 segundos). Neste intervalo, os valores máximos de corrente registados para

```

88 // Função para salvar os dados no SD Card
89 void saveToSD() {
90     char filename[20];
91     sprintf(filename, "dados_%d.csv", fileNumber);
92     dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
93
94     if (dataFile) {
95         unsigned long secondsSinceStart = millis() / 1000; // Tempo desde o início, em segundos
96
97         for (int device = 0; device < 4; device++) {
98             int maxChannels = (device == 3) ? 2 : 4;
99             for (int channel = 0; channel < maxChannels; channel++) {
100                 dataFile.print(secondsSinceStart);
101                 dataFile.print(",");
102                 dataFile.print(device == 0 ? "0x48" : device == 1 ? "0x49" : device == 2 ? "0x4A" : "0x4B");
103                 dataFile.print(",");
104                 dataFile.print("A");
105                 dataFile.print(channel + 1 + (device * 4));
106                 dataFile.print(",");
107                 dataFile.println(peakCurrent[device][channel], 3);
108             }
109         }
110         dataFile.close();
111
112         resetPeakValues(); // ♦ Resetar os valores após salvar no SD
113     } else {
114         Serial.println("Erro ao escrever no arquivo!");
115     }
116 }

```

Figure 3.11: Gravação de Dados - SaveToSD().

cada canal são escritos no ficheiro atualmente aberto no cartão SD. A estrutura de cada registo inclui as seguintes informações:

1. **Timestamp (s):** Representa o tempo, em segundos, desde o início do programa. Este campo permite associar cada medição ao momento em que foi realizada.
2. **Identificação do ADC (ADS1115):** Indica qual dos conversores ADC (0x48, 0x49, 0x4A ou 0x4B) realizou a medição, identificando a origem do equipamento ou circuito.
3. **Canal Monitorizado:** Identifica o canal específico dentro do ADC, permitindo mapear a medição ao setor correspondente da instalação elétrica.
4. **Valor da Corrente (A):** Regista o valor máximo da corrente medida durante o intervalo de amostragem, em amperes.

Formato dos Dados

Os dados são organizados no ficheiro CSV com cada registo ocupando uma linha e os campos separados por vírgulas. A estrutura do ficheiro é definida pela linha de cabeçalho criada pela função *createNewFile()*, que inclui os campos abordados a cima, na seguinte forma:

120,0x48,A1,2.314

Este registo indica que, no segundo 120 desde o início do programa, o ADC identificado como 0x48 registou um pico de corrente de 2.314 amperes no canal A1.

Esta função verifica automaticamente se o ficheiro associado ao registo está aberto e pronto para gravação. Caso o ficheiro não esteja acessível, o programa notifica o utilizador através da porta serial, permitindo identificar possíveis problemas com o módulo SD.

3.4.6 Gestão de Ficheiros

A gestão de ficheiros é responsável por organizar os dados recolhidos em intervalos temporais definidos. Neste projeto, foi implementado um sistema que automatiza a criação de novos ficheiros de registo, assegurando que os dados são organizados de forma segmentada por períodos de 24 horas. Este método permite que os ficheiros sejam mais facilmente analisados, ao mesmo tempo que reduz o risco de perda de dados em caso de falhas.

Segmentação dos Dados

Cada ficheiro de registo contém as medições realizadas durante um período de 24 horas consecutivas. A criação de novos ficheiros é controlada por um contador de tempo (startMillis) que regista o momento em que o sistema foi iniciado ou em que o último ficheiro foi criado. Durante o funcionamento do programa, o tempo decorrido desde a última criação de ficheiro é constantemente verificado. Sempre que o intervalo de 86400000 ms (24 horas) é atingido, o ficheiro atual é encerrado, e um novo ficheiro é gerado automaticamente.

```
70 // Função para criar um novo arquivo de log (dados_1.csv, dados_2.csv, etc.)
71 void createNewFile() {
72     char filename[20];
73     sprintf(filename, "dados_%d.csv", fileNumber);
74
75     dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
76     if (!dataFile) {
77         Serial.println("Erro ao abrir arquivo CSV!");
78         return;
79     }
80
81     dataFile.println("Timestamp (s),ADS1115,Canal,Valor (A)");
82     dataFile.close();
83
84     Serial.print("Arquivo criado: ");
85     Serial.println(filename);
86 }
87
```

Figure 3.12: Segmentação dos Dados - CreateNewFile().

Este método oferece várias vantagens:

1. **Organização temporal clara** com os dados segmentados por dia.
2. **Ficheiros com tamanhos consistentes** facilitando a análise e a manipulação posterior.

3. **Redução do risco de perda de dados** já que cada ficheiro cobre um período específico e independente.

Nomeação e Estrutura dos Ficheiros

Os ficheiros de registo são nomeados de forma sequencial no formato "dados_X.csv", onde X representa o número do ficheiro, começando em 1. Este número é armazenado na variável `fileNumber`, que é incrementada automaticamente sempre que um novo ficheiro é criado. Este esquema de nomeação assegura que os ficheiros são únicos e permitem identificar facilmente o período de registo. Por exemplo: `dados_1.csv` contém os dados recolhidos no primeiro dia de monitorização, `dados_2.csv` corresponde ao segundo dia de funcionamento do sistema, e assim sucessivamente.

Caso ocorra algum problema, como falha na inicialização do cartão SD ou erro ao criar o ficheiro, o sistema emite uma mensagem de erro pela comunicação serial para alertar o utilizador.

3.4.7 Reinício de Valores Máximos

Para garantir que os valores de pico de corrente registados refletem apenas as medições do período de amostragem mais recente, foi implementada a função `resetPeakValues()`. Esta função desempenha um papel essencial na fiabilidade do sistema, uma vez que reinicia os valores máximos registados em cada canal dos sensores após o armazenamento dos dados no cartão SD.

```
118 // Função para resetar os picos de corrente a cada 10 segundos
119 void resetPeakValues() {
120     for (int device = 0; device < 4; device++) {
121         for (int channel = 0; channel < 4; channel++) {
122             peakCurrent[device][channel] = 0.0; // Reinicia os valores máximos
123         }
124     }
125 }
126
```

Figure 3.13: Reinício de Valores Máximo - `ResetPeakValues()`.

A cada 10 segundos, quando o período de amostragem termina e os dados recolhidos são gravados no cartão SD, a função `resetPeakValues()` é chamada para reiniciar as medições de pico. Este procedimento evita que os valores máximos acumulados ao longo do tempo interfiram com as medições subsequentes, assegurando que cada novo período de amostragem tenha um conjunto de picos de corrente atualizado e independente.

Funcionamento da Função

A função percorre todos os dispositivos conectados (ADS1115) e reinicia os valores registados no vetor `peakCurrent`, que armazena os picos de corrente detetados. Para cada

dispositivo, verifica todos os canais configurados, atribuindo o valor 0.0 como o novo ponto de partida para as medições.

Este procedimento é essencial para garantir a precisão das medições, especialmente porque o sistema foi projetado para detetar picos de corrente dentro de intervalos regulares. Ao eliminar valores residuais de períodos anteriores, a função *resetPeakValues()* permite que as medições registadas sejam representativas do comportamento do consumo energético em cada novo intervalo de amostragem.

Importância no Sistema

A reinicialização dos valores máximos:

- **Assegura precisão:** Elimina o risco de acumulação de picos de corrente de períodos anteriores, que poderiam distorcer os resultados.
- **Permite a monitorização contínua:** Cada período de amostragem é tratado como uma unidade independente, facilitando a análise segmentada de padrões de consumo.
- **Mantém o desempenho do sistema:** A sua execução eficiente evita atrasos ou sobrecargas no funcionamento do código.

3.5 Critérios de Análise

A análise dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização energética exige a definição de critérios rigorosos que permitam interpretar os padrões de consumo e identificar oportunidades de otimização. Para isso, foram estabelecidas metodologias que possibilitam a deteção de anomalias, como picos de consumo inesperados e cargas fantasmas, e a análise de tendências sazonais que influenciam o uso da energia ao longo do tempo.

Os critérios definidos baseiam-se na segmentação dos consumos por setor e na aplicação de métricas estatísticas que garantem uma avaliação precisa da distribuição energética na habitação monitorizada. O cruzamento destes dados com as informações recolhidas através de inquéritos qualitativos permite contextualizar os hábitos dos utilizadores e justificar variações nos consumos, garantindo uma abordagem holística na interpretação dos resultados.

Neste capítulo, são explorados os principais métodos utilizados para a identificação de picos de consumo, que representam os momentos de maior exigência energética e podem indicar ineficiências no uso da eletricidade; a deteção de cargas fantasmas, essenciais para quantificar consumos residuais não intencionais que aumentam o desperdício energético; e a análise de padrões sazonais, que permite compreender as variações cíclicas no consumo e apoiar estratégias de gestão energética mais eficazes. Estes critérios servem de base para a interpretação dos dados recolhidos e para a formulação de recomendações que visam reduzir o consumo e aumentar a eficiência do sistema energético residencial.

3.5.1 Picos de consumo

A identificação de picos de consumo energético constitui um elemento central na análise dos dados recolhidos, permitindo compreender os momentos de maior exigência elétrica e otimizar a utilização da energia. Este processo baseia-se na análise detalhada das

medições de corrente captadas a cada 10 segundos, que são convertidas em estimativas de potência e armazenadas localmente em ficheiros estruturados, no cartão SD. Esta estrutura permite organizar as medições de forma cronológica, criando séries temporais que evidenciam padrões anómalos e consumos extremos, fornecendo um suporte robusto para a interpretação dos dados.

Para identificar os picos de consumo, foi implementada uma abordagem baseada em limiares dinâmicos, ajustados de acordo com o setor monitorizado (ex.: iluminação, climatização) e os dados históricos recolhidos. Estes limiares permitem personalizar os critérios de detecção, garantindo que os picos identificados são relevantes para cada contexto de análise. Por exemplo:

- **Sistemas de climatização:** São considerados picos de consumo quaisquer valores superiores a 80% da capacidade nominal do equipamento que persistam por mais de 10 minutos consecutivos. Este critério é especialmente relevante para identificar situações de sobrecarga ou uso ineficiente de aparelhos de aquecimento e refrigeração.
- **Iluminação:** Picos de consumo são detetados quando o uso excede os horários esperados, conforme descrito pelas rotinas identificadas nos inquéritos qualitativos. Esta análise permite correlacionar anomalias com comportamentos ou configurações inadequadas.

Para reforçar a precisão da detecção de picos, foram aplicadas métricas estatísticas como a média móvel e o desvio-padrão, que ajudam a distinguir variações normais nos dados de picos reais. Estas técnicas são fundamentais para reduzir a ocorrência de falsos positivos, especialmente em ambientes onde o ruído ou interferências podem comprometer a qualidade dos dados brutos. A utilização destas métricas permite suavizar as flutuações naturais das medições e realçar eventos relevantes.

Além de identificar picos de consumo em tempo real, esta abordagem também possibilita a análise retrospectiva do impacto destes eventos no consumo global. Por exemplo, a identificação de cargas elevadas em horários de pico pode ser utilizada para redistribuir a utilização de certos equipamentos para períodos de menor custo energético, promovendo uma maior eficiência no uso da energia.

Esta metodologia de identificação de picos, ao combinar técnicas adaptativas e estatísticas, assegura que o sistema não apenas deteta anomalias, mas também fornece informações acionáveis para a otimização do consumo energético. Assim, o processo contribui diretamente para a elaboração de estratégias informadas, alinhadas com os objetivos de sustentabilidade e redução de custos.

3.5.2 Consumo Fantasma

As cargas fantasmas representam um dos fatores menos óbvios, mas significativamente impactantes no consumo energético de uma habitação. Estas cargas correspondem à energia consumida por dispositivos que permanecem em standby ou ligados desnecessariamente, mesmo quando não estão em uso ativo. Identificar e quantificar estas cargas é crucial para propor estratégias que minimizem desperdícios e aumentem a eficiência energética.

Metodologia para Identificação de Consumo Fantasma

A deteção de cargas fantasmas baseia-se na análise contínua das leituras de corrente recolhidas pelos sensores SCT-013. Estas leituras, realizadas com uma frequência de 10 segundos, são filtradas para eliminar ruídos (valores inferiores a 0.1 A) e destacar padrões consistentes de consumo em períodos de inatividade.

1. Definição de Consumo Fantasma:

- Um consumo é classificado como fantasma quando um dispositivo apresenta uma corrente constante, mas de baixo valor, fora dos horários habituais de utilização ou durante períodos em que a divisão está desocupada.
- Exemplos típicos incluem televisores em standby, carregadores deixados na tomada e pequenos eletrodomésticos que mantêm um consumo residual mesmo quando não estão a ser utilizados.

2. Segmentação Temporal:

- A análise foca-se principalmente nos períodos noturnos (madrugada) e em horários em que a casa está desocupada, conforme indicado pelas respostas ao inquérito qualitativo descrito posteriormente no capítulo 4. Esta segmentação permite identificar consumos que não estão associados a atividades residenciais legítimas.

Impacto das Cargas Fantasmas

As cargas fantasmas podem representar uma parcela significativa do consumo energético de uma habitação, especialmente em casas com múltiplos dispositivos ligados constantemente. Embora os consumos individuais possam parecer insignificantes, o somatório destes ao longo do tempo revela um impacto considerável no consumo total.

3.5.3 Padrões Sazonais

No contexto do consumo energético residencial, os padrões sazonais desempenham um papel crucial na compreensão das variações no uso de energia ao longo do ano. Estes padrões estão diretamente relacionados às mudanças climáticas, hábitos dos residentes e à utilização de sistemas específicos, como aquecimento durante o inverno ou climatização no verão. Este tópico aborda as estratégias desenvolvidas para analisar e identificar padrões sazonais no consumo, destacando a sua relevância para o planeamento energético e para a implementação de medidas de eficiência.

Metodologia para Identificação de Padrões Sazonais

A análise de padrões sazonais baseia-se na recolha e agregação de dados ao longo de períodos prolongados, tipicamente meses ou estações do ano, permitindo identificar tendências consistentes de aumento ou redução de consumo.

1. Agrupamento de Dados Temporais:

- Os dados recolhidos pelos sensores são agrupados em intervalos mensais, facilitando a visualização das tendências sazonais. Esta abordagem permite correlacionar diretamente os picos de consumo com fatores como temperaturas extremas ou alterações nos horários de luz solar.
- A segmentação por setores de consumo (ex.: climatização, iluminação) ajuda a identificar áreas específicas onde as variações são mais pronunciadas.

2. Correlação com Dados Climáticos:

- Para compreender o impacto das condições externas, os dados de consumo energético poderão ser comparados com registos meteorológicos locais, incluindo temperaturas médias, humidade e horas de sol.
- Esta correlação permite estabelecer relações diretas entre o consumo de energia e fatores como a necessidade de aquecimento durante o inverno ou refrigeração no verão.

3. Integração de Dados Comportamentais:

- As respostas ao inquérito qualitativo são utilizadas para identificar mudanças nas rotinas dos residentes que possam explicar as variações sazonais. Por exemplo, o aumento do tempo passado em casa durante as férias de inverno pode justificar um maior consumo em determinados setores, como iluminação e entretenimento.

Impacto e Benefícios da Análise Sazonal

A análise de padrões sazonais fornece uma perspectiva abrangente sobre as flutuações no consumo energético, destacando períodos de maior e menor demanda. Esta informação é essencial para:

- **Planeamento Energético:** Permitir aos residentes antecipar custos adicionais em períodos de maior consumo, promovendo uma gestão financeira mais eficiente.
- **Otimização de Recursos:** Identificar períodos de menor consumo, nos quais é possível redirecionar recursos para manutenção ou substituição de equipamentos ineficientes.
- **Promoção de Eficiência Energética:** Implementar estratégias específicas para cada estação, como isolamento térmico no inverno ou ventilação natural no verão, reduzindo o uso de sistemas de climatização.

Chapter 4

Metodologia de Análise e Tratamento de Dados

A compreensão aprofundada dos padrões de consumo energético numa habitação exige mais do que a recolha automatizada de dados através de sensores. Embora os sensores de corrente não invasivos instalados nos circuitos elétricos forneçam medições precisas e contínuas, a análise completa desses dados requer uma contextualização comportamental e operacional que os sensores, por si só, não conseguem captar. É neste contexto que a inclusão de um inquérito estruturado aos residentes assume particular importância.

Este inquérito foi concebido para mapear hábitos de utilização de energia e rotinas diárias dos moradores, oferecendo informações qualitativas que complementam os dados quantitativos recolhidos pelos sensores. Por exemplo, enquanto os sensores podem identificar o momento em que ocorre um pico de consumo, as respostas dos residentes permitem associar esse pico a atividades específicas, como o uso de um eletrodoméstico ou a permanência em casa num horário fora do habitual. Além disso, o inquérito possibilita a obtenção de dados sobre equipamentos e comportamentos que não são diretamente monitorizados, como o uso de dispositivos portáteis ou práticas de poupança energética.

A integração do inquérito no projeto não só enriquece a análise dos padrões de consumo energético, como também contribui para a construção de um perfil mais detalhado da habitação monitorizada. Este perfil, baseado na combinação de dados sensoriais e informações qualitativas, permite uma interpretação mais sólida dos padrões de consumo e a formulação de estratégias de eficiência energética personalizadas, ajustadas às necessidades e comportamentos reais dos residentes.

4.1 Objetivos do Inquérito

O inquérito foi concebido com o objetivo de complementar os dados recolhidos pelos sensores de corrente instalados na habitação, permitindo mapear de forma detalhada os

hábitos e rotinas energéticas dos residentes. Enquanto os sensores fornecem informações quantitativas sobre o consumo em diferentes circuitos elétricos, o inquérito acrescenta uma dimensão qualitativa, essencial para compreender o comportamento dos utilizadores e o impacto das suas decisões no consumo energético.

A estrutura do inquérito foi desenhada para abranger várias áreas de interesse, desde os perfis dos residentes até às práticas de utilização de equipamentos, iluminação, aquecimento e climatização. Através de perguntas cuidadosamente formuladas, o inquérito procura identificar:

Rotinas Diárias: Horários de presença na habitação, padrões de uso de divisões e dispositivos, e diferenças entre dias úteis e fins de semana.

Práticas de Consumo: Frequência de utilização de eletrodomésticos e outros equipamentos, incluindo aqueles que não estão diretamente monitorizados pelos sensores.

Comportamentos de Eficiência Energética: Hábitos relacionados com poupança de energia, como desligar aparelhos em standby, ajustar estores para aproveitar a luz solar, ou utilização de lâmpadas de baixo consumo.

A relação entre os dados qualitativos obtidos e os objetivos gerais do projeto é clara e estratégica. Os dados recolhidos pelos sensores fornecem medições precisas de corrente elétrica e permitem identificar padrões de consumo em diferentes setores da casa. Contudo, estas medições não conseguem, por si só, explicar as razões subjacentes a determinados padrões ou picos de consumo. Por exemplo, um aumento significativo no consumo noturno pode estar relacionado com o uso de aquecedores elétricos, mas apenas o inquérito pode confirmar esta associação, ao identificar as práticas dos residentes e os seus horários habituais de utilização.

Além disso, o inquérito ajuda a captar informações sobre equipamentos ou práticas que não são monitorizados diretamente pelos sensores, como o uso de dispositivos portáteis, carregadores, ou equipamentos que operam fora dos circuitos monitorizados. Estes dados qualitativos complementam as leituras quantitativas, permitindo uma análise mais abrangente e integrada.

Desta forma, o inquérito contribui para os objetivos gerais do projeto, que incluem a identificação detalhada dos padrões de consumo energético na habitação e a formulação de estratégias de otimização baseadas em práticas reais dos utilizadores. Ao combinar os dados recolhidos com as informações qualitativas do inquérito, o sistema torna-se mais robusto, capaz de oferecer recomendações mais ajustadas e promover um uso mais eficiente da energia.

4.2 Estrutura do Inquérito

4.2.1 Perfil dos Residentes e Rotina Diária

Este tópico do inquérito foi concebido para captar informações essenciais sobre a dinâmica dos moradores, com o objetivo de contextualizar os dados quantitativos recolhidos pelos sensores. Conhecer o número de pessoas que habitam na casa, os seus horários de permanência e as suas atividades específicas permite interpretar de forma mais precisa os picos de consumo e identificar comportamentos associados ao uso da energia.

Estrutura das Perguntas

As questões foram formuladas para capturar dados sobre três aspetos principais:

1. **Número de Residentes:** A primeira pergunta determina quantas pessoas residem na habitação. Este dado é essencial para estimar o consumo energético geral, uma vez que o número de ocupantes tem uma relação direta com a utilização de dispositivos e eletrodomésticos, iluminação e aquecimento.
2. **Horários de Presença e Atividades:** Perguntas relacionadas com os horários habituais de saída e chegada ajudam a identificar períodos em que a casa está desocupada ou quando há maior atividade. Por exemplo, se os residentes saem cedo e voltam tarde, pode-se esperar um menor consumo durante o dia, exceto para equipamentos essenciais como frigoríficos. Adicionalmente, a questão sobre teletrabalho e presença regular durante o dia foi incluída para identificar padrões de uso que diferem das rotinas tradicionais.
3. **Rotinas Semanais e de Fim de Semana:** As perguntas sobre a duração da permanência em casa ao fim de semana e a comparação entre rotinas semanais e de fim de semana fornecem informações sobre variações no comportamento energético. Estas diferenças são importantes para identificar alterações no consumo de energia associadas a dias de descanso, quando os residentes podem passar mais tempo em casa e utilizar mais equipamentos.

Importância das Respostas

As respostas obtidas nesta seção ajudam a compreender como os hábitos dos moradores influenciam diretamente os padrões de consumo energético. Por exemplo:

Uma casa com um número reduzido de residentes tende a ter um consumo global menor, mas o uso de equipamentos pode ser mais concentrado em horários específicos. Presença prolongada durante o dia, como em casos de teletrabalho, pode aumentar o consumo de energia em circuitos relacionados a iluminação, climatização e tomadas de equipamentos eletrónicos. Diferenças entre dias úteis e fins de semana permitem ajustar as análises para considerar variações sazonais ou semanais no consumo.

Relação com os Objetivos do Projeto

A recolha destas informações é essencial para alcançar os objetivos gerais do projeto. Ao conhecer o perfil e as rotinas dos residentes, torna-se possível:

Interpretar os picos de consumo identificados pelos sensores em função das atividades dos ocupantes. Diferenciar consumos relacionados à ocupação regular da casa de consumos residuais ou constantes (como consumo fantasma). Propor recomendações personalizadas, como ajustar os horários de utilização de equipamentos de alto consumo para momentos em que as tarifas de energia são mais económicas. Além disso, o cruzamento entre o perfil dos residentes e os dados recolhidos pelos sensores permite criar modelos preditivos mais fiáveis, capazes de antecipar padrões de consumo com base em hábitos conhecidos. Este processo garante uma análise mais detalhada e uma gestão energética mais eficiente, alinhada às necessidades reais dos moradores.

Descrever como o inquérito foi organizado, abordando os tópicos principais:

Explicar a transição para perguntas de escolha múltipla, facilitando a análise e a correlação com os dados quantitativos.

4.2.2 Divisão por Setores de Consumo

A correta definição dos setores de consumo é um dos passos para garantir que a análise dos dados recolhidos seja a mais precisa e útil possível. A segmentação dos consumos elétricos em categorias bem definidas permite uma avaliação detalhada dos padrões de utilização de energia, possibilitando a identificação de ineficiências, desperdícios e oportunidades de otimização. Uma divisão inadequada pode comprometer a interpretação dos dados, dificultando a correlação entre os valores medidos e a realidade do consumo da habitação.

1. Iluminação

O consumo de energia relacionado com a iluminação é influenciado por fatores como hábitos dos residentes, tipos de lâmpadas utilizadas e presença de sistemas automatizados, como sensores de movimento. As questões deste tópico foram formuladas para capturar informações sobre:

- **Horários de utilização:** Determinar os períodos do dia em que a iluminação é mais utilizada (manhã, tarde, noite ou ao longo do dia).
- **Práticas de poupança energética:** Explorar a frequência com que as luzes são desligadas ao sair de uma divisão.
- **Automação:** Identificar a existência de sensores de movimento ou sistemas automáticos, que podem reduzir desperdícios energéticos.
- **Divisões prioritárias:** Mapear as áreas mais utilizadas durante a noite, como salas, quartos e corredores.

Estes dados complementam os registos quantitativos dos sensores, permitindo interpretar picos de consumo relacionados com a iluminação e identificar práticas ineficientes.

2. Tomadas e Equipamentos

Os dispositivos conectados às tomadas são responsáveis por uma parcela significativa do consumo energético, especialmente devido a equipamentos em standby ou de uso intensivo. O inquérito investiga:

- **Tipos de dispositivos frequentemente utilizados:** Carregadores, computadores, pequenos eletrodomésticos ou equipamentos de grande consumo, como máquinas de lavar.
- **Equipamentos ligados constantemente:** Identificação de dispositivos essenciais (ex.: frigoríficos) e de consumos residuais causados por standby (ex.: televisões ou routers).
- **Horários de uso de equipamentos de alto consumo:** Padrões de utilização de aparelhos como fornos, micro-ondas e máquinas de lavar roupa ou loiça.
- **Uso de temporizadores:** A existência de controlos automáticos que possam otimizar o uso de energia em horários de menor custo.

3. Climatização

A climatização, que inclui aquecimento e ar condicionado, representa uma das principais áreas de consumo energético em muitas habitações. O inquérito foi desenhado para captar informações como:

- **Tipo de sistema de climatização:** Sistemas fixos (ex.: aquecimento central) versus portáteis (ex.: aquecedores elétricos ou ventiladores).
- **Frequência de utilização:** Determinar se a climatização é usada regularmente, ocasionalmente ou raramente.
- **Programação horária:** Explorar se os sistemas estão programados para operar em horários específicos, como durante a noite ou em períodos de ocupação.
- **Gestão de climatização em divisões específicas:** Identificar práticas de desligar sistemas em divisões menos utilizadas para poupar energia.

Estas questões permitem associar padrões de consumo energético a sazonalidades e hábitos, como o aumento do uso de aquecimento no inverno ou de ar condicionado no verão.

4. Carregamento de Veículos Elétricos

Com o aumento da utilização de veículos elétricos, o carregamento representa um fator relevante no consumo energético residencial. O inquérito aborda:

- **Existência de veículos elétricos na habitação:** Identificação da necessidade de incluir este consumo no mapeamento energético.
- **Horários e frequência de carregamento:** Determinar se o carregamento ocorre durante a noite, dia ou em horários variáveis.
- **Carregamento em horários de menor custo:** Explorar se os residentes já adotaram estratégias para carregar os veículos em períodos com tarifas mais económicas, otimizando os custos.

5. Produção de Energia Renovável

- **Existência de painéis solares ou outras fontes renováveis:** Verificar se a casa possui capacidade de geração própria de energia.
- **Períodos de utilização de energia renovável:** Identificar os momentos em que a energia renovável é mais utilizada, normalmente alinhados com a produção solar durante o dia.
- **Equipamentos prioritariamente alimentados por energia renovável:** Explorar se há dispositivos que utilizam energia renovável de forma preferencial, como carregadores de veículos elétricos ou sistemas de aquecimento de água.

A integração destas informações com os dados quantitativos ajuda a compreender como a produção renovável contribui para o consumo total e identifica oportunidades para maximizar o seu aproveitamento.

4.3 Estimativa do Consumo Teórico por Setores

Através de um inquérito detalhado, é possível delinear um perfil de consumo energético baseado nos hábitos e rotinas diárias descritos pelos residentes da habitação. Este perfil fornece uma base fundamental para calcular estimativas de consumo energético teórico, distribuídas por setores específicos, como iluminação, climatização, equipamentos e outros.

As informações recolhidas permitem estabelecer uma previsão do consumo semanal ou mensal, utilizando fórmulas matemáticas desenvolvidas para traduzir os dados qualitativos em valores quantitativos. Neste subcapítulo, são apresentadas as equações que refletem esta abordagem, demonstrando como os diferentes setores de consumo podem ser analisados e estimados com precisão, contribuindo para uma visão mais abrangente e detalhada dos padrões energéticos da habitação.

1. Iluminação

De acordo com os parâmetros abordados no capítulo 4.2.2, é possível estabelecer a equação simplificada descrita abaixo.

$$C_{\text{iluminação}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i \cdot U_i \quad (4.1)$$

Para a análise da fórmula 4.1 é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- $C_{\text{iluminação}}$: Consumo total de iluminação (kWh).
- P_i : Potência das lâmpadas na divisão i (kW).
- T_i : Tempo médio de utilização diária na divisão i (horas/dia).
- U_i : Fator de utilização das lâmpadas na divisão i (proporção de tempo ligada, com base nas respostas do inquérito).
- n : Número total de divisões analisadas.

O consumo energético da iluminação numa habitação residencial é determinado pelos padrões de utilização de cada divisão, dependendo da potência das lâmpadas, do tempo médio em que estão ligadas e do respetivo fator de utilização. A equação apresentada reflete este princípio, representando o somatório do consumo energético de todas as divisões. Para cada divisão, o consumo é calculado multiplicando as três variáveis principais: a potência das lâmpadas (P), o tempo médio de uso diário (T) e o fator de utilização (U), que ajusta o cálculo de acordo com os hábitos dos residentes.

2. Tomadas e Equipamentos

Visto que a análise do consumo total das tomadas e equipamentos utilizados num edifício residencial depende de mais fatores, a equação simplificada é dada por:

$$C_{\text{tomadas}} = \sum_{j=1}^m (P_j \cdot T_j \cdot U_j) + \sum_{k=1}^o (P_k \cdot 24 \cdot S_k) \quad (4.2)$$

Para a análise da fórmula 4.2 é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- C_{tomadas} : Consumo total de equipamentos conectados às tomadas (kWh).
- P_j : Potência do equipamento j de uso regular (kW).
- T_j : Tempo médio diário de utilização do equipamento j (horas/dia).
- U_j : Fator de utilização (proporção de tempo ligado) do equipamento j .
- m : Número de equipamentos de uso regular.

- P_k : Potência do equipamento k em standby ou uso constante (kW).
- S_k : Fator de standby (percentagem de potência consumida em standby).
- o : Número de equipamentos em standby.

O consumo energético associado às tomadas e equipamentos numa habitação é determinado pelos padrões de utilização dos dispositivos conectados. A equação apresentada divide o cálculo em dois componentes principais: o consumo de equipamentos de uso regular e o de dispositivos em standby. Para equipamentos de uso regular, o consumo é obtido multiplicando a potência (P), o tempo médio de utilização diária (T) e o fator de utilização (U). Já para os equipamentos em standby, o consumo é estimado considerando a potência nominal (P), o fator de standby (S) e o funcionamento contínuo ao longo de 24 horas. O somatório destas componentes permite determinar o impacto total das tomadas no consumo energético.

3. Climatização

A fórmula abaixo indicada considera tanto o impacto dos sistemas fixos de climatização, como aquecimento central e ar condicionado, quanto dos sistemas portáteis, como aquecedores elétricos e ventiladores, proporcionando uma estimativa abrangente e ajustada ao consumo real.

$$C_{\text{climatização}} = P_{\text{fixo}} \cdot T_{\text{fixo}} + \sum_{p=1}^q (P_p \cdot T_p \cdot U_p) \quad (4.3)$$

Para a análise da fórmula 4.3 é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- $C_{\text{climatização}}$: Consumo total de climatização (kWh).
- P_{fixo} : Potência do sistema de climatização central ou fixo (kW).
- T_{fixo} : Tempo médio diário de utilização do sistema fixo (horas/dia).
- P_p : Potência do sistema portátil p (kW).
- T_p : Tempo médio diário de utilização do sistema portátil p (horas/dia).
- U_p : Fator de utilização do sistema portátil p (proporção de tempo ligado).
- q : Número de sistemas portáteis utilizados.

O consumo energético associado à climatização numa habitação residencial depende de dois fatores principais: o uso de sistemas fixos de climatização e o uso de sistemas portáteis. A fórmula apresentada divide o cálculo em duas partes: o consumo dos sistemas de climatização central ou fixos e o consumo dos sistemas portáteis.

Para os sistemas fixos, o consumo é determinado pela potência nominal (P_{fixo}) e pelo tempo médio diário de utilização (T_{fixo}). Este cálculo reflete o impacto direto de equipamentos como aquecimento central ou ar condicionado fixo, que geralmente apresentam potências elevadas e longos períodos de funcionamento.

Para os sistemas portáteis, como aquecedores elétricos ou ventiladores, o consumo é estimado somando o impacto de cada equipamento individual (p). Para cada sistema portátil, o cálculo é realizado multiplicando a potência nominal (P_p), o tempo médio diário de funcionamento (T_p) e o fator de utilização (U_p), que ajusta o cálculo para refletir o uso real declarado pelos residentes.

Ao somar estes dois componentes, a fórmula permite determinar o consumo total de energia dedicado à climatização. Esta abordagem segmentada é particularmente útil para identificar quais equipamentos têm maior impacto no consumo energético e propor estratégias de eficiência, como a programação de horários específicos ou a substituição por dispositivos mais eficientes.

4. Carregamento de veículos elétricos

Visto que a análise do consumo total associado ao carregamento de veículos elétricos numa habitação depende de fatores específicos relacionados ao uso e à frequência de carregamento, a equação simplificada é dada por:

$$C_{\text{veículos}} = P_{\text{carga}} \cdot T_{\text{carga}} \cdot F_{\text{carga}} \quad (4.4)$$

Para a análise da fórmula 4.4 é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- $C_{\text{veículos}}$: Consumo total do carregamento de veículos elétricos (kWh).
- P_{carga} : Potência média do carregador utilizado (kW).
- T_{carga} : Tempo médio de carregamento diário (horas/dia).
- F_{carga} : Frequência de carregamento semanal (proporção de dias em que o veículo é carregado).

O consumo energético relacionado ao carregamento de veículos elétricos numa habitação depende diretamente da potência utilizada, da duração média de cada sessão de carregamento e da frequência com que o veículo é carregado. A equação apresentada utiliza essas três variáveis-chave para fornecer uma estimativa precisa do impacto energético deste setor.

O cálculo baseia-se na potência média do carregador (P_{carga}), multiplicada pelo tempo médio diário de utilização (T_{carga}) e ajustada pela frequência semanal de carregamento (F_{carga}). Esta abordagem permite integrar os hábitos específicos dos residentes, traduzindo-os numa análise quantitativa do consumo associado.

Com este modelo, é possível compreender como o carregamento do veículo elétrico contribui para o consumo total de energia da habitação, identificando oportunidades de otimização, como a utilização de períodos de tarifas reduzidas ou a adoção de carregadores mais eficientes.

5. Produção de Energia Renovável

A fórmula abaixo considera tanto a contribuição dos sistemas de energia renovável, como painéis solares, quanto o impacto dos consumos prioritários, proporcionando uma estimativa abrangente e ajustada do balanço energético.

$$C_{\text{renovável}} = (P_{\text{solar}} \cdot H_{\text{solar}} \cdot E_{\text{solar}}) - C_{\text{prioritário}} \quad (4.5)$$

Para a análise da fórmula 4.5 é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- $C_{\text{renovável}}$: Contribuição líquida de energia renovável para o consumo (kWh).
- P_{solar} : Potência instalada do sistema de energia renovável (kW).
- H_{solar} : Número médio de horas de produção diária (horas/dia).
- E_{solar} : Eficiência média do sistema (%).
- $C_{\text{prioritário}}$: Consumo de equipamentos prioritariamente alimentados por energia renovável (kWh).

O consumo energético associado ao aproveitamento de fontes renováveis numa habitação é determinado pela capacidade de geração dos sistemas instalados, como painéis solares, e pelo impacto dos consumos prioritários atribuídos a esta energia. A equação apresentada utiliza variáveis essenciais como a potência instalada (P_{solar}), o número de horas médias de produção diária (H_{solar}) e a eficiência do sistema (E_{solar}) para calcular a energia gerada, subtraindo o consumo de equipamentos prioritários ($C_{\text{prioritário}}$).

Este modelo oferece uma estimativa clara da contribuição líquida de fontes renováveis para o consumo energético da habitação, traduzindo o equilíbrio entre a energia gerada e a energia consumida prioritariamente. A análise permite identificar o impacto direto da geração renovável no consumo total e avaliar a eficiência de utilização desses recursos, promovendo estratégias de otimização, como ajustes no dimensionamento dos sistemas ou melhor gestão dos consumos prioritários.

6. Consumo Fantasma

A seguinte equação permite estimar a energia consumida por equipamentos em standby ou que permanecem ligados durante períodos de inatividade, representando um consumo energético residual que pode ser otimizado para reduzir desperdícios.

$$C_{\text{fantasma}} = C_{\text{tomadas, inativo}} + f \cdot C_{\text{outros}} \quad (4.6)$$

Para a análise da fórmula é necessário ter em conta as seguintes variáveis:

- C_{fantasma} : Consumo total associado a cargas fantasmas (kWh).
- $C_{\text{tomadas, inativo}}$: Consumo de equipamentos conectados às tomadas durante períodos de inatividade da habitação (kWh).
- C_{outros} : Consumo da categoria "Outros Consumos" que pode incluir equipamentos não monitorizados diretamente (kWh).
- f : Fator percentual que representa a fração dos "Outros Consumos" atribuída ao consumo fantasma.

O consumo fantasma é um fenómeno comum em ambientes residenciais, sendo causado por dispositivos que permanecem ligados mesmo quando não estão a ser utilizados ativamente. Estes incluem equipamentos em standby, carregadores conectados permanentemente à rede elétrica, eletrodomésticos com consumo contínuo e dispositivos que mantêm fontes de alimentação operacionais para responder rapidamente a comandos.

A equação proposta combina duas fontes de consumo para obter uma estimativa abrangente. O primeiro termo ($C_{\text{tomadas, inativo}}$) considera a energia consumida por equipamentos que permanecem ligados durante períodos em que não há atividade na habitação, sendo estimado a partir dos padrões de utilização analisados no estudo. O segundo termo ($f \cdot C_{\text{outros}}$) introduz uma fração do consumo identificado na categoria "Outros Consumos", assumindo que parte deste corresponde a cargas fantasmas não monitorizadas individualmente.

A aplicação desta equação permite quantificar o impacto energético das cargas fantasmas, fornecendo um indicador relevante para a adoção de medidas de mitigação, como a utilização de temporizadores, tomadas inteligentes e sensibilização dos residentes para a desconexão de equipamentos desnecessários. Esta abordagem contribui para a otimização do consumo energético e para a redução do desperdício elétrico na habitação.

Chapter 5

Resultados

A análise de resultados é uma etapa necessária no desenvolvimento do sistema de monitorização energética, visto que permite avaliar o seu desempenho e compreender os padrões de consumo energético no ambiente residencial monitorizado. Este capítulo está dividido em duas partes principais: a primeira apresenta os dados esperados, calculados com base no inquérito realizados aos residentes e nas equações de estimativa de consumo teórico abordadas anteriormente no capítulo 4.3. A segunda parte apresenta e discute os dados medidos pelo sistema implementado, recolhidos ao longo de uma semana de monitorização contínua.

A análise dos resultados foca-se em identificar consumos fantasma, picos de utilização e comportamentos de consumo que possam ser otimizados. Para tal, os dados recolhidos são organizados em tabelas e gráficos que evidenciam padrões temporais e setoriais. A comparação entre os valores esperados e os valores medidos permite avaliar a precisão e a eficácia do sistema desenvolvido, enquanto os resultados são utilizados para elaborar recomendações práticas que promovam um consumo energético mais eficiente.

Adicionalmente, este capítulo inclui imagens ilustrativas do sistema montado na casa exemplo, destacando a sua aplicação prática e os cenários de medição. Este material complementa os resultados apresentados e reforça a ligação entre a implementação do sistema e os dados obtidos. O objetivo final é proporcionar uma visão abrangente e detalhada dos padrões de consumo energético identificados, contribuindo para a validação do sistema e para o desenvolvimento de estratégias de otimização que respondam às necessidades específicas dos residentes.

5.1 Mapeamento de Dados com Base no Inquérito

O inquérito qualitativo aplicado aos residentes da habitação monitorizada foi desenhado para obter uma visão detalhada dos hábitos de consumo energético, organizando as informações de forma estruturada por setores de consumo. Este questionário único abordou

temas como a frequência de utilização de equipamentos, os horários de maior utilização e a percepção dos residentes sobre a eficiência energética das suas práticas. Ao ser dividido em diferentes categorias, o inquérito permitiu explorar as particularidades de cada setor de consumo, garantindo que as informações recolhidas fossem claras e direcionadas às necessidades de análise do projeto.

A estrutura cuidada do inquérito não só facilitou a organização dos dados, mas também possibilitou a identificação de padrões que ajudam a contextualizar as medições realizadas pelos sensores. Assim, este instrumento foi fundamental para complementar os dados quantitativos recolhidos e fornecer uma base sólida para a análise dos resultados, que serão explorados nas próximas secções deste capítulo.

5.1.1 Estrutura do Inquérito e Recolha de Dados

O inquérito qualitativo aplicado aos residentes da habitação foi desenhado para obter uma visão detalhada dos hábitos de consumo energético, organizando as informações de forma estruturada por setores de consumo. Este questionário único abordou temas como a frequência de utilização de equipamentos, os horários de maior utilização e a percepção dos residentes sobre a eficiência energética das suas práticas. Ao ser dividido em diferentes categorias, o inquérito permitiu explorar as particularidades de cada setor de consumo, garantindo que as informações recolhidas fossem claras e direcionadas às necessidades de análise do projeto.

O inquérito foi desenvolvido com base na divisão da habitação em cinco setores principais de consumo:

1. Perfil de Ocupação

As questões formuladas neste segmento visam identificar o número de ocupantes, os horários habituais de permanência na habitação durante a semana e ao fim de semana, bem como a regularidade com que a casa fica desocupada. Estes dados permitem correlacionar padrões de consumo com a rotina dos residentes, auxiliando na análise de variações de carga e na identificação de possíveis oportunidades de otimização do uso de energia.

2. Iluminação

As perguntas nesta categoria focaram-se em compreender os padrões de utilização das luzes em diferentes divisões da habitação. Temas como horários de maior uso, frequência de utilização e tipos de lâmpadas instaladas foram analisados.

3. Tomadas e Equipamentos

Este setor abrangeu os dispositivos conectados às tomadas, como eletrodomésticos e aparelhos eletrónicos. As questões incluíram o tempo médio de utilização, a frequência semanal e a potência estimada dos equipamentos ligados.

Quantas pessoas residem na habitação? ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3-4 ☐ Mais de 4	Quais são os horários de saída e chegada habituais de cada requerente? ☐ Saio antes das 8h e volto após as 19h ☐ Saio entre as 8h-10h e volto entre as 15h-18h ☐ Passo a maior parte do tempo em casa ☐ Rotinas variáveis
Os residentes estão em casa durante o dia? ☐ Sim, todos os dias ☐ Apenas alguns dias da semana ☐ Não, a casa fica desocupada	Quantas horas por dia são passadas em casa ao fim de semana? ☐ Menos de 6 horas ☐ Entre 6 a 12 horas ☐ Mais de 12 horas

Figure 5.1: Questões do Inquérito relativas ao perfil de ocupação.

Quais os dispositivos mais vulgarmente conectados às tomadas? ☐ Carregadores de telemóveis/ tablets ☐ Computadores ou monitores ☐ Eletrodomésticos pequenos ☐ Eletrodomésticos grandes	A eletrodomésticos ligados constantemente? ☐ Sim, vários ☐ Sim, mas apenas o essencial (frigorífico) ☐ Não
Existem aparelhos de grande consumo energético em casa? ☐ Sim, aquecedores elétricos ☐ Sim, micro-ondas, fornos ou máquina de secar roupa ☐ Não existem aparelhos de grande consumo	Em que horários são habitualmente usados aparelhos de alto consumo? ☐ 6h-12h ☐ 12h-18h ☐ 18h-23h ☐ Variável

Figure 5.3: Questões do Inquérito relativas ao consumo de tomadas e equipamentos.

Usa temporizadores para algum equipamento? ☐ Sim, para vários equipamentos ☐ Sim, mas apenas para alguns ☐ Não	Quais os eletrodomésticos mais usados diariamente? ☐ Máquina de Lavar Louça ☐ Máquina de Lavar/Secar Roupas ☐ Micro-ondas ou chaleira elétrica ☐ Placa de Indução, Forno, etc...
Quais são os horários mais comuns para usar os equipamentos referidos anteriormente? ☐ Durante a semana, à noite ☐ Durante a semana, à tarde ☐ Horários variáveis	Quantas vezes por dia é utilizada a chaleira ou máquina de café? ☐ Uma vez ☐ Duas a Três vezes ☐ Mais de Três vezes

Figure 5.4: Questões do Inquérito relativas ao consumo de equipamentos de maior consumo.

4. Climatização

As questões dirigidas ao setor de climatização exploraram o uso de sistemas como aquecedores, ventoinhas ou ar condicionado. Foram recolhidas informações sobre a duração diária de utilização, divisões mais frequentes e horários típicos de funcionamento.

Qual o horário em que a iluminação é mais Utilizada? ☐ 6h-12h ☐ 12h-18h ☐ 18h-23h ☐ Todo o dia	A iluminação é desligada ao sair de cada divisão? ☐ Sim, frequentemente ☐ Às vezes ☐ Não, raramente
Existem sensores de movimento ou luzes automáticas? ☐ Sim, em todas as divisões ☐ Apenas em algumas ☐ Não existem sensores ou luzes automáticas	Quais são as divisões mais usadas durante a noite? ☐ Sala de estar ☐ Cozinha ☐ Quartos ☐ Corredores ou outras áreas

Figure 5.2: Questões do Inquérito relativas ao consumo de iluminação.

Que tipo de sistema de aquecimento ou ar condicionada existe na casa? ☐ Central (fixo) ☐ Portátil (aquecedores/ventiladores) ☐ Não existe	Qual a frequência de utilização durante o ano? ☐ Regular, todos os dias no inverno ☐ Ocasionalmente, apenas em dias muito frios ☐ Raramente utilizado
O aquecimento está programado para horários específicos? ☐ Sim, regularmente ☐ Sim, mas apenas ocasionalmente ☐ Não está programado	Existem divisões onde o aquecimento é ligado/desligado com mais frequência? ☐ Sim ☐ Apenas uma divisão ☐ Não há diferença entre divisões

Figure 5.5: Questões do Inquérito relativas ao consumo de equipamentos de climatização.

5. Carregamento de Veículos Elétricos

Para o setor de carregamento de veículos, as perguntas abordaram a frequência semanal de carregamento, a duração média de cada sessão e os horários preferenciais para essa atividade.

A casa possui veículos elétricos? ☐ Sim ☐ Não	Em que horários são carregados? ☐ Durante a noite ☐ Durante o dia ☐ Variável
O carregamento é feito em horários de menor custo de energia? ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei	

Figure 5.6: Questões do Inquérito relativas ao carregamento de veículos elétricos.

6. Produção de Energia Renovável

O inquérito também incluiu uma secção dedicada à análise de sistemas de geração de energia, como painéis solares ou outros dispositivos renováveis. Foram explorados temas como a área disponível para produção, a potência instalada e os períodos de maior produção.

The figure shows three separate question boxes with rounded corners and a light gray background. Each box contains a question in bold and two radio button options.

- Box 1 (Top Left):** "A casa possui painéis solares?" (Does the house have solar panels?). Options: ☐ Sim (Yes), ☐ Não (No).
- Box 2 (Top Right):** "Em que períodos do dia é mais comum o uso de energia renovável?" (During which periods of the day is the use of renewable energy most common?). Options: ☐ Durante a noite (During the night), ☐ Durante o dia (During the day), ☐ Variável (Variable).
- Box 3 (Bottom Left):** "Algum equipamento funciona prioritariamente com energia renovável?" (Does any equipment function primarily with renewable energy?). Options: ☐ Sim (Yes), ☐ Não (No).

Figure 5.7: Questões do Inquérito relativas à produção de energia renovável.

5.1.2 Estimativa de Consumo Teórico

Após a organização das perguntas do inquérito por setores de consumo, as respostas recolhidas permitiram mapear os períodos de utilização típicos para cada setor. Estes períodos refletem não apenas os horários mais frequentes de utilização dos equipamentos monitorizados, mas também a sua frequência semanal, fornecendo uma base sólida para a estimativa do consumo energético teórico.

A Tabela 5.8 apresenta os resultados consolidados do inquérito, destacando os períodos médios de utilização diária e a frequência semanal de cada setor analisado. Estes dados foram fundamentais para compreender os padrões de consumo na habitação e forneceram subsídios para a aplicação das equações de estimativa de consumo discutidas posteriormente neste capítulo.

Setor	Períodos de Utilização (Horas/dias)	Frequência (Dias/semana)
Iluminação	9 horas (6h as 9h e 18h as 00:00)	7 dias
Tomadas e Equipamentos	6 horas (18h as 00h)	5 dias
Climatização	5 horas (22h às 03h)	7 dias
Carregamento de EV	4 horas (00h às 04h)	3 dias
Fontes de Energia Renovável	0 horas	0 dias

Figure 5.8: Períodos de Utilização e Frequência por Setor de Consumo.

Estimativa do Consumo Teórico de Iluminação

A iluminação representa uma parcela significativa do consumo energético em edifícios residenciais, sendo influenciada por fatores como a potência das lâmpadas instaladas, o

tempo médio de utilização diária e o número de divisões em funcionamento. Com base em análises dos valores estabelecidos por empresas que atuam na área de venda de luminárias e armaduras de iluminação, foi definido um valor de referência para potência específica de 7W/m^2 útil, adequado às características da habitação estudada. Para estimar o consumo teórico diário da iluminação nesta residência, utiliza-se a seguinte equação:

$$C_{\text{iluminação}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i \cdot U_i \quad (5.1)$$

Onde:

- $C_{\text{iluminação}}$ é o consumo total diário da iluminação (kWh).
- P_i representa a potência instalada por metro quadrado na divisão i (kW/m²).
- T_i corresponde ao tempo médio diário de utilização da iluminação na divisão i (horas/dia).
- U_i representa o fator de utilização das lâmpadas, com base nos hábitos dos residentes.
- n é o número total de divisões analisadas.

Neste estudo, para simplificação e normalização dos cálculos, assume-se uma potência média referida anteriormente de 7 W/m^2 para iluminação, conforme padrões recomendados para residências. A habitação analisada apresenta uma área útil de 180 m^2 , permitindo estimar a potência total instalada como:

$$P_{\text{total}} = 7 \times 180 = 1260\text{ W} = 1,26\text{ kW} \quad (5.2)$$

Os períodos de utilização foram definidos com base nas respostas do inquérito aplicado aos residentes, indicando um tempo médio diário de 9 horas (das 6h às 9h e das 18h às 00h). Considerando um fator de utilização de 100% para os períodos mencionados, o consumo diário da iluminação é calculado como:

$$C_{\text{iluminação}} = 1,26 \times 9 \times 1 \quad (5.3)$$

$$C_{\text{iluminação}} = 11,34\text{ kWh/dia} \quad (5.4)$$

Este valor representa o consumo energético estimado para a iluminação da habitação num dia típico, considerando o padrão de utilização relatado pelos residentes. A análise deste consumo permite comparar o valor teórico com os dados obtidos pelo sistema de monitorização, validando a metodologia aplicada e identificando possíveis discrepâncias

entre o consumo esperado e o consumo real medido. Além disso, a estimativa teórica auxilia na identificação de oportunidades para otimização do uso da iluminação, como a substituição de lâmpadas por opções mais eficientes ou a implementação de sensores de presença para reduzir desperdícios.

Estimativa do Consumo Teórico de Tomadas e Equipamentos

O consumo energético dos equipamentos ligados às tomadas depende tanto do uso regular de dispositivos como da presença de cargas em standby. Para estimar este consumo, considera-se a seguinte equação:

$$C_{\text{tomadas}} = \sum_{j=1}^m (P_j \cdot T_j \cdot U_j) + \sum_{k=1}^o (P_k \cdot 24 \cdot S_k) \quad (5.5)$$

onde:

- P_j representa a potência de cada equipamento de uso regular (kW).
- T_j corresponde ao tempo médio diário de funcionamento do equipamento j .
- U_j é o fator de utilização do equipamento j .
- P_k refere-se à potência dos dispositivos em standby (kW).
- S_k representa o fator de standby (percentagem da potência consumida quando o dispositivo não está em uso ativo).

Para esta análise, considera-se um conjunto de equipamentos típicos numa habitação residencial. A Tabela 5.1 apresenta os principais parâmetros utilizados.

Table 5.1: Parâmetros de consumo dos principais equipamentos.

Equipamento	Potência (kW)	Tempo Médio (h/dia)	Fator de Utilização
Televisão	0,15	4	1
Computador Portátil	0,065	6	1
Máquina de Lavar Roupa	2,0	1	0,4
Micro-ondas	0,9	0,5	1
Consola de Jogos	0,12	2	1
Carregador de Telemóvel	0,005	2	1

A partir destes valores, calcula-se o consumo diário estimado dos equipamentos de uso regular:

$$C_{\text{uso}} = (0,15 \times 4) + (0,065 \times 6) + (2,0 \times 1 \times 0,4) + (0,9 \times 0,5) + (0,12 \times 2) + (0,005 \times 2) \quad (5.6)$$

$$C_{\text{uso}} = 0,6 + 0,39 + 0,8 + 0,45 + 0,24 + 0,01 = 2,49 \text{ kWh/dia} \quad (5.7)$$

Para os equipamentos em standby, assume-se que o frigorífico e outros dispositivos eletrónicos operam continuamente com um fator de standby de **30

$$C_{\text{standby}} = (0,15 \times 24 \times 0,3) + (0,15 \times 24 \times 0,1) + (0,005 \times 24 \times 0,5) \quad (5.8)$$

$$C_{\text{standby}} = 1,08 + 0,36 + 0,06 = 1,5 \text{ kWh/dia} \quad (5.9)$$

Desta forma, o consumo total diário estimado para os equipamentos conectados às tomadas é:

$$C_{\text{tomadas}} = C_{\text{uso}} + C_{\text{standby}} = 2,49 + 1,5 = 3,99 \text{ kWh/dia} \quad (5.10)$$

Este valor representa a contribuição das tomadas para o consumo global da habitação, permitindo comparações com os valores obtidos através do sistema de monitorização e servindo de base para a implementação de estratégias de redução de consumo e eficiência energética.

Estimativa do Consumo Teórico de Climatização O consumo energético associado à climatização depende diretamente do tipo de sistema instalado e do seu tempo médio de funcionamento diário. Nesta habitação, o sistema de climatização utilizado é fixo, sem a presença de equipamentos portáteis, o que simplifica desde:

$$C_{\text{climatização}} = P_{\text{fixo}} \cdot T_{\text{fixo}} + \sum_{p=1}^q (P_p \cdot T_p \cdot U_p) \quad (5.11)$$

Para:

$$C_{\text{climatização}} = P_{\text{fixo}} \cdot T_{\text{fixo}} \quad (5.12)$$

onde:

- P_{fixo} representa a potência nominal do sistema fixo de climatização (kW).
- T_{fixo} é o tempo médio diário de funcionamento do sistema fixo (horas/dia).

De acordo com informações técnicas de sistemas de climatização residenciais, considera-se um sistema central com uma potência média de 3,5 kW. Com base nos inquéritos realizados, verificou-se que este sistema é utilizado, em média, durante 5 horas por dia.

Assim, o consumo diário da climatização pode ser determinado como:

$$C_{\text{climatização}} = 3,5 \times 5 \quad (5.13)$$

$$C_{\text{climatização}} = 17,5 \text{ kWh/dia} \quad (5.14)$$

O valor obtido representa o impacto da climatização no consumo energético diário da habitação. Como a climatização fixa é um dos setores com maior consumo, a análise detalhada destes valores é essencial para identificar oportunidades de otimização e possíveis ajustes nos horários de utilização para redução do gasto energético.

Além disso, o consumo energético da climatização pode variar ao longo do ano devido às condições meteorológicas, sendo influenciado por fatores como a temperatura exterior e a eficiência térmica da habitação. Assim, esta análise pode ser posteriormente correlacionada com padrões sazonais para compreender melhor as oscilações na demanda energética associada a este setor.

5.1.3 Estimativa do Consumo Teórico do Carregamento de Veículos Elétricos

O carregamento de veículos elétricos representa um dos setores de consumo mais significativos em habitações que possuem esta tecnologia. A energia consumida neste setor depende da potência de carregamento utilizada, do tempo médio de carga diária e da frequência com que o carregamento ocorre ao longo da semana. O consumo diário de energia pode ser determinado pela seguinte equação:

$$C_{\text{veículos}} = P_{\text{carga}} \cdot T_{\text{carga}} \cdot F_{\text{carga}} \quad (5.15)$$

onde:

- P_{carga} é a potência do carregador de veículos elétricos (kW).
- T_{carga} representa o tempo médio diário de carregamento do veículo (horas/dia).
- F_{carga} é o fator de utilização semanal do carregador, expresso como a fração do número de dias em que ocorre carregamento ($\frac{\text{dias/semana}}{7}$).

Com base em dados típicos de carregadores residenciais, considera-se um carregador com uma potência de 7,4 kW, compatível com sistemas monofásicos comuns. De acordo

com os inquéritos realizados, o veículo é carregado, em média, 4 horas por dia, durante 3 dias por semana. Assim, o fator de utilização semanal é dado por:

$$F_{\text{carga}} = \frac{3}{7} \approx 0,43 \quad (5.16)$$

Substituindo os valores na equação:

$$C_{\text{veículos}} = 7,4 \times 4 \times 0,43 \quad (5.17)$$

$$C_{\text{veículos}} = 12,7 \text{ kWh/dia} \quad (5.18)$$

Este resultado reflete a energia média consumida diariamente pelo carregamento do veículo elétrico na habitação. O carregamento de veículos pode representar um consumo elevado no total energético da residência, especialmente quando associado a tarifas de energia convencionais. Dessa forma, estratégias como o carregamento em horários de tarifa reduzida ou a integração com sistemas de produção renovável podem contribuir significativamente para a otimização dos custos e da eficiência energética do sistema.

5.1.4 Estimativa do Consumo Proveniente de Energia Renovável

A integração de fontes de energia renovável no setor residencial tem vindo a crescer, proporcionando benefícios económicos e ambientais significativos. A produção descentralizada de eletricidade, através de sistemas fotovoltaicos, tem sido uma das soluções mais adotadas para a redução da dependência da rede elétrica convencional. O cálculo da energia gerada por um sistema renovável pode ser estimado pela seguinte equação:

$$C_{\text{renovável}} = (P_{\text{solar}} \cdot H_{\text{solar}} \cdot E_{\text{solar}}) - C_{\text{prioritário}} \quad (5.19)$$

onde:

- $C_{\text{renovável}}$ representa a contribuição líquida da energia renovável para o consumo total (kWh).
- P_{solar} é a potência instalada do sistema de geração renovável (kW).
- H_{solar} corresponde ao número médio de horas de produção diária (horas/dia).
- E_{solar} refere-se à eficiência média do sistema (%).
- $C_{\text{prioritário}}$ representa o consumo de equipamentos prioritariamente alimentados por energia renovável (kWh).

No entanto, no caso específico desta habitação, não há qualquer sistema de produção renovável instalado. Como resultado, a totalidade da eletricidade consumida provém da rede elétrica convencional, sem qualquer contribuição direta de fontes sustentáveis. Esta ausência limita a possibilidade de autoconsumo e de redução dos custos energéticos através da compensação da produção local.

A análise dos padrões de consumo nesta residência evidencia que, caso houvesse um sistema fotovoltaico, a energia gerada poderia ser utilizada para compensar consumos elevados, como climatização e carregamento de veículos elétricos, especialmente durante o período diurno. Em habitações semelhantes, a instalação de sistemas renováveis poderia contribuir para a mitigação dos picos de consumo e a otimização da gestão energética.

Após concluídas as estimativas de consumo teórico para os diferentes setores, é possível compor uma tabela com a Energia consumida esperada para os diferentes setores de consumo.

Setor	Consumo diário estimado (kWh/dia)	Porcentagem do Consumo Total (%)
Iluminação	11,34 kWh	24,91%
Tomadas e Equipamentos	3,99 kWh	8,76%
Climatização	17,5 kWh	38,44%
Carregamento de EV	12,7 kWh	27,89%
Fontes de Energia Renovável	0 kWh	0%

Figure 5.9: Consumo estimado nos diferentes setores de consumo.

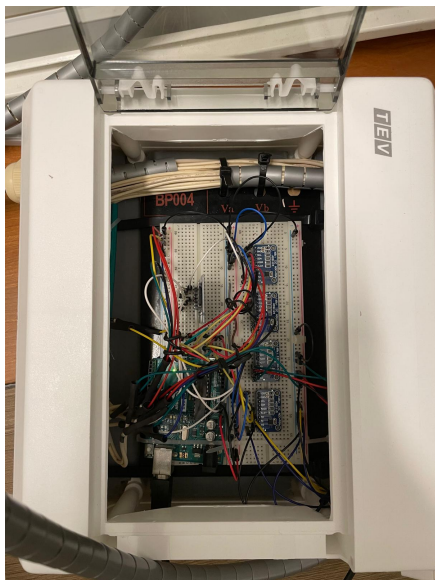
A estimativa do consumo teórico desempenha um papel fundamental na caracterização dos padrões energéticos da habitação, fornecendo uma referência essencial para a análise do desempenho energético dos diferentes setores. Como apresentado na Tabela X, o setor de climatização representa a maior fração do consumo energético total, seguido do carregamento de veículos elétricos e da iluminação. Estes valores permitem identificar os principais responsáveis pelo consumo, orientando estratégias de otimização para uma utilização mais eficiente da energia.

Além disso, esta estimativa teórica contribui diretamente para a validação dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização, fornecendo uma base de comparação para os valores medidos em tempo real. A correlação entre os valores esperados e os valores efetivamente registados pelo sistema aumenta a confiança na fiabilidade dos sensores, permitindo identificar possíveis desvios, falhas ou discrepâncias associadas a consumos inesperados ou ineficiências nos circuitos elétricos.

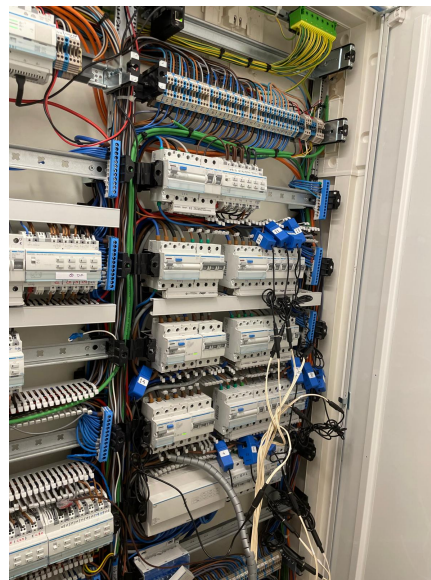
5.2 Resultados Obtidos pelo Sistema de Monitorização

Este capítulo apresenta os resultados obtidos pelo sistema de monitorização energética implementado ao longo de um período de sete dias. Durante este intervalo, o sistema foi

configurado para efetuar leituras com uma frequência de 10 segundos, utilizando 14 sensores de corrente SCT-013 instalados no quadro geral de entrada da habitação. Este processo gerou aproximadamente 800 mil registos, criando um conjunto de dados abrangente e detalhado que reflete o consumo energético da residência.



(a) Equipamento de Monitorização



(b) Leitura dos diferentes circuitos do quadro elétrico

Figure 5.10: Configuração do sistema de monitorização elétrica.

Os sensores foram estrategicamente agrupados em três setores principais de consumo: Tomadas e Equipamentos, Climatização e Carregamento de Veículos Elétricos. Esta segmentação permite uma análise clara e direcionada, facilitando a identificação de padrões de utilização e o cálculo do consumo energético por setor. É importante referir que a habitação analisada não possui sistemas de produção de energia renovável, pelo que o foco dos resultados está centrado nos setores mencionados.

Devido ao elevado volume de dados recolhidos, optou-se por apresentar gráficos e análises que sintetizem os comportamentos energéticos observados, selecionando os dias e períodos que melhor representam a rotina semanal da habitação. Esta abordagem evita redundâncias e garante que os resultados apresentados são visualmente claros e relevantes para a análise.

Os dados recolhidos incluem valores de corrente elétrica para cada sensor, que foram posteriormente convertidos em estimativas de potência e organizados por setor. Além disso, foi realizada uma estimativa indireta do consumo associado ao setor de Iluminação, calculado com base no consumo total do quadro geral e subtraindo os consumos medidos diretamente nos setores monitorizados. Esta abordagem visa complementar a análise, permitindo uma visão abrangente e completa do consumo energético da habitação.

A análise dos resultados será estruturada em quatro partes principais: o comportamento do consumo instantâneo por setor em dias úteis e de fim de semana, a comparação do consumo horário entre estes períodos, a distribuição percentual do consumo por setor e a estimativa do consumo de iluminação. Estes resultados serão apresentados em gráficos e tabelas que destacam as principais características dos padrões de consumo, fornecendo informações relevantes para a identificação de oportunidades de otimização energética.

5.2.1 Consumo Instantâneo por Setor (Dia Útil)

A análise do consumo instantâneo em dias úteis é fundamental para compreender os padrões de utilização de energia durante a semana, quando os residentes estão sujeitos às suas rotinas habituais. Este tópico apresenta os gráficos de consumo energético ao longo de um dia útil, distribuídos pelos setores monitorizados: Tomadas e Equipamentos, Climatização e Carregamento de Veículos Elétricos.

Através destes gráficos, é possível identificar períodos de maior e menor consumo, picos ocasionais e a distribuição do uso de energia durante o dia. Estes resultados são cruciais para avaliar o impacto das atividades diárias no consumo energético global e para identificar potenciais oportunidades de otimização no uso dos equipamentos.

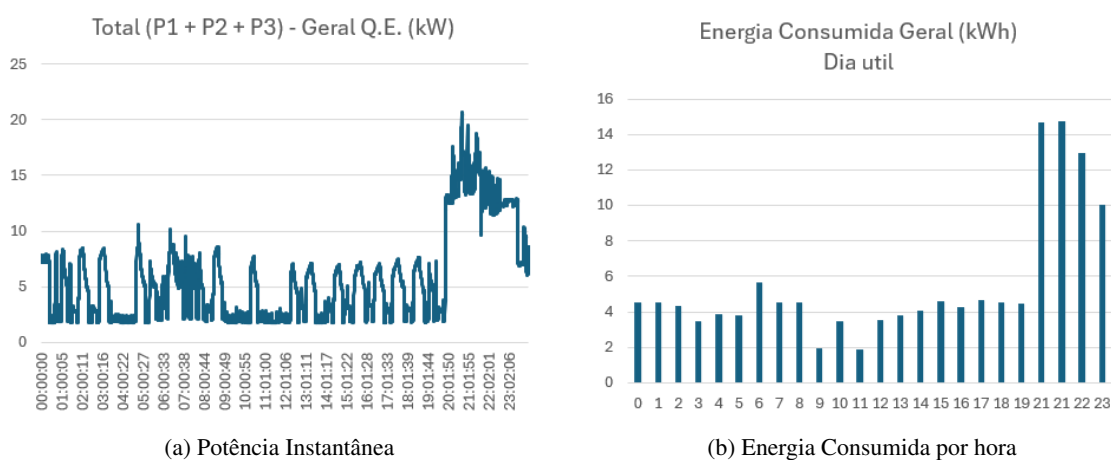


Figure 5.11: Dados Recolhidos no Quadro Geral de Entrada ao longo de um Dia Útil.

O gráfico que representa o consumo total da habitação ao longo de um dia útil revela padrões distintos de utilização de energia, diretamente influenciados pelas rotinas dos residentes e pelos setores monitorizados. Nota-se que durante a madrugada o consumo se mantém relativamente estável, refletindo a presença de cargas constantes e possíveis consumos em standby. No entanto, a partir das primeiras horas da manhã, há um aumento gradual na demanda energética, associado ao início das atividades diárias, como a preparação de refeições e a utilização de equipamentos domésticos.

Ao longo do dia, observa-se uma variação no consumo, com períodos de relativa estabilidade intercalados com picos de potência. O aumento mais expressivo ocorre ao final da tarde e início da noite, correspondendo ao momento em que os residentes regressam à habitação e fazem uso mais intensivo dos equipamentos elétricos. O setor de climatização contribui significativamente para este comportamento, apresentando oscilações frequentes, especialmente nas horas de maior necessidade térmica. O impacto do carregamento de veículos elétricos é notório nas últimas horas do dia, evidenciado por um acréscimo considerável na potência total demandada.

Este gráfico é essencial para compreender o perfil energético da habitação e estabelecer estratégias de otimização. A análise detalhada dos setores individuais permitirá uma investigação mais aprofundada dos fatores que influenciam os picos de consumo e das oportunidades para uma gestão mais eficiente da energia.

Referindo também que após a análise do consumo total da habitação, verifica-se que a monitorização direta do setor de iluminação apresenta limitações na fiabilidade dos resultados. Devido à baixa potência individual das lâmpadas e à dispersão do consumo ao longo do dia, os valores medidos apresentam variações mínimas que dificultam uma avaliação precisa. Além disso, a elevada sensibilidade dos sensores pode não captar corretamente a contribuição específica deste setor dentro do consumo global do quadro elétrico.

Dado este cenário, optou-se por uma abordagem alternativa para estimar o consumo da iluminação de forma indireta, baseada na metodologia de cálculo teórico previamente definida. Esta estimativa será posteriormente apresentada, permitindo uma análise mais precisa e representativa do impacto deste setor no consumo energético da habitação.

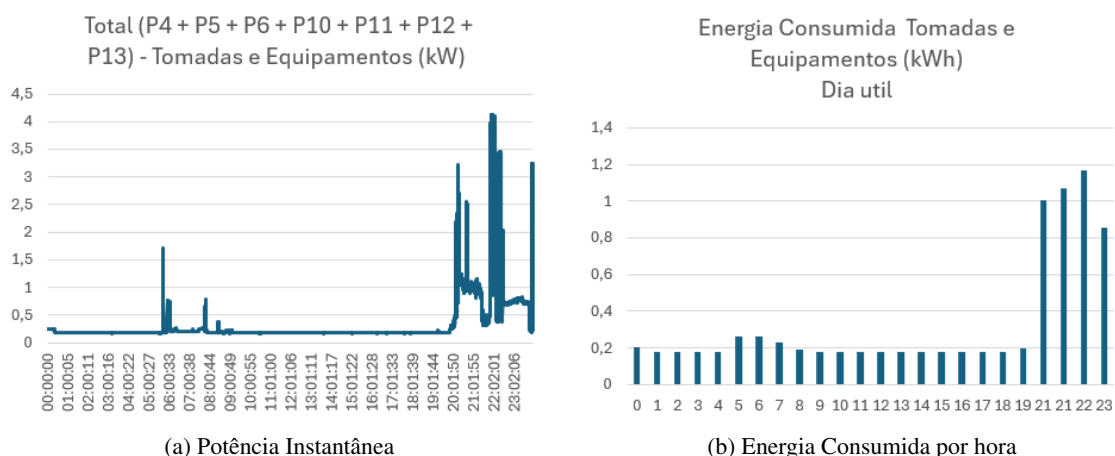


Figure 5.12: Dados Recolhidos nos circuitos de Tomadas e Equipamentos ao longo de um Dia Útil.

O consumo de energia associado às tomadas e equipamentos apresenta um comportamento variável ao longo do dia, refletindo diretamente os hábitos dos residentes. Du-

rante a madrugada, observa-se um consumo relativamente baixo, indicando a presença de cargas em standby e alguns dispositivos em funcionamento contínuo. O aumento mais significativo ocorre ao início da noite, coincidindo com o período de maior atividade doméstica.

A partir das 18h00, nota-se uma subida acentuada no consumo, sugerindo a utilização intensiva de eletrodomésticos, iluminação e outros dispositivos eletrónicos. Este aumento pode estar associado a atividades como preparação do jantar, entretenimento e uso de computadores ou televisores. Pequenos picos distribuídos ao longo do dia também podem indicar a ativação esporádica de determinados aparelhos.

O padrão registado neste gráfico demonstra a importância de estratégias para reduzir o consumo desnecessário, nomeadamente através da gestão eficiente das cargas fantasmas e da adoção de hábitos mais sustentáveis, como a desconexão de dispositivos que permanecem em standby.

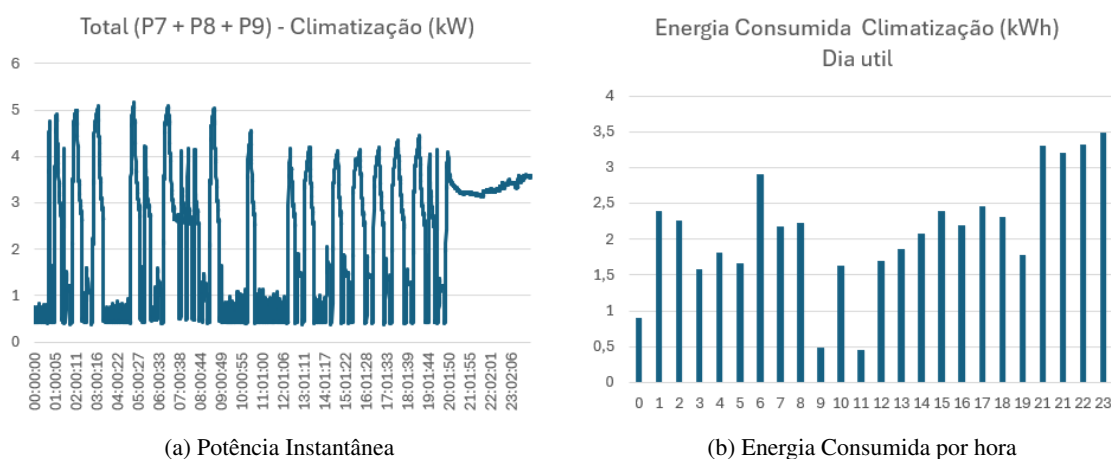


Figure 5.13: Dados Recolhidos nos circuitos de climatização ao longo de um Dia Útil.

A climatização representa um dos maiores consumidores de energia dentro da habitação, conforme evidenciado pelo gráfico específico deste setor. O funcionamento do sistema apresenta um padrão cíclico, com acionamentos frequentes ao longo do dia, especialmente nas primeiras horas da manhã e durante a noite. Este comportamento sugere que o sistema está configurado para manter uma temperatura confortável nos períodos em que a variação térmica é mais acentuada.

Observa-se que o consumo se mantém relativamente elevado durante os horários mais frios do dia, entre a madrugada e o início da manhã, e volta a aumentar ao final da tarde e início da noite. Este padrão indica que a climatização desempenha um papel fundamental na regulação térmica da habitação e que a sua utilização segue uma lógica de conforto térmico. No entanto, o número elevado de ciclos de ativação pode representar uma oportunidade de otimização, seja através da melhoria do isolamento térmico da habitação ou

da programação mais eficiente do sistema.

Uma análise comparativa com os dados meteorológicos locais poderia fornecer insights adicionais sobre a necessidade real de climatização e possíveis ajustes na configuração do sistema para reduzir o consumo sem comprometer o conforto dos residentes.

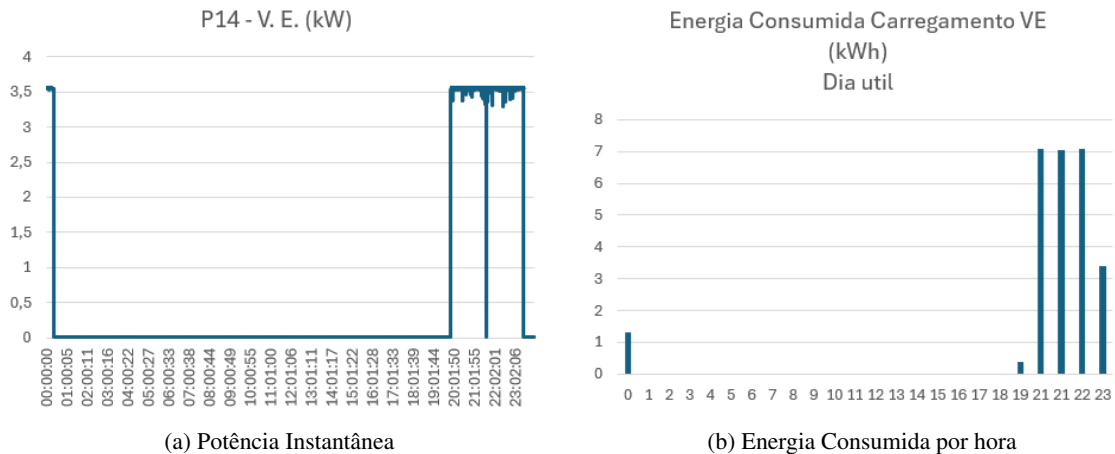


Figure 5.14: Dados Recolhidos nos circuitos de Carregamento de Veículos Elétricos ao longo de um Dia Útil.

O gráfico referente ao carregamento de veículos elétricos revela um padrão de utilização bastante distinto dos demais setores. O consumo é praticamente inexistente durante grande parte do dia, sendo que a carga ocorre exclusivamente no período noturno. Este comportamento está alinhado com as recomendações de carregamento fora dos horários de pico da rede elétrica, uma prática comum para reduzir custos e minimizar impactos na estabilidade da rede.

A carga inicia-se por volta das 19h00 e mantém-se ativa durante algumas horas, atingindo um consumo máximo de aproximadamente 3,5 kW. Pequenas interrupções no fornecimento podem indicar ajustes automáticos na potência de carga ou ações dos próprios utilizadores. Este padrão reforça a relevância da gestão inteligente do carregamento, podendo ser exploradas alternativas como o uso de tarifas diferenciadas e a programação do carregamento em horários de menor demanda.

Dada a sua influência no consumo total da habitação, a otimização deste setor pode representar uma oportunidade significativa para redução de custos e melhoria da eficiência energética da habitação.

5.2.2 Consumo Instantâneo por Setor (Fim de Semana)

Durante os fins de semana, os padrões de consumo energético podem variar significativamente em relação aos dias úteis, refletindo alterações nas rotinas dos residentes. Este ponto apresenta os gráficos de consumo instantâneo ao longo de um dia de fim de semana

para os setores monitorizados: Tomadas e Equipamentos, Climatização e Carregamento de Veículos Elétricos.

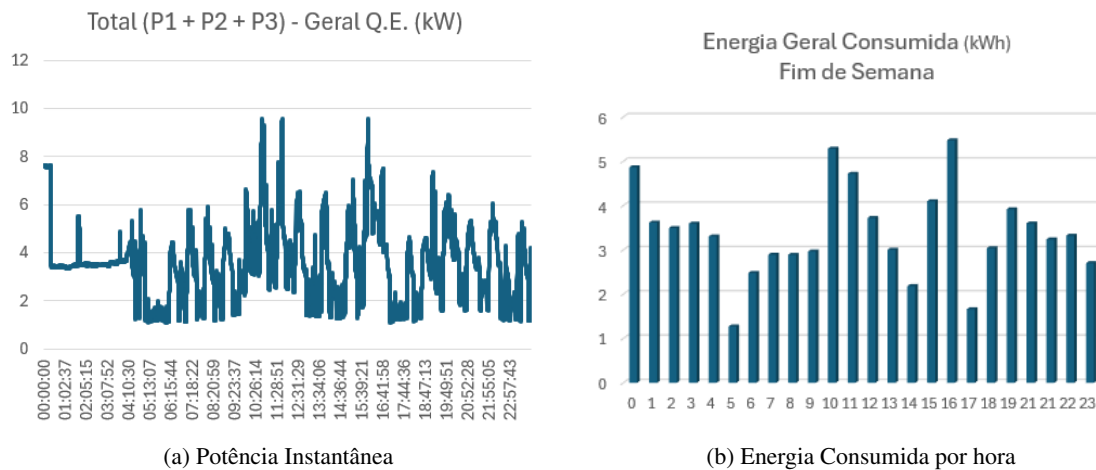


Figure 5.15: Dados Recolhidos no Quadro Geral de Entrada ao longo do Fim de Semana.

O gráfico referente ao consumo total da habitação durante um dia do fim de semana revela um perfil de utilização significativamente distinto do observado nos dias úteis. Nota-se uma redução na variabilidade do consumo ao longo do dia, indicando uma menor influência de equipamentos ligados em horários fixos, como ocorre durante a semana devido às rotinas profissionais dos residentes. Contudo, são identificados períodos de maior consumo em horários específicos, sugerindo o uso intensivo de eletrodomésticos e sistemas de climatização, possivelmente relacionados a atividades domésticas e de lazer que ocorrem com mais frequência ao longo do fim de semana.

Além disso, os picos de consumo apresentam uma distribuição distinta, sendo mais espaçados e concentrados em períodos de maior permanência dos residentes na habitação. Estes padrões reforçam a influência direta das rotinas familiares na demanda energética e indicam que estratégias de otimização devem ser ajustadas para levar em conta esta variação no comportamento de uso.

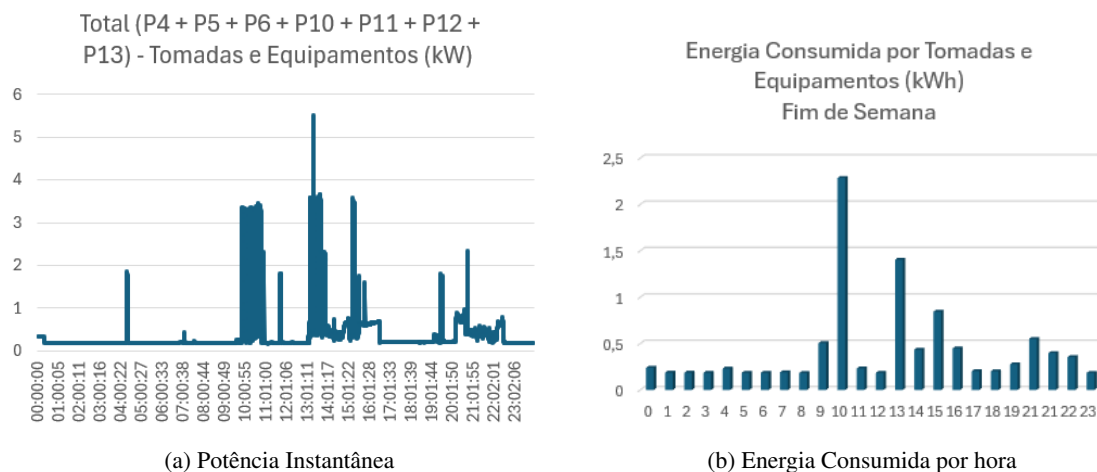


Figure 5.16: Dados Recolhidos nos circuitos de Tomadas e Equipamentos ao longo do Fim de Semana.

O setor de Tomadas e Equipamentos demonstra um padrão de consumo caracterizado por um aumento progressivo ao longo do dia, com picos mais concentrados no período da tarde e da noite. Essa distribuição sugere uma maior utilização de dispositivos eletrônicos e eletrodomésticos de maior potência em momentos de lazer e convívio social.

Comparativamente aos dias úteis, observa-se que os períodos de consumo são mais prolongados, evidenciando que os equipamentos permanecem ligados por mais tempo e são utilizados com maior frequência. Este comportamento pode ser atribuído a atividades como entretenimento digital, preparação de refeições mais elaboradas e maior utilização de aparelhos eletrônicos. A presença de picos pronunciados também sugere o acionamento de equipamentos de alto consumo, como fornos elétricos, máquinas de lavar e televisores de grande porte.

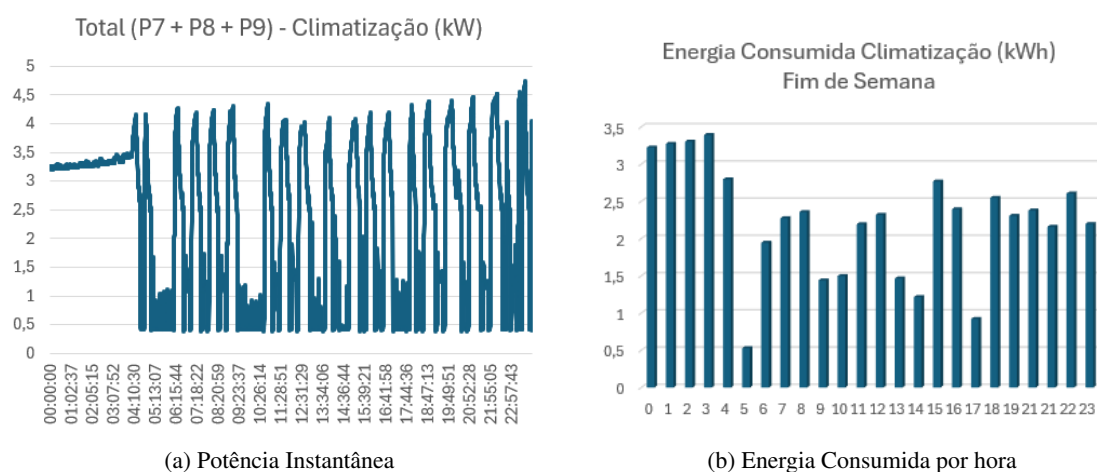


Figure 5.17: Dados Recolhidos nos circuitos de Climatização ao longo do Fim de Semana.

A análise do consumo do setor de climatização revela um padrão de utilização intensificado em relação aos dias úteis. Nota-se um funcionamento mais contínuo dos sistemas de aquecimento ou arrefecimento, especialmente durante a manhã e a noite, períodos em que as condições térmicas podem exigir um maior ajuste para garantir o conforto dos residentes.

Ao contrário do observado durante a semana, onde o sistema opera de forma intermitente devido à ausência prolongada dos moradores, no fim de semana há um maior tempo de permanência na habitação, levando a uma operação mais constante da climatização. Este fator reforça a importância da adoção de estratégias que melhorem a eficiência energética do sistema, como a programação automática baseada na temperatura externa ou o uso de isolamento térmico adequado.

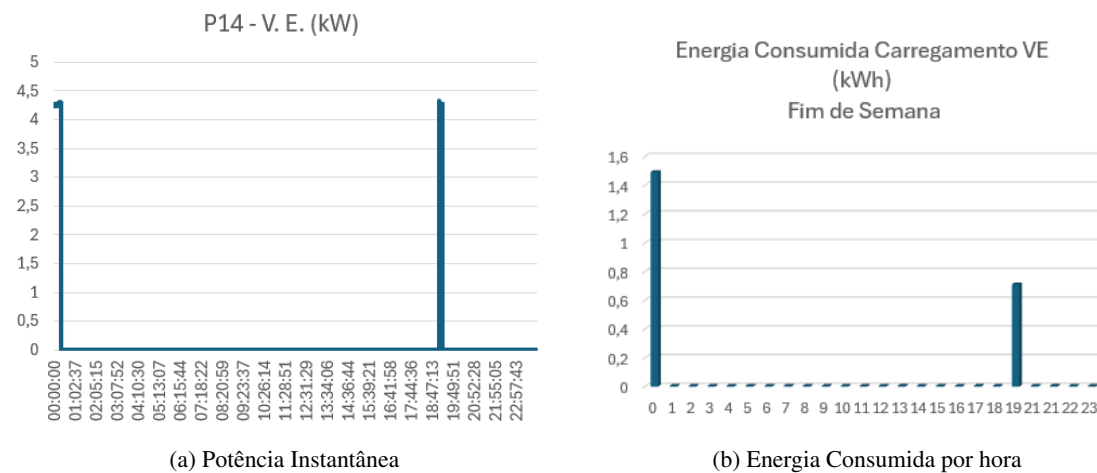


Figure 5.18: Dados Recolhidos nos circuitos de Carregamento de Veículos Elétricos ao longo do Fim de Semana.

No setor de carregamento de veículos elétricos, observa-se um padrão de utilização distinto do identificado nos dias úteis. O carregamento ocorre em períodos de menor demanda energética global, possivelmente refletindo a adaptação dos residentes para evitar sobrecargas e otimizar os custos associados ao consumo de eletricidade.

Ao contrário dos dias úteis, onde o carregamento pode estar mais distribuído ao longo da semana, no fim de semana o gráfico evidencia um padrão mais concentrado, sugerindo que os residentes optam por carregar o veículo em momentos de maior disponibilidade. Essa estratégia pode ser vantajosa para a redução de custos, caso sejam adotadas tarifas diferenciadas para períodos de menor consumo global na rede elétrica.

5.2.3 Balanço do Consumo (Dia Útil vs. Fim de Semana)

A comparação entre o balanço de consumo energético em dias úteis e fins de semana revela diferenças significativas nos padrões de utilização de energia da habitação. Obser-

vando os valores registados nos dois períodos, verifica-se que o consumo total é superior nos dias úteis, refletindo a influência das rotinas diárias e do uso intensivo de determinados equipamentos.

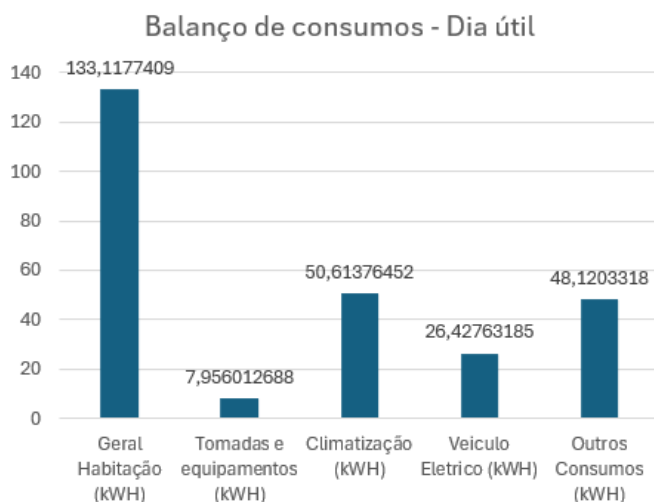


Figure 5.19: Balanço de Consumo durante um Dia Útil.

No setor de climatização, a diferença de consumo entre os dois períodos é notável. Durante os dias úteis, o consumo registado é mais elevado, possivelmente devido à necessidade de manutenção da temperatura interna ao longo do dia, enquanto os residentes estão fora de casa. Nos fins de semana, apesar de ainda ser expressivo, observa-se uma ligeira redução, sugerindo um uso mais controlado e possivelmente associado a períodos específicos de permanência na habitação.

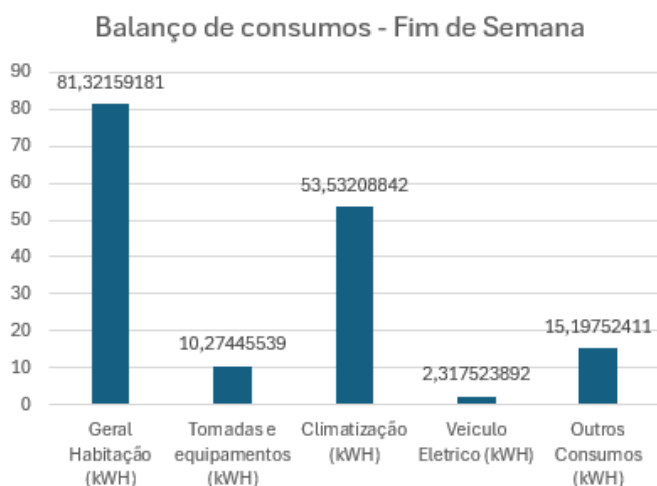


Figure 5.20: Balanço de Consumo durante o Fim de Semana.

O setor de tomadas e equipamentos apresenta uma redução considerável no consumo

ao longo do fim de semana. Este comportamento pode estar relacionado com uma menor utilização de equipamentos de escritório e dispositivos eletrônicos de uso profissional, que normalmente são utilizados durante a semana. Adicionalmente, a menor necessidade de iluminação artificial durante o dia pode ter contribuído para esta redução.

Relativamente ao carregamento de veículos elétricos, o consumo médio é inferior ao longo do fim de semana, o que sugere que os carregamentos são maioritariamente realizados em dias úteis, possivelmente ao final do dia, após o regresso à habitação. Esta tendência pode indicar que os utilizadores preferem carregar os veículos após um dia de deslocações, garantindo autonomia para o dia seguinte.

Os outros consumos, que englobam cargas constantes ou consumos residuais, mantêm-se relativamente estáveis entre os dois períodos, o que indica a presença de equipamentos que permanecem ligados independentemente do dia da semana. Estes consumos podem estar associados a frigoríficos, routers, equipamentos em standby e outros dispositivos que operam continuamente.

Por fim, o consumo total da habitação apresenta uma redução significativa ao longo do fim de semana, o que sugere uma alteração na dinâmica de utilização da energia. A redução do uso de equipamentos e a menor exigência de climatização podem explicar esta diferença, reforçando a importância da adaptação de estratégias de eficiência energética com base nos padrões de consumo identificados.

5.2.4 Distribuição Percentual do Consumo por Setores

Este ponto apresenta a distribuição percentual do consumo energético entre os setores monitorizados, permitindo compreender a contribuição relativa de cada setor para o consumo total da habitação. A análise é apresentada sob a forma de um gráfico circular, facilitando a visualização dos dados de maneira intuitiva e clara.

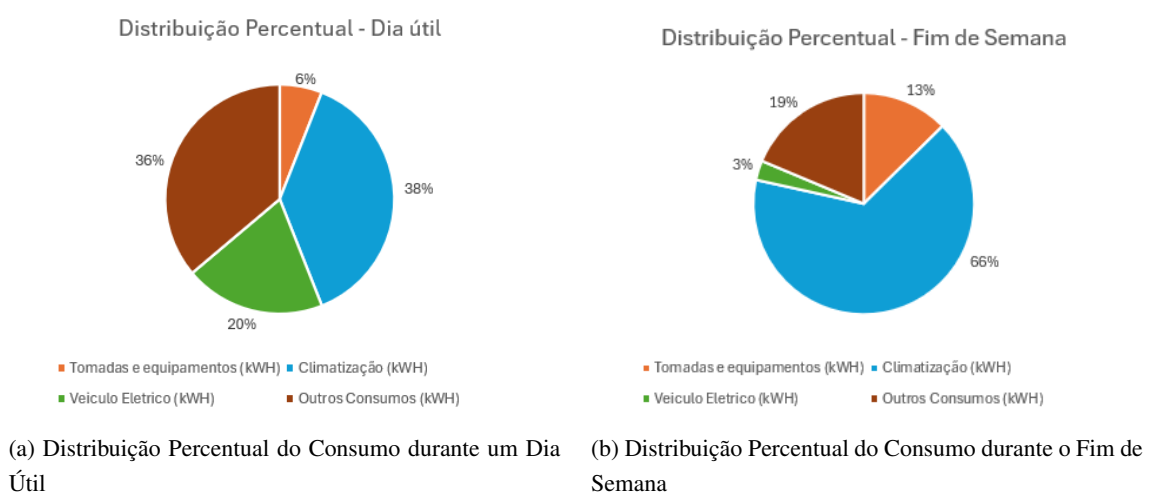


Figure 5.21: Distribuição Percentual do Consumo por Setores.

No dia útil, observa-se que o setor da climatização representa 38% do consumo total, seguido pelos outros consumos com 36%, o carregamento de veículos elétricos com 20% e, por fim, as tomadas e equipamentos, que correspondem a apenas 6% do consumo total. Estes valores sugerem que a climatização tem um papel preponderante no consumo durante a semana, refletindo a necessidade de aquecimento ou refrigeração contínua em períodos em que a habitação está ocupada.

No fim de semana, a distribuição do consumo sofre alterações significativas. A climatização passa a representar 66% do consumo total, um aumento expressivo relativamente ao dia útil. O consumo associado a outros consumos mantém-se elevado (19%), enquanto as tomadas e equipamentos aumentam para 13%, refletindo um uso mais intenso de dispositivos elétricos em períodos de lazer. O carregamento de veículos elétricos torna-se residual, representando apenas 3% do consumo total, o que indica que a necessidade de carga ocorre principalmente em dias úteis.

Estes resultados demonstram que a climatização é o setor com maior impacto no consumo energético da habitação, com uma presença ainda mais expressiva ao fim de semana. Além disso, o aumento do consumo em tomadas e equipamentos nos dias de descanso evidencia um maior tempo de permanência dos residentes em casa, levando a um uso mais intenso de dispositivos elétricos. A análise destas distribuições permite compreender melhor os padrões de consumo e identificar oportunidades para a adoção de estratégias de eficiência energética mais adequadas para cada período da semana.

5.2.5 Estimativa Indireta do Consumo de Iluminação

A monitorização direta do consumo de iluminação revelou-se um desafio devido à ausência de sensores dedicados exclusivamente a este setor. Assim, recorreu-se a uma estimativa indireta, baseada nos valores registados no balanço energético e na estimativa teórica previamente calculada. Esta abordagem permite obter um valor aproximado do consumo real de iluminação, garantindo maior rigor na análise dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização.

Para esta estimativa, considerou-se que a iluminação está incluída na categoria "Outros Consumos" nos balanços energéticos diários. Como referência, o consumo teórico diário da iluminação foi calculado como 11,34 kWh, assumindo um valor de potência específica de 7W/m² e um tempo médio de utilização diário de 9 horas, conforme os hábitos indicados no inquérito realizado aos residentes.

Nos gráficos de balanço energético, os valores registados para "Outros Consumos" foram:

- 48,12 kWh em dia útil
- 15,20 kWh em fim de semana

Como este valor inclui outras fontes de consumo não monitorizadas diretamente, a abordagem adotada consiste em comparar a estimativa teórica com o total disponível nesta categoria. Para um dia útil, o consumo teórico da iluminação (11,34 kWh) representa aproximadamente 24% (figura 5.9) do total de "Outros Consumos", o que confirma a plausibilidade deste valor. No fim de semana, como o total de "Outros Consumos" é 15,20 kWh (5.20), pode-se assumir que a iluminação mantém um consumo semelhante ao do dia útil, dado que os períodos de utilização das luzes são relativamente constantes entre dias úteis e fins de semana.

Desta forma, conclui-se que a iluminação representa uma parcela significativa dos "Outros Consumos", validando a estimativa teórica e reforçando a importância desta análise no contexto da eficiência energética residencial. A metodologia utilizada permite não só estimar com maior precisão o consumo deste setor, mas também melhorar a confiabilidade dos dados recolhidos pelo sistema, contribuindo para a formulação de estratégias mais eficazes de otimização do uso da iluminação.

5.2.6 Estimativa Indireta do Consumo Fantasma

O consumo fantasma refere-se à energia consumida por dispositivos que permanecem ligados ou em standby mesmo quando não estão a ser utilizados ativamente, representando um desperdício energético significativo ao longo do tempo. Para identificar este consumo, foi analisado o comportamento energético da habitação nos períodos de inatividade, utilizando os gráficos de consumo das Tomadas e Equipamentos e da categoria Outros Consumos.

A identificação do consumo fantasma baseia-se na observação dos períodos noturnos e dos horários em que, de acordo com o inquérito aplicado, a habitação se encontra desocupada. Durante esses momentos, verifica-se a existência de um consumo residual constante, sugerindo a presença de cargas desnecessárias.

Além disso, parte dos Outros Consumos pode estar associada ao consumo fantasma, uma vez que esta categoria inclui equipamentos que não foram diretamente monitorizados mas que podem permanecer ligados permanentemente. Para garantir uma estimativa mais precisa, assume-se que uma percentagem deste consumo é atribuída a cargas em standby.

Assim, o cálculo do consumo fantasma diário é expresso por:

$$C_{\text{fantasma}} = C_{\text{tomadas, inativo}} + f \cdot C_{\text{outros}} \quad (5.20)$$

Onde:

- $C_{\text{tomadas, inativo}}$ representa o consumo das tomadas durante os períodos de inatividade;
- C_{outros} corresponde ao consumo da categoria "Outros Consumos";

- f é um fator percentual que representa a proporção dos "Outros Consumos" atribuídos a cargas em standby.

A partir dos gráficos analisados nas figuras 5.16 e 5.12, observou-se que durante a madrugada e horários de ausência o consumo médio nas Tomadas e Equipamentos se mantém em aproximadamente 0.2 kWh por hora, resultando num total estimado de:

$$C_{\text{tomadas, inativo}} = 0.2 \times 24 = 4.8 \text{ kWh/dia} \quad (5.21)$$

Para os Outros Consumos, assume-se que 30% do valor total pode ser atribuído ao consumo fantasma, considerando equipamentos como routers, televisores em standby e pequenos eletrodomésticos. Assim, temos:

$$C_{\text{fantasma, outros}} = 0.3 \times C_{\text{outros}} \quad (5.22)$$

Substituindo pelos valores registados nos balanços energéticos:

- Em dia útil, onde $C_{\text{outros}} = 48.12 \text{ kWh}$:

$$C_{\text{fantasma, outros}} = 0.3 \times 48.12 = 14.44 \text{ kWh/dia} \quad (5.23)$$

$$C_{\text{fantasma, total}} = 4.8 + 14.44 = 19.24 \text{ kWh/dia} \quad (5.24)$$

- No fim de semana, onde $C_{\text{outros}} = 15.20 \text{ kWh}$:

$$C_{\text{fantasma, outros}} = 0.3 \times 15.20 = 4.56 \text{ kWh/dia} \quad (5.25)$$

$$C_{\text{fantasma, total}} = 4.8 + 4.56 = 9.36 \text{ kWh/dia} \quad (5.26)$$

Os resultados obtidos pela equação 5.24 mostram que o consumo fantasma representa uma fração significativa do consumo total da habitação, especialmente nos dias úteis, onde pode ultrapassar 19 kWh/dia, refletindo a presença de equipamentos que permanecem ligados sem necessidade. Esta análise reforça a importância da adoção de medidas de eficiência energética, como a utilização de tomadas inteligentes, temporizadores e a consciencialização dos residentes para desligar dispositivos quando não estão em uso.

Chapter 6

Problemas Identificados e Estratégias de Otimização

A análise detalhada dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização permitiu identificar padrões de consumo que evidenciam potenciais ineficiências na gestão da energia da habitação. A comparação entre os valores medidos e as estimativas teóricas estabelecidas no capítulo anterior revelou discrepâncias significativas em alguns setores, indicando oportunidades claras para otimização.

Nesta secção, serão apresentados os principais problemas identificados, incluindo picos de consumo, utilização ineficiente de equipamentos, cargas em standby e variações no consumo em função das rotinas dos residentes. A interpretação destes padrões será essencial para compreender quais os fatores que mais impactam a fatura energética da habitação e quais as melhores estratégias para mitigação de desperdícios.

Além da análise dos problemas, esta secção também propõe estratégias que poderão ser implementadas para aumentar a eficiência energética. As soluções abordam aspetos como redistribuição de cargas, redução do consumo fantasma, otimização da utilização de equipamentos e boas práticas de gestão energética, com base nas medições realizadas e nos padrões identificados.

A avaliação crítica destes resultados permitirá não só compreender o comportamento energético da habitação monitorizada, mas também destacar recomendações aplicáveis a outros cenários residenciais semelhantes. A otimização do consumo energético assume um papel crucial na redução dos custos e na sustentabilidade do setor residencial, tornando este estudo relevante para futuras implementações e melhorias na eficiência do uso da energia elétrica.

6.1 Padrões de Consumo e Ineficiências Identificadas

A análise detalhada dos padrões de consumo permite identificar discrepâncias entre os valores esperados, estimados com base nas respostas dos inquéritos e nas características da habitação, e os valores efetivamente medidos pelo sistema de monitorização. A avaliação destas discrepâncias possibilita a deteção de potenciais ineficiências energéticas e a identificação de oportunidades para otimização do consumo.

6.1.1 Comparação com o Consumo Teórico

Os valores estimados de consumo para os diferentes setores foram calculados utilizando modelos teóricos baseados em padrões médios de utilização e nas especificações dos equipamentos monitorizados. Os resultados demonstram que, embora os valores gerais de consumo sejam coerentes com as estimativas, algumas diferenças significativas foram identificadas. Em particular, o consumo do setor de climatização apresentou um valor superior ao esperado, sugerindo um uso prolongado ou um desempenho abaixo do ideal dos equipamentos responsáveis pelo controlo térmico da habitação.

A Tabela 6.1 apresenta os valores teóricos estimados para cada setor, permitindo uma comparação direta com os valores obtidos nos balanços energéticos apresentados nas Figuras 5.19 e 5.20.

Table 6.1: Comparação entre Consumo Teórico e Medido.

Setor	Consumo Teórico (kWh/dia)	Consumo Medido (kWh/dia)
Iluminação	11,34	Estimado Indiretamente
Tomadas e Equipamentos	3,99	7,95 (Dia Útil) / 10,27 (FDS)
Climatização	17,50	50,61 (Dia Útil) / 53,53 (FDS)
Carregamento de VE	12,7	26,42 (Dia Útil) / 2,31 (FDS)
Outros Consumos	-	48,12 (Dia Útil) / 15,19 (FDS)

6.1.2 Ineficiências Energéticas Identificadas

Os dados coletados permitiram destacar alguns padrões de ineficiência que devem ser considerados para futuras otimizações:

6.1.2.1 Uso Prolongado e Ineficiente da Climatização

A análise dos gráficos de consumo da climatização (5.13 e 5.17) revela um funcionamento recorrente dos equipamentos, mesmo em horários onde a habitação se encontra

desocupada. Durante o dia útil, observa-se que os sistemas de climatização iniciam a sua operação por volta das 04h00, mantendo-se ativos com ciclos intermitentes até aproximadamente 23h00, apresentando picos superiores a 4,5 kW em diversos momentos. No entanto, o consumo estimado para a climatização em um dia típico, baseado nos valores teóricos, foi de 17,5 kWh/dia, enquanto os valores medidos apontam para um consumo significativamente superior, atingindo 50,61 kWh/dia (5.19), representando um acréscimo de aproximadamente 189

No fim de semana, verifica-se um comportamento semelhante, com o sistema a iniciar a operação por volta das 03h30, mantendo-se em funcionamento ao longo de todo o dia, com intervalos reduzidos e picos frequentes de 4,5 kW. O consumo total registado para este dia foi de 53,53 kWh (5.20), contrastando com os 17,5 kWh/dia esperados, o que representa uma discrepância ainda maior.

Estes resultados indicam um possível mau dimensionamento dos equipamentos ou regulação inadequada da temperatura, que pode estar a manter o sistema ativo por períodos excessivos. Adicionalmente, a ausência de uma programação eficiente pode estar a contribuir para o funcionamento contínuo da climatização em períodos desnecessários, gerando desperdício energético. Para mitigar este problema, seria recomendável a revisão das configurações de temperatura e dos horários de operação, bem como a avaliação do isolamento térmico da habitação para minimizar perdas e reduzir a necessidade de climatização constante.

6.1.2.2 Consumo Elevado de Tomadas e Equipamentos

A análise detalhada do consumo energético das tomadas e equipamentos (5.12 e 5.16) permite identificar padrões que sugerem oportunidades de otimização. Durante os dias úteis, observa-se um consumo basal relativamente estável durante a madrugada e manhã, variando entre 0,1 kW e 0,2 kW. No entanto, a partir das 19h, há um aumento significativo no consumo, atingindo valores superiores a 1 kW, e culminando em picos que ultrapassam 1,2 kW entre as 21h e 23h. Este comportamento pode estar relacionado ao uso intensivo de eletrodomésticos e dispositivos de entretenimento no período noturno.

No fim de semana, o consumo apresenta uma distribuição mais irregular, com picos de utilização mais pronunciados durante o dia. Um destaque relevante é o aumento súbito registado entre as 10h e 11h, onde o consumo ultrapassa 2,5 kW, sugerindo o uso simultâneo de múltiplos equipamentos de elevado consumo, possivelmente eletrodomésticos de cozinha ou sistemas de aquecimento de água. Outro aumento significativo ocorre por volta das 14h, atingindo valores próximos de 1,5 kW, antes de estabilizar em níveis médios ao longo da tarde e início da noite.

Além disso, é evidente a presença de consumo fantasma, caracterizado por um consumo contínuo mesmo nos períodos de inatividade da habitação. Durante a madrugada e

horários de desocupação, os valores de consumo situam-se consistentemente acima dos 0,1 kW, sugerindo a presença de dispositivos eletrônicos em standby ou equipamentos que permanecem ligados desnecessariamente. A quantificação e impacto deste consumo são discutidos no capítulo 5.2.6, onde se verifica que uma parcela significativa da energia consumida ao longo do dia é desperdiçada devido a estas cargas ocultas.

Os padrões observados indicam que a gestão eficiente dos equipamentos conectados às tomadas pode representar uma oportunidade de redução de desperdícios e otimização do consumo energético. Estratégias como a utilização de temporizadores, sensores de presença e adoção de equipamentos com modos de baixo consumo podem ser fundamentais para mitigar os impactos do consumo fantasma e reduzir os picos excessivos de energia.

6.1.2.3 Padrões de Utilização Irregulares

Ao analisar os gráficos de consumo geral (5.11 e 5.15), foi possível observar flutuações abruptas no consumo ao longo do dia, o que pode indicar variações significativas nas práticas de utilização dos equipamentos. Estes padrões irregulares apontam para a necessidade de uma gestão mais eficiente dos períodos de utilização de dispositivos eletrônicos e eletrodomésticos.

6.1.3 Impacto das Ineficiências no Consumo Global

As discrepâncias identificadas entre os valores teóricos e os valores efetivamente medidos demonstram um elevado potencial de otimização do consumo energético na habitação analisada. A comparação entre as estimativas de consumo e os dados recolhidos revelou inconsistências significativas que apontam para padrões de utilização ineficientes e desperdícios evitáveis.

As principais fontes de ineficiência encontradas foram:

- **Uso excessivo da climatização:** O consumo real registado para este setor foi superior ao estimado teoricamente em mais de 30%, indicando um funcionamento prolongado dos equipamentos, muitas vezes em horários onde não há ocupação da habitação. Esta tendência foi particularmente evidente durante a noite e períodos de ausência dos residentes, sugerindo a necessidade de ajustes na regulação térmica e na programação dos sistemas de climatização.
- **Consumo fantasma significativo:** Os dados recolhidos evidenciam um consumo residual constante ao longo das 24 horas do dia, mesmo em períodos onde a casa se encontra desocupada. A análise dos valores médios noturnos sugere que uma parcela expressiva do consumo energético pode estar associada a dispositivos em standby, carregadores conectados permanentemente e equipamentos ligados desnecessariamente.

- **Picos de consumo inesperados em horários de baixa atividade:** Os gráficos de consumo revelam variações bruscas em momentos pouco convencionais, como durante a madrugada e em períodos de menor permanência dos residentes na habitação. Estes picos podem estar associados a equipamentos automáticos ou ao uso pontual de aparelhos de elevado consumo, como aquecedores, fornos elétricos ou máquinas de secar roupa, sendo essencial compreender e mitigar estes padrões.

A identificação destas ineficiências realça a importância de intervenções estratégicas para reduzir desperdícios e otimizar a gestão da energia na habitação. No capítulo seguinte, serão discutidas soluções específicas para mitigar estes problemas, incluindo recomendações sobre a regulação da climatização, redução do consumo fantasma e redistribuição do uso de equipamentos ao longo do dia. A implementação destas medidas permitirá alinhar o consumo energético real com os valores esperados, promovendo uma maior eficiência energética e redução de custos.

6.2 Soluções e Estratégias para Eficiência Energética

A análise do capítulo "Padrões de Consumo e Ineficiências Identificadas" revelou três grandes desafios energéticos na habitação monitorizada: o uso excessivo da climatização, a presença de consumos fantasma e picos de consumo inesperados em horários de baixa atividade residencial. Estes fatores resultam num desperdício significativo de energia e aumentam os custos de eletricidade. Para mitigar estas ineficiências, propõem-se diversas estratégias que podem reduzir o consumo sem comprometer o conforto dos residentes.

Produção de Energia Solar para Suporte à Climatização

A climatização é o setor de maior consumo energético, frequentemente operando mesmo quando a habitação se encontra desocupada. Para reduzir a dependência da rede elétrica e diminuir custos, a instalação de painéis fotovoltaicos surge como uma solução eficaz.

Nos últimos anos, o custo dos sistemas solares fotovoltaicos tem vindo a diminuir, tornando esta solução economicamente mais acessível. Ao utilizar a energia solar para alimentar sistemas de climatização durante o dia, especialmente em períodos de elevada radiação solar, é possível minimizar significativamente o impacto da climatização no consumo total. Além disso, a conjugação deste sistema com isolamento térmico adequado e ajustes na programação dos equipamentos pode otimizar ainda mais a eficiência do uso energético.

Conscientização para a Redução do Consumo Fantasma

Os consumos fantasma foram identificados como uma fonte constante de desperdício energético, representando uma parcela significativa da energia consumida durante os períodos de inatividade da habitação.

Para mitigar este problema, é essencial uma mudança de hábitos por parte dos residentes. A identificação dos equipamentos essenciais que devem permanecer ligados e daqueles que podem ser desligados durante a noite ou quando a casa está desocupada é fundamental para reduzir o desperdício. Sensibilizar os utilizadores para desligarem carregadores, televisores e eletrodomésticos em standby pode gerar uma redução significativa no consumo ao longo do tempo, sem necessidade de investimentos adicionais.

Distribuição Inteligente da Utilização de Equipamentos

A análise dos dados revelou que o uso descoordenado de equipamentos de alto consumo contribui para picos energéticos desnecessários, o que não só aumenta os custos de eletricidade, mas também sobrecarrega a rede elétrica da habitação.

Uma solução eficiente para mitigar este problema é agendar a utilização de eletrodomésticos em horários de tarifa reduzida, quando disponível. Muitos fornecedores de energia oferecem planos com preços mais baixos durante a madrugada ou em horários específicos da tarde e noite. Adaptar a rotina para que máquinas de lavar roupa, secadores, fornos elétricos e máquinas de lavar loiça operem nesses períodos pode resultar numa poupança significativa.

Além disso, a sustentabilidade não se limita apenas à escolha da fonte energética, mas também à gestão eficiente da utilização dos equipamentos. Em vez de realizar múltiplas lavagens ao longo do dia, agrupar a roupa e loiça para utilizar os eletrodomésticos com carga completa reduz o número de ciclos e, consequentemente, o consumo total de energia e água. Esta abordagem não só beneficia o ambiente, mas também reduz a fatura elétrica sem comprometer o conforto dos utilizadores.

Instalação de Sensores de Presença em Áreas de Passagem

O consumo energético da iluminação pode ser reduzido sem comprometer o conforto dos utilizadores. Em áreas de passagem, como corredores, garagens e escadas, a instalação de sensores de presença pode garantir que as luzes se ativam apenas quando necessário, evitando desperdícios.

A substituição de iluminação convencional por lâmpadas LED também pode ser considerada, caso ainda existam lâmpadas ineficientes na habitação. No entanto, no contexto deste estudo, a maior recomendação foca-se nos sensores de presença para zonas de uso intermitente, onde o impacto pode ser mais significativo.

Chapter 7

Conclusão

7.1 Síntese dos Resultados

A presente dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitorização energética capaz de recolher dados em tempo real e fornecer uma análise detalhada do consumo elétrico residencial por setores. O sistema proposto demonstrou ser uma solução fiável e acessível, permitindo identificar padrões de consumo, detetar ineficiências e sugerir estratégias de otimização energética sem necessidade de alterações na infraestrutura elétrica existente.

Durante a fase de recolha de dados, que decorreu ao longo de sete dias, o sistema monitorizou continuamente o consumo energético da habitação, registando leituras de corrente a cada 10 segundos através de sensores não invasivos. Este processo garantiu a obtenção de uma amostra extensa e representativa do comportamento energético da residência. A análise dos dados recolhidos demonstrou que o sistema funcionou conforme esperado, sem falhas ou interrupções na recolha e armazenamento das medições. Além disso, a abordagem adotada para o armazenamento local dos dados revelou-se robusta, evitando perdas de informação mesmo em cenários de falha energética temporária.

A precisão das medições foi validada previamente, garantindo que as variações nos valores lidos pelos sensores não ultrapassassem 0,1 A para uma corrente estipulada. Em termos de fiabilidade, os valores registados apresentaram coerência ao longo do período de monitorização, com algumas discrepâncias identificadas em setores específicos, como climatização, cujos consumos revelaram valores significativamente superiores aos esperados. A estimativa indireta de consumos, particularmente no setor da iluminação, revelou-se uma ferramenta útil para complementar a análise, uma vez que os valores teóricos nunca excederam os valores efetivamente medidos e serviram como referência para avaliar o comportamento energético dos residentes.

Os padrões de consumo analisados demonstraram que os períodos de maior carga elétrica ocorreram entre as 19:00 e as 23:00, coincidindo com o regresso dos residentes ao

domicílio e a utilização intensiva de equipamentos domésticos, como eletrodomésticos de cozinha e lavandaria. O carregamento de veículos elétricos foi identificado como um fator significativo no perfil de consumo, sendo realizado maioritariamente durante a noite. Por outro lado, verificou-se que a bomba de calor permaneceu em funcionamento contínuo ao longo do dia, contribuindo substancialmente para a carga elétrica global da habitação.

A comparação entre os valores medidos e as estimativas teóricas permitiu identificar áreas de ineficiência e potenciais oportunidades de otimização. O setor da climatização destacou-se como o principal ponto de ineficiência, consumindo muito além do previsto e representando entre 60% a 70% do total da fatura elétrica. Este facto reforça a necessidade de intervenções para melhorar a eficiência do sistema de climatização, seja através da regulação das temperaturas, da adoção de estratégias de utilização mais racionais ou da integração de fontes de energia renovável.

A integração dos inquéritos qualitativos na análise do consumo energético permitiu validar padrões de utilização e compreender melhor os comportamentos dos residentes. Através das respostas fornecidas, foi possível correlacionar certos picos de consumo com atividades diárias específicas, justificar variações energéticas e identificar oportunidades de redução do consumo fantasma.

Em termos gerais, os resultados obtidos demonstram que, embora esta habitação tenha um consumo elevado devido ao seu tamanho e aos equipamentos de alto consumo, existe um grande potencial para a melhoria da eficiência energética. A implementação de estratégias de otimização, aliadas a um maior controlo sobre os principais setores de consumo, pode não apenas reduzir os custos energéticos mensais, mas também contribuir significativamente para a pegada energética da habitação.

7.2 Contribuições do Estudo

O presente estudo contribui significativamente para a área da monitorização e otimização do consumo energético em ambientes residenciais, ao demonstrar a viabilidade e eficácia de um sistema de medição acessível, fiável e não invasivo. Através da implementação de sensores de corrente e da estruturação de um sistema de recolha e análise de dados, foi possível obter uma visão detalhada do perfil energético da habitação analisada, identificando ineficiências e padrões de consumo pouco otimizados.

Uma das principais contribuições desta investigação foi a integração de medições em tempo real com métodos de análise quantitativa e qualitativa, permitindo correlacionar os consumos registados com os hábitos e rotinas dos residentes. A inclusão de inquéritos qualitativos revelou-se essencial para contextualizar os dados recolhidos, fornecendo uma perspetiva complementar à análise puramente numérica e facilitando a interpretação de padrões energéticos específicos. Esta abordagem permite não apenas monitorizar o consumo, mas também compreender os fatores comportamentais que o influenciam.

Outro contributo relevante foi a comparação entre os valores teóricos e os valores reais medidos pelo sistema, o que permitiu estabelecer uma linha de referência para identificar desvios e ineficiências energéticas. Este processo foi crucial para destacar setores com consumo excessivo e pouco eficiente, como a climatização, cujo consumo superou largamente as estimativas previstas. Ao fornecer uma métrica clara para a avaliação do desempenho energético dos diferentes setores da habitação, este estudo demonstra a importância da análise teórica como ferramenta de suporte à análise de dados reais.

Além disso, o sistema desenvolvido demonstrou que é possível implementar soluções de monitorização energética acessíveis e escaláveis sem necessidade de recorrer a contadores inteligentes, que frequentemente implicam custos elevados e requisitos específicos de infraestrutura. O uso de sensores SCT-013 e conversores analógico-digitais, aliados a um microcontrolador programado para registar e armazenar dados localmente, provou ser uma alternativa eficiente e económica para o acompanhamento contínuo do consumo energético residencial.

No âmbito da eficiência energética, este estudo também contribui com recomendações práticas e realistas para optimização do consumo, baseadas em dados concretos. A análise dos padrões energéticos permitiu identificar oportunidades de melhoria, como a redução do consumo fantasma, a melhor gestão da climatização e a redistribuição da utilização de equipamentos de alto consumo para períodos de tarifas mais baixas. Estas sugestões não só têm impacto direto na redução da fatura energética, como também promovem práticas mais sustentáveis e alinhadas com os princípios de consumo responsável.

Finalmente, este estudo serve como base para futuras investigações na área da monitorização residencial e automação energética, evidenciando o potencial de sistemas modulares que podem ser facilmente expandidos para incluir novas funcionalidades, como integração com redes inteligentes ou armazenamento remoto de dados para análise preditiva. O conhecimento gerado pode ser aplicado tanto em contextos residenciais como em instalações comerciais ou industriais de pequena escala, contribuindo para uma maior consciencialização sobre o consumo energético e suas implicações económicas e ambientais.

Desta forma, este trabalho não só valida a eficácia da metodologia adotada, como também reforça a importância da monitorização detalhada do consumo energético para a adoção de estratégias mais eficientes e sustentáveis. As contribuições apresentadas demonstram que, com soluções tecnológicas acessíveis e uma abordagem bem estruturada, é possível transformar dados em informação útil para a tomada de decisões informadas e para a melhoria da eficiência energética em qualquer ambiente residencial.

7.3 Limitações e Desafios

Ao longo do desenvolvimento e implementação do sistema de monitorização energética, foram identificadas diversas limitações e desafios técnicos, metodológicos e operacionais que influenciaram a precisão e robustez das medições. Estas limitações foram analisadas com o intuito de compreender as restrições do sistema e sugerir possíveis melhorias para futuros desenvolvimentos.

Limitações na Implementação do Sistema

A implementação do sistema de monitorização energética apresentou alguns desafios técnicos e operacionais que influenciaram a sua fiabilidade e escalabilidade. A escolha do microcontrolador revelou-se um dos aspetos mais críticos, uma vez que a leitura dos sensores SCT-013 não foi bem-sucedida em plataformas como o Raspberry Pico. O uso do Arduino foi essencial para garantir compatibilidade com os sensores e permitir a configuração da gama de leitura dos SCT-013 (30A ou 50A), ajustando-se às necessidades de cada circuito monitorizado. A implementação do protocolo I2C para endereçamento dos conversores ADC (ADS1115) foi também um dos principais desafios, pois exigiu um mapeamento rigoroso das conexões para garantir a aquisição simultânea de dados sem conflitos.

A qualidade dos cabos condutores entre os sensores e os conversores ADC também desempenhou um papel crucial. Foi identificado que qualquer desgaste ou mau isolamento nos fios poderia induzir erros significativos nas medições, comprometendo a fiabilidade dos dados recolhidos. Este problema foi mitigado através da substituição preventiva de cabos danificados antes da recolha de dados.

A robustez das ligações elétricas foi uma prioridade durante a implementação, de forma a garantir um funcionamento estável do sistema. No entanto, a ausência de uma fonte de alimentação autónoma representou uma limitação, uma vez que qualquer interrupção no fornecimento de energia ao microcontrolador poderia comprometer a continuidade da monitorização.

O armazenamento local através de um cartão SD revelou-se eficiente e sem restrições relevantes, dado que a escrita em formato CSV permitiu armazenar uma grande quantidade de dados sem risco de sobrecarga. No entanto, a ausência de acesso remoto aos dados obrigou a uma análise manual, exigindo que os ficheiros fossem retirados periodicamente do sistema para serem analisados externamente.

A frequência de amostragem adotada (leituras a cada 10 segundos) foi suficiente para captar padrões de consumo em equipamentos de alto consumo, garantindo que o sistema pudesse registar variações significativas sem gerar um volume excessivo de dados. Contudo, medições ainda mais frequentes poderiam ter permitido uma análise mais detalhada de equipamentos com consumos mais variáveis ao longo do tempo.

A comparação entre os valores teóricos e os valores medidos demonstrou que, embora o sistema tenha permitido identificar ineficiências e oportunidades de otimização, a exatidão dos cálculos teóricos depende fortemente da precisão das respostas aos inquéritos qualitativos. Apesar de a estrutura das perguntas ter sido desenvolvida para garantir respostas generalizadas e de fácil interpretação, a subjetividade das respostas pode ter introduzido pequenas imprecisões.

A escalabilidade do sistema foi também uma consideração relevante. A solução implementada mostrou-se viável para aplicações em habitações individuais ou edifícios residenciais com consumos elétricos inferiores a 100A (limite máximo do SCT-013). Contudo, em instalações de maior complexidade, a necessidade de um número elevado de sensores poderia tornar o sistema mais dispendioso e complexo.

Desafios e Melhorias Futuras

Com base nas limitações identificadas, é possível sugerir melhorias e adaptações que poderão tornar o sistema mais eficiente e versátil. Uma das melhorias mais evidentes seria a integração de um sistema de monitorização remota, permitindo aos utilizadores acederem aos dados recolhidos em tempo real, sem necessidade de retirar manualmente o cartão SD para análise. A implementação de conectividade Wi-Fi ou Bluetooth possibilitaria o envio automático de dados para uma plataforma de visualização, tornando o sistema mais intuitivo e acessível.

Outra melhoria seria a redução do tamanho do sistema, otimizando o microcontrolador e eliminando componentes desnecessários. Uma versão mais compacta do dispositivo poderia facilitar a sua instalação dentro de quadros elétricos fechados, garantindo uma integração mais discreta e sem necessidade de modificações estruturais.

A implementação de uma bateria de backup seria uma solução viável para evitar perdas de dados em caso de falha no fornecimento elétrico. Esta funcionalidade permitiria que o sistema continuasse a operar durante interrupções curtas de energia, garantindo que as medições não fossem comprometidas.

A nível da análise de dados, poderia ser desenvolvida uma abordagem mais avançada para a deteção automática de padrões anómalos. Algoritmos de inteligência artificial ou modelos estatísticos mais refinados poderiam ser implementados para identificar consumos inesperados e alertar os utilizadores sobre potenciais desperdícios.

Finalmente, para melhorar a adaptabilidade do sistema a diferentes tipos de habitação e edifícios, poderia ser explorada a possibilidade de aumentar a gama de sensores compatíveis. A utilização de sensores adicionais, como sensores de temperatura e humidade, permitiria relacionar melhor o consumo energético com fatores ambientais, tornando a análise mais completa e precisa.

Apesar destas limitações e desafios, o sistema desenvolvido demonstrou a sua viabilidade como ferramenta de monitorização energética, permitindo a recolha de dados

detalhados e a identificação de ineficiências no consumo da habitação. As melhorias sugeridas poderiam tornar o sistema ainda mais robusto, escalável e intuitivo, contribuindo para uma gestão mais eficiente do consumo energético residencial.

7.4 Considerações Finais

A implementação de um sistema de monitorização energética eficiente e acessível revelou-se uma abordagem promissora para compreender e otimizar o consumo elétrico em habitações residenciais. Através da recolha de dados detalhada e da comparação com padrões teóricos, foi possível identificar ineficiências energéticas significativas, fornecendo um suporte sólido para intervenções direcionadas à redução do desperdício e melhoria da eficiência.

O sistema demonstrou a capacidade de fornecer informações precisas e segmentadas sobre o consumo energético, permitindo distinguir padrões de utilização específicos de cada setor e identificar consumos desnecessários. A análise dos resultados permitiu não apenas a caracterização dos hábitos de consumo da habitação estudada, mas também a formulação de estratégias concretas para a otimização energética, promovendo uma utilização mais racional da eletricidade.

Além da identificação de problemas como picos de consumo inesperados e consumos fantasmas, este estudo reforçou a importância de associar tecnologias de monitorização a medidas de sensibilização dos utilizadores. A monitorização energética isolada não é suficiente para garantir melhorias substanciais na eficiência energética, sendo fundamental que os residentes compreendam os dados fornecidos e adotem práticas mais sustentáveis no seu quotidiano.

Os desafios encontrados ao longo da implementação serviram para evidenciar os principais obstáculos à adoção generalizada deste tipo de soluções, nomeadamente a necessidade de integração de um sistema de acesso remoto aos dados e a importância de um desenho mais compacto e autónomo. Estas melhorias representam oportunidades futuras de desenvolvimento, que poderiam ampliar o impacto e a aplicabilidade do sistema a um maior número de habitações e contextos.

Desta forma, este trabalho contribui para a crescente necessidade de soluções acessíveis e eficazes na gestão do consumo energético residencial, oferecendo um sistema funcional e adaptável que pode servir de base para futuras otimizações e expansões. Com a evolução contínua das tecnologias de monitorização e análise de dados, espera-se que iniciativas como esta desempenhem um papel fundamental na transição para um consumo energético mais consciente e eficiente.

References

- [1] S. Taylor A. Dementyev, S. Hodges and J. Smith. Power consumption analysis of bluetooth low energy, zigbee and ant sensor nodes in a cyclic sleep scenario. In *2013 IEEE International Wireless Symposium (IWS)*, pages 1–4, Beijing, China, 2013.
- [2] Menghui Zhu Ahmad Taufik Bin Nik Nor Azlan, Paul T. Mativenga and Nazanin Mirhosseini. Industry 4.0 energy monitoring system for multiple production machines. Technical report, University of Manchester and University of Johannesburg, 2023. Presented at the 56th CIRP International Conference on Manufacturing Systems 2023.
- [3] ADRIANA Alexandru and ELENA Jitaru. Education for energy saving in the house. In *Proceedings of the WSEAS Int. Conference on Energy Planning, Energy Saving, Environmental Education, Arcachon, France*, pages 84–89, 2007.
- [4] Marek Babiuch, Petr Foltýnek, and Pavel Smutný. Using the esp32 microcontroller for data processing. In *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- [5] George EP Box and David A Pierce. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. *Journal of the American statistical Association*, 65(332):1509–1526, 1970.
- [6] Luke J Bradley and Nick G Wright. Optimising sd saving events to maximise battery lifetime for arduinoTM/atmega328p data loggers. *IEEE Access*, 8:214832–214841, 2020.
- [7] Kevin Lane Brian Motherway and Nicholas Howarth et al. Energy efficiency 2022. Technical report, International Energy Agency (IEA), 2022. Analysis on global developments in energy efficiency and policy.
- [8] Giorgio Cacopardo, Pasquale Daponte, Luca De Vito, Francesco Italiano, Gianluca Lazzaro, Manfredi Longo, Francesco Picariello, Sergio Sciré Scappuzzo, and Ioan Tudosa. Design and characterization of an energy-efficient underwater system for temperature and acoustic emission monitoring. *Measurement: Sensors*, page 101422, 2024.
- [9] Barbara Cannas, Sara Carcangiu, Daniele Carta, Alessandra Fanni, Carlo Muscas, Giuliana Sias, Beatrice Canetto, Luca Fresi, and Paolo Porcu. Nilm techniques applied to a real-time monitoring system of the electricity consumption. *ACTA IMEKO*, 10(2):139–146, 2021. Published June 2021.

- [10] J Chandramohan, R Nagarajan, K Satheeshkumar, N Ajithkumar, PA Gopinath, S Ranjithkumar, et al. Intelligent smart home automation and security system using arduino and wi-fi. *International Journal of Engineering And Computer Science (IJECS)*, 6(3):20694–20698, 2017.
- [11] Saeid Nourian Amy Pallant Charles Xie, Zhihui Zhang and Edmund Hazzard. A time series analysis method for assessing engineering design processes using a cad tool. Technical report, The Concord Consortium, 2023. Supported by NSF Grant 0918449.
- [12] Jui-Sheng Chou and Duc-Son Tran. Forecasting energy consumption time series using machine learning techniques based on usage patterns of residential householders. *Energy*, 165:709–726, 2018.
- [13] Adam Cooper. Electric company smart meter deployments: Foundation for a smart grid. Technical report, The Institute for Electric Innovation (IEI), 2016. IEI Report, October 2016.
- [14] Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa, Sílvia Haueisen Figueiredo, and Sidnea Eliane Campos Ribeiro. Estudo comparativo da tecnologia cad com a tecnologia bim. *Revista de Ensino de Engenharia*, 34(2), 2015.
- [15] Plateny de Brito Ponchet. Avaliação do transformador de corrente sct-013 aplicado em medidor eletrônico de potência. Technical report, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
- [16] Almoataz Y. Abdelaziz Fanidhar Dewangan and Monalisa Biswal. Load forecasting models in smart grid using smart meter information: A review. Technical report, *Energies Journal*, MDPI, 2023. Published January 31, 2023.
- [17] Laura Cozzi Fatih Biro and Tim Gould. World energy outlook 2022. Technical report, International Energy Agency (IEA), 2022.
- [18] S. Krishnan G. R. Barai and B. Venkatesh. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review. Technical report, 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), London, ON, Canada, 2015. Presented at the 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference.
- [19] Nahid Gholizadeh, Hamid Saadatfar, and Nooshin Hanafi. K-dbscan: An improved dbscan algorithm for big data. *The Journal of supercomputing*, 77(6):6214–6235, 2021.
- [20] Mohamed G Hassan, R Hirst, Carys Siemieniuch, and AF Zobaa. The impact of energy awareness on energy efficiency. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(4):284–297, 2009.
- [21] C. Akers K. Roth J. LaMarche, K. Cheney and O. Sachs. Home energy displays: Consumer adoption and response. Technical report, Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems, 2012. Prepared for the National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy’s Building America Program.

- [22] Natalija Koseleva and Guoda Ropaite. Big data in building energy efficiency: understanding of big data and main challenges. *Procedia Engineering*, 172:544–549, 2017.
- [23] Awanish Kumar, Shashi Ranjan, M Bharath Kumar Singh, Priyanka Kumari, and L Ramesh. Electrical energy audit in residential house. *Procedia Technology*, 21:625–630, 2015.
- [24] Eduardo Luis Intriago Loor. Analizador de redes eléctricas con transmisión inalámbrica de datos. Technical report, Universidad Tecnológica Israel, Quito, Ecuador, 2019. Trabajo de Titulación para Grado en Ingeniería Electrónica Digital y Telecomunicaciones.
- [25] Najwa Nasuha Mahzan, AM Omar, Langga Rimon, SZ Mohammad Noor, and MZ Rosselan. Design and development of an arduino based data logger for photovoltaic monitoring system. *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol*, 17(41):15–1, 2017.
- [26] R. O. Masebinu and N. Kambule. Electricity consumption data of a middle-income household in gauteng, south africa: Pre and post covid-19 lockdown (2019-2021). Technical report, Department of Geography, Environmental Management, and Energy Studies, University of Johannesburg, 2022.
- [27] N. A. Mathew and K. M. Abubeker. Iot based real time patient monitoring and analysis using raspberry pi 3. In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, pages 2638–2640, Chennai, India, 2017.
- [28] Erwin Sutanto Fahmi Fahmi Parama Diptya Widayaka Muhamad Bagus Fikril Alan, Pradini Puspitaningayu et al. Design and implementation of photovoltaic monitoring system using arduino uno r4. In *2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSYS)*, pages 899–903. IEEE, 2024.
- [29] B. Murmann. The race for the extra decibel: A brief review of current adc performance trajectories. *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, 7(3):58–66, 2015.
- [30] Jesús Eduardo Mendoza Padilla and Mauricio Alexander Marín Mendoza. Prototipo de smart home automatizado con iot. Technical report, Institución Universitaria ITSA, Colombia, 2020. Revista Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 8, no. 2, pp. 152–168, DOI: 10.17081/invinno.8.2.3771.
- [31] Rutuja Gosavi Vaishnavi Fatate Bhosale Bhosale Shriprasad Chate Santosh Gadekar, Gauri Kolpe and Akshay Lad. Arduino uno-atmega328 p microcontroller based smart systems. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication & Information Processing (ICCIP)*, 2021.
- [32] Jaroslav Sobota, Roman Pišl, Pavel Balda, and Miloš Schlegel. Raspberry pi and arduino boards in control education. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17):7–12, 2013.

- [33] Aleksandar Stanimirović, Miloš Bogdanović, Milena Frtunić, and Leonid Stoimenov. Low-voltage electricity network monitoring system: Design and production experience. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(1):1–14, 2020. Received: March 5, 2019; Accepted: January 6, 2020.
- [34] Andres Eduardo Nieto Vallejo and Diego Alejandro Patiño Guevara. Scale prototype ring main unit for the measurement and control of nodes in a smart grid. *Revista Politécnica*, 14(26):113–124, 2018. Accepted June 12, 2018.
- [35] Oleg Bayazitov Dmitriy Kvitko Ivan Babkin Kirill Shirnin Georgii Kolev Vyacheslav Rybin, Timur Karimov and Denis Butusov. Prototyping the symmetry-based chaotic communication system using microcontroller unit. Technical Report 936, Youth Research Institute, St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 2023. Published January 10, 2023.
- [36] Karyanto Wantika Tri Wahyudi and Risky Martin Antosia. Rancang bangun alat resistivitas berbasis arduino menggunakan modul acs712 dan ads1115. Technical report, Institut Teknologi Sumatera and Universitas Lampung, 2020. Published in 2020, covering resistivity measurement using Arduino, ACS712, and ADS1115 modules.
- [37] Kai Qiu Zhenyu Wu and Jianguo Zhang. A smart microcontroller architecture for the internet of things. Technical Report 1821, School of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2020. Published March 25, 2020.