



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Miguel de Andrade Carvalhais Marinho

**GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO POLO III DA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, área de especialização em Energia orientada pelo Professor Doutor António Manuel Oliveira Gomes Martins e coorientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Fevereiro de 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO POLO III DA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

Presidente do Júri:

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Vogais:

Professor Doutor António Manuel Oliveira Gomes Martins

Professora Doutora Rita Cristina Girão Coelho da Silva

“If you want to find the secrets of the universe,
think in terms of energy, frequency and vibration”

Nikola Tesla

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Oliveira Gomes Martins, pelo importante acompanhamento e conhecimentos transmitidos. Ao meu coorientador, o Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, pelo apoio e disponibilidade.

Agradeço ao Eng. Mário Carvalhal, ao Eng. Bernardo Sousa, ao Eng. Fernando Martins e ao Eng. Filipe Cordeiro do SGEA pela oportunidade e apoio neste trabalho.

À minha família e amigos pelo apoio e incentivo que sempre me deram.

O tempo que passei em Coimbra não tinha sido o mesmo sem a Rádio Universidade de Coimbra e toda a gente que partilhou esta experiência comigo.

Resumo

O Polo III da Universidade de Coimbra tem no seu conjunto oito edifícios, todos eles com monitorização de energia elétrica. Esta dissertação surge no sentido de usar a base de dados existente para extrair informação sobre os hábitos de utilização de energia em cada um desses edifícios, tendo em vista apetrechar os gestores dos edifícios com informação útil a uma gestão mais informada sobre os perfis típicos de consumo, facilitando ainda a deteção de oportunidades de melhorar a eficiência energética global do Polo III e, possivelmente, reduzir os encargos de aquisição de energia elétrica.

Numa primeira parte deste trabalho é feita uma descrição do sistema de monitorização de consumos que engloba todos os edifícios do Polo III da Universidade de Coimbra.

É também feita uma caracterização do consumo de energia elétrica em cada um dos edifícios através de perfis de consumo típicos. Foram usados os dados do histórico de consumos dos anos de 2017 e 2018. Os perfis de consumo foram encontrados recorrendo a métodos de *clustering*, tendo sido usado o algoritmo *K-means*.

É ainda efetuada uma análise crítica de alguns aspetos funcionais do sistema de aquisição de dados e do *software* de interface com o utilizador.

Palavras-Chave: Sistema de monitorização de consumos, energia elétrica, gestão de energia, perfis de consumo, diagrama de carga, *clustering*, *K-means*.

Abstract

All eight buildings of Polo III of the University of Coimbra have their electric energy consumption monitored. This dissertation comes from the idea of extracting information from the database underlying the monitoring system in order to provide the building managers additional information about the energy use patterns, facilitating the identification of energy and cost saving opportunities.

On the first part of this work a *description* is made of the energy consumption monitoring system of the Polo III campus.

A characterization is made of the electric energy consumption in each building through typical consumption profiles. Data on energy consumption of the years 2017 and 2018 were used. The consumption profiles were obtained by means of *clustering*, using the *K-means* algorithm.

Some of the operational features of the data acquisition system, as well as the quality of the user interface were the subject of some critical assessment.

Key Words: Energy monitoring system, electric energy, energy management, consumption profiles, load diagram, *clustering*, *K-means*.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Acrónimos	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Introdução	2
1.2 Enquadramento e objetivos.....	2
1.3 Estrutura.....	2
2. Conceitos e metodologias	5
2.1 SCADA.....	6
2.2 Análise de <i>clusters</i>	7
2.3 Diagramas de carga	9
3. Caso de estudo: Polo III.....	11
3.1 Constituição do Polo III	12
3.2 Rede de distribuição.....	13
3.3 Monitorização de consumos do Polo III.....	13
3.3.1 Rede de submedida.....	13
3.3.2 <i>Hardware</i>	17
3.3.3 SGE Análise	20
3.3.4 SGE <i>Web</i>	26
4. Caracterização de consumos.....	31
4.1 Perfis de consumo	32
4.1.1 Subunidade 1.....	34
4.1.2 Subunidade 3.....	36
4.1.3 Faculdade de Farmácia.....	38
4.1.4 ICNAS.....	40
4.1.5 Biblioteca das ciências da saúde	42
4.1.6 Residência Universitária.....	46
4.1.7 Cantina	48
4.1.8 Polo III.....	48
4.1.9 Iluminação pública	50
4.2 Fator de carga.....	51
4.3 Fator de diversidade.....	54
4.4 Perdas na rede	55
4.5 Consumo de energia no ano de 2018	56

5. Conclusões e trabalho futuro.....	57
5.1 Conclusões.....	58
5.2 Trabalho futuro	59
Referências Bibliográficas	60
Anexos.....	63
Diagrama Unifilar Polo III	64
<i>Script</i> MATLAB.....	65

Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplo de arquitetura de um sistema para monitorização de energia.	6
Figura 2 – Exemplo métodos hierárquicos: à esquerda divisão dos <i>clusters</i> , à direita representação num dendrograma	8
Figura 3 – Exemplo <i>clustering</i> não hierárquico	8
Figura 4 – Carlo Gavazzi EM21-72d.....	18
Figura 5 – JANZ A1700.....	18
Figura 6 – Landis Gyr+ E650	18
Figura 7 – ISKRA MT851	19
Figura 8 – ACTARIS SL7000.....	19
Figura 9 – Omron CP1L.....	20
Figura 10 – Carlo Gavazzi CTD-2X.....	20
Figura 11 – Vista inicial SGE Análise	21
Figura 12 – Contadores de água e gás	22
Figura 13 – Valores totais sem sentido mostrados para os analisadores	23
Figura 14 – Menu Editar Medições	23
Figura 15 – Variáveis externas	23
Figura 16 – Diagramas de carga	24
Figura 17 – Gráficos de consumo por ciclo horário	25
Figura 18 – Desagregação de consumos do contador geral	25
Figura 19 – Página inicial SGE <i>Web</i>	26
Figura 20 – Separador Comparar	28
Figura 21– Separador Individuais.....	28
Figura 22 – Separador Eletricidade	29
Figura 23 – Separador CO ₂	30
Figura 24 – Separador Totais.....	30
Figura 25 – Exemplo de <i>cluster</i> e respetivos centroides.....	33
Figura 26 – À esquerda diagrama original e à direita diagrama obtido com média móvel	33
Figura 27 – Perfil de consumo da Subunidade 1 em dias úteis.....	34
Figura 28 – Perfil de consumo da Subunidade 1 em dias de fim de semana.....	35
Figura 29 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias úteis, meses mais frios.....	36
Figura 30 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias de feriado	37
Figura 31 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias úteis, meses mais quentes	37
Figura 32 – Perfil de consumo da Subunidade 3 ao sábado	38
Figura 33 – Perfil de consumo da Faculdade de Farmácia em dias úteis.....	38
Figura 34 – Perfil de consumo da Faculdade de Farmácia ao sábado	39
Figura 35 – Perfil de consumo ao domingo.....	40
Figura 36 – Perfil de consumo do ICNAS em dias úteis.....	41
Figura 37 – Perfil de consumo do ICNAS em dias de fim de semana.....	42
Figura 38 – Perfil de consumo da biblioteca em dias úteis.....	43
Figura 39 – Diagrama de carga de um dia com o <i>chiller</i> em funcionamento	44
Figura 40 – Perfil de consumo da biblioteca ao sábado.....	45
Figura 41 – Perfil de consumo da biblioteca ao domingo.....	46
Figura 42 – Perfil de consumo da residência universitária em dias úteis	46
Figura 43 – Perfil de consumo da residência universitária em dias de fim de semana	47
Figura 44 – Perfil de consumo da residência universitária no período de férias escolares.....	47
Figura 45 – Perfil de consumo da cantina em dias úteis.....	48

Figura 46 – Perfil de consumo do Polo III em dias úteis	49
Figura 47 – Perfil de consumo do Polo III ao sábado	49
Figura 48 – Perfil de consumo do Polo III ao domingo	50
Figura 49 – À esquerda diagrama com os dados recolhido à direita diagrama que seria esperado para a iluminação pública	51
Figura 50 – Fator de carga Subunidade 3 em 2018.....	52
Figura 51 – Fator de carga Biblioteca das ciências da saúde em 2018	53
Figura 52 – Fator de diversidade Polo III em 2018.....	54
Figura 54 – Gráfico com os valores da diferença percentual entre o registo do contador central e a soma dos contadores parciais, em função do valor da potência do contador central (no eixo das abcissas).....	56
Figura 55– Consumo de energia de cada edifício por mês do ano 2018	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Contadores instalados no Polo III	15
Tabela 2 – Subcontadores do contador CNTE004.....	16
Tabela 3 – Subcontadores do contador CNTE014.....	16
Tabela 4 – Subcontadores do contador CNTE135.....	16
Tabela 5 – Valores médios do fator de carga em 2018.....	51
Tabela 6 – Valores médios do fator de diversidade em 2018.....	54

Lista de Acrónimos

AIBILI – Associação para Investigação Biomédica em Luz e Imagem

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

DEEC – Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

EDP – Energias de Portugal

GPRS – General Packet Radio Service

GSM – Global System for Mobile Communications

HTML – Hypertext Markup Language

IBILI – Instituto Biomédico de Investigação da Luz e da Imagem

ICNAS – Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde

IR – Infrared radiation

ISDN – Integrated Service Digital Network

LCD – Liquid crystal display

MT – Média tensão

MTU – Maximum Transmission Unit

PET – Positron emission tomograph

PLC – Programmable logic controller

PS – Posto de seccionamento

PSTN – Public switched telephone network

PST – Posto de seccionamento e transformação

RTU – Remote terminal unit

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

SGE – Sistema de gestão de energia

SGESA – Serviço de Gestão do Edificado, Segurança e Ambiente

SGT – Sistema de gestão técnica

XML – Extensible Markup Language

1. Introdução

1.1 Introdução

Como ponto essencial na gestão de energia estão a recolha e análise de informação sobre consumos. O gestor de energia de um edifício tem de conhecer os hábitos de consumo para tentar encontrar oportunidades de racionalização de energia assim como ser capaz de identificar consumos anómalos. É, portanto, de grande importância saber como e porquê é utilizada a energia elétrica e agir no sentido de fazer um uso mais eficiente da mesma.

1.2 Enquadramento e objetivos

O sistema de monitorização de consumos do Polo III é da responsabilidade do SGESA (Serviço de Gestão do Edificado, Segurança e Ambiente) da Administração da UC, estando apenas a ser utilizado para a faturação de energia de cada um dos edifícios, não sendo aproveitado todo o seu potencial. Esta dissertação pretende utilizar o histórico de consumos deste sistema de monitorização para obter informação útil sobre os hábitos de consumo do Polo III para apoio à gestão de energia.

Partindo de uma recolha de informação sobre o sistema de monitorização, é também objetivo desta dissertação descrever todo o sistema e *software* de análise com a indicação de erros e disfuncionalidades encontradas na sua utilização.

Pretende-se depois, encontrar padrões de consumo nos edifícios do Polo III, em função do tipo de dias, da estação do ano ou do padrão de ocupação do edifício, assim como identificar possíveis consumos evitáveis.

1.3 Estrutura

No primeiro capítulo é feita uma introdução a esta dissertação, onde são descritos o enquadramento e os objetivos.

No segundo capítulo há uma breve introdução sobre sistemas de aquisição de dados e sobre a metodologia de análise de dados utilizada neste trabalho.

Encontra-se no terceiro capítulo a apresentação do caso de estudo, em que se abordam a constituição do Polo III e o sistema de monitorização existente, desde os equipamentos instalados ao *software* de análise.

No quarto capítulo são expostos os perfis de consumo encontrados durante o trabalho e ainda alguns índices, como fator de carga e fator de diversidade, que ajudam a caracterizar o consumo de energia.

O quinto capítulo fica reservado para conclusões e trabalho futuro.

2. Conceitos e metodologias

2.1 SCADA

A sigla SCADA significa Supervisory Control and Data Acquisition. Um sistema SCADA é um sistema computacional que monitoriza e controla processos que existem no mundo físico. São sistemas distribuídos com vários dispositivos de recolha de dados que são armazenados e analisados num computador. [1]

Num sistema SCADA para monitorização de energia, os contadores distribuídos pelos locais a monitorizar estão ligados a um autómato (Programmable Logic Controller – PLC) que recolhe informação e faz a ligação ao servidor da base de dados e ao *software* SCADA. Um sistema de monitorização apenas efetua aquisição de dados, não tendo a componente de controlo. Na imagem da figura 1 pode ver-se o exemplo da arquitetura de um sistema de monitorização de energia.

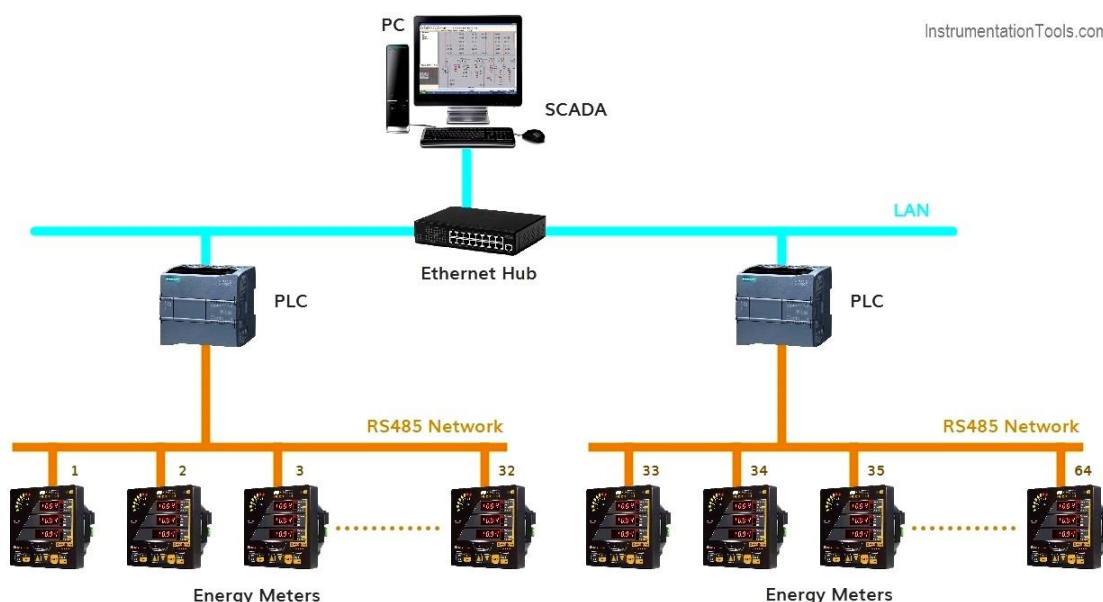


Figura 1 – Exemplo de arquitetura de um sistema para monitorização de energia. [2]

O sistema SCADA pode ser dividido em quatro componentes:[1]

- Dispositivos de campo
- RTU/PLC
- Rede de comunicações
- MTU

Os dispositivos de campo incluem sensores e atuadores: sensores para medir grandezas e os atuadores para funções de controlo. Para monitorização de energia são usados contadores e analisadores, tendo os analisadores de energia, para além da função de contagem, também a de recolha de informação sobre a qualidade de energia. Os

analisadores apresentam informação sobre variáveis como tensão, corrente, frequência, fator de potência, potência instantânea ou distorção harmónica.

RTU (remote terminal unit) é um dispositivo com um microprocessador que recolhe a informação dos dispositivos de campo e envia para a estação central. Algumas vezes um PLC pode ser usado substituindo um RTU. Um PLC é um autómato, mais económico e flexível que um RTU. [3]

A rede de comunicações suporta as trocas de dados entre sensores e o RTU e depois para a estação central. São usados protocolos de comunicação como o Modbus de forma a ser possível comunicação de dispositivos de vários fabricantes.

MTU, de Master Terminal Unit, é um servidor onde é armazenada toda a informação que pode depois ser acedida através de uma interface homem-máquina. [4]

2.2 Análise de *clusters*

Clustering, termo em inglês usado para agrupamento de dados, consiste na criação de grupos de dados com base na sua semelhança. É uma técnica de *data mining* utilizada para identificar padrões num grande conjunto de dados, podendo ser utilizada nas mais diversas áreas.

Algoritmos de *clustering* agrupam dados ou objetos considerando índices de proximidade. A análise de *clusters* é uma ferramenta para explorar a estrutura de dados que não requer pressupostos iniciais, daí ser chamada análise não supervisionada. [5]

Os métodos de *clustering* podem ser divididos em métodos hierárquicos ou não hierárquicos (também designados por métodos particionais). Métodos hierárquicos obrigam ao cálculo de uma matriz de semelhanças. Usando essa matriz para organização dos dados, são criados *clusters* dentro de outros *clusters*, podendo depois ser representados graficamente por um dendrograma ou árvore. Os dados mais semelhantes vão sendo agrupados dois a dois. Com métodos não hierárquicos os dados são divididos em *clusters* independentes, não há sobreposição de *clusters* e os dados pertencem apenas a um único *cluster*. [6] [7]

Na figura 2 pode ver-se um exemplo de *clusters* obtidos por métodos hierárquicos.

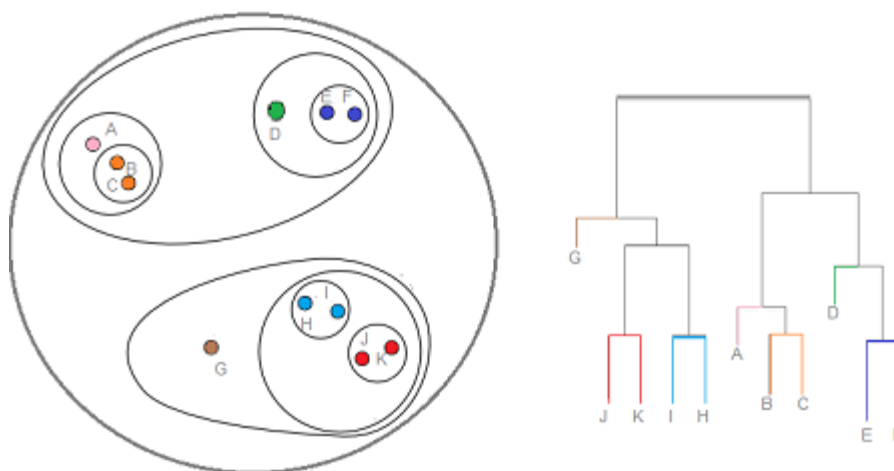


Figura 2 – Exemplo métodos hierárquicos: à esquerda divisão dos *clusters*, à direita representação num dendrograma.[8]

Na figura 3 está ilustrado um exemplo de *clustering* não hierárquico, o algoritmo *K-means*.

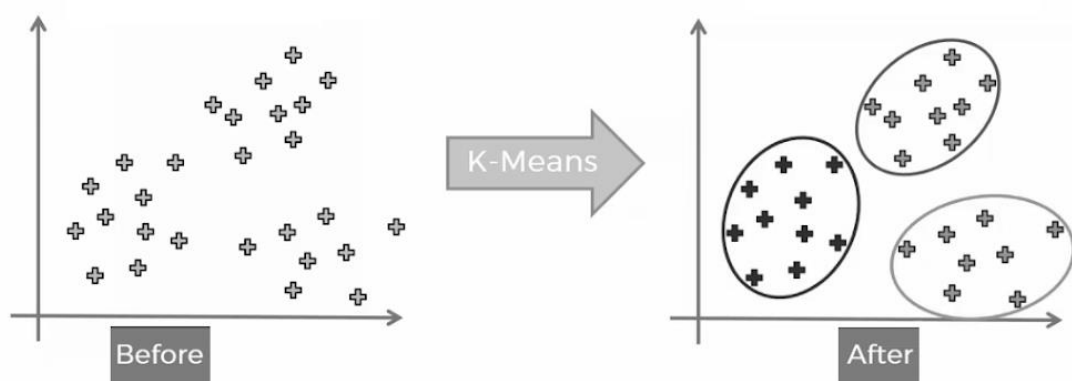


Figura 3 – Exemplo *clustering* não hierárquico [9]

Métodos de *clustering* podem ser aplicados para agrupar séries temporais. Desta forma, através da análise de *clusters* empregue em séries temporais que retratem o consumo de energia é possível identificar perfis típicos que podem ser utilizados para fazer uma previsão da procura de energia elétrica. Os padrões de consumo encontrados neste tipo de análise tornam possível identificar rotinas diárias no consumo de energia, assim como consumos típicos para dias com condições atmosféricas específicas. [10]

2.2.1 *K-means*

O algoritmo *K-means* é bastante popular para análise de *clusters*, enquadrando-se nos métodos não hierárquicos. Este algoritmo divide os dados em *clusters*, agrupando-os conforme a sua distância ao centroide do *cluster*. Aplicando o *K-*

means a diagramas de carga, depois de agrupados o algoritmo devolve os valores dos centroides dos *clusters* que correspondem ao diagrama médio. É um algoritmo simples, eficiente e com capacidade para uma grande quantidade de dados, tendo como principais defeitos a sensibilidade a ruído e *outliers* e o facto de o número de *clusters* ter de ser previamente escolhido. [11]

Neste algoritmo a divisão dos dados é feita pelos *k clusters* de acordo com a proximidade dos dados ao centroide, o ponto médio do *cluster*. Cada ponto do conjunto de dados a agrupar é atribuído ao *cluster* cujo centroide está à menor distância desse ponto. Este algoritmo exige que seja atribuído um valor inicial de *k*, mesmo que o número de *clusters* não seja conhecido a priori, podendo ser necessário executar o algoritmo várias vezes para diferentes valores de *k* de forma a encontrar o mais adequado. O centroide inicial de cada um dos *clusters* é atribuído de forma aleatória e vai sendo atualizado a cada iteração de forma a coincidir com o valor médio do *cluster*. Este algoritmo pode ser descrito em quatro passos: [12]

1º Passo – Escolher *k* valores para centroides de cada *cluster*

2º Passo – Associar cada ponto ao centroide mais próximo

3º Passo – Recalcular o centroide de cada *cluster*

4º Passo – Repetir os dois passos anteriores até nenhum elemento mudar de *cluster*

A proximidade entre cada ponto e os centroides é calculada pela distância Euclidiana descrita pela equação 1, sendo *d* a distância entre os pontos *x* e *y*.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

2.3 Diagramas de carga

Um diagrama de carga representa a potência pedida à rede ao longo do tempo, por uma carga ou conjunto de cargas, num determinado período, como dia ou semana. Um diagrama de carga diário indica de que forma varia a potência ao longo do dia, permitindo efetuar uma comparação entre diferentes dias. O consumo de energia pode ser calculado pelo integral da potência. Na equação (2), *W* é energia, *P* a potência e *T* o período de consumo.

$$W = \int_0^T P(t)dt \quad (2)$$

A potência máxima, ou ponta, é o maior valor registado no diagrama de carga e a potência mínima o menor. A potência média obtém-se dividindo o total de energia consumida pelo período a que diz respeito o diagrama. Na equação (3) $P_{média}$ é a potência média, W energia total consumida e T o período de consumo.

$$P_{média} = \frac{W}{T} \quad (3)$$

Existem ainda alguns índices associados aos diagramas de carga. O fator de carga é a relação entre a potência média e a potência máxima. Na equação (4) FC é o fator de carga, $P_{média}$ e $P_{máxima}$ são a potência média e máxima, respetivamente.

$$FC = \frac{P_{média}}{P_{máxima}} \quad (4)$$

O fator de carga varia sempre entre 0 e 1. Quando assume um valor baixo indica um diagrama de carga mais irregular, com assimetrias fortes (com ponta elevada e de curta duração, por exemplo). Já o fator de vazio é o quociente entre a potência mínima e a potência máxima. Na equação (5) FV é o fator de vazio, $P_{mínima}$ e $P_{máxima}$ são a potência mínima e máxima, respetivamente.

$$FV = \frac{P_{mínima}}{P_{máxima}} \quad (5)$$

A utilização da ponta indica o número de horas que seriam necessárias para consumir a mesma quantidade de energia sempre à máxima potência. É o quociente entre a energia total e a potência máxima. Tendo em conta a definição de potência média na equação (3), a utilização da ponta pode também ser traduzida pelo produto entre o fator de carga e o período de consumo de energia. Na equação (6) UP refere-se à utilização da ponta, W a energia consumida, $P_{máxima}$ é a potência máxima, FC o fator de carga e T o período de consumo.

$$UP = \frac{W}{P_{máxima}} = FC * T \quad (6)$$

Para um conjunto de diagramas de carga parciais, pode ser calculado o fator de diversidade que é expresso pelo quociente entre a soma das pontas dos diagramas parciais e a ponta do diagrama total (soma dos parciais). Traduz a diferença temporal com que ocorrem as pontas dos diagramas parciais - quanto mais próximas mais perto de 1 está o fator de diversidade. A equação do fator de diversidade, FD :

$$FD = \frac{\sum Pontas\ diagramas\ parciais}{Ponta\ diagrama\ total} \quad (7)$$

3. Caso de estudo: Polo III

3.1 Constituição do Polo III

O Polo III da Universidade de Coimbra está localizado junto do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, tendo a sua construção começado no ano de 2001. Também conhecido como Polo das Ciências da Saúde, o Polo III inclui a Faculdade de Medicina e a Faculdade de Farmácia. No total, são oito os edifícios que compõem o Polo III. [13]

Na Unidade Central encontram-se os serviços administrativos e de gestão da Faculdade de Medicina e da Faculdade de Farmácia. As salas e gabinetes destas duas Faculdades situam-se no rés do chão e no primeiro andar. No piso inferior existem três auditórios, havendo ainda um outro piso para a garagem.

A Subunidade 1 é um edifício que engloba salas de aula e laboratórios da Faculdade de Medicina, o IBILI e a AIBILI. O IBILI, sigla para Instituto Biomédico de Investigação da Luz e da Imagem, é um centro de investigação especializado na área da visão. Por sua vez, a AIBILI é uma associação sem fins lucrativos (Associação para Investigação Biomédica em Luz e Imagem).

A Subunidade 3 é também um edifício da Faculdade de Medicina. À data da escrita desta dissertação foi o último dos edifícios do Polo III a entrar em funcionamento, tendo sido inaugurado em 2016.

A Faculdade de Farmácia está também instalada num edifício com seis pisos, dois dos quais são subterrâneos.

Há um edifício dedicado à Biblioteca das Ciências da Saúde, para utilização da comunidade académica. O piso 0 da biblioteca dispõe de equipamento informático e uma sala para trabalhos de grupo. No piso 1 existem quatro salas de leitura para estudo individual.

O ICNAS, Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde, também se localiza no Polo III. Aqui é realizada investigação, assim como exames médicos de neurologia, cardiologia e oncologia. Em 2009 foi criado o ICNAS-Produção, uma empresa da Universidade de Coimbra que se dedica a produzir e comercializar Radionuclídeos e Radiofármacos.

Os restantes dois edifícios pertencem aos Serviços de Ação Social de Universidade de Coimbra, sendo um deles uma cantina e o outro uma residência universitária. A residência universitária conta com 270 camas, é constituída por quartos simples e duplos, uma sala de estudo, uma lavandaria self-service e cozinha. O edifício

da cantina tem uma sala com capacidade para 314 pessoas, um bar com 68 lugares e o restaurante universitário do Polo III com 36 lugares.

3.2 Rede de distribuição

A rede de média tensão que faz a distribuição da energia elétrica no Polo III é uma rede em anel de 15 kV. O posto de seccionamento e transformação, onde é feita a ligação com a rede da EDP-Distribuição, encontra-se na Subunidade 1. Existem seis transformadores no anel. Um transformador seco de 630 kVA para a iluminação pública e o edifício da biblioteca. Também com 630 kVA de potência, um transformador a óleo alimenta a Subunidade 1. A Unidade Central, a cantina e a residência universitária, partilham um transformador seco com uma potência de 800 kVA. No ICNAS está instalado um monobloco com uma potência de 800 kVA. Na Faculdade de Farmácia existe um transformador seco com 1260 kVA. A Subunidade 3 é alimentada por um transformador seco de 630 kVA. O diagrama unifilar da rede do Polo III encontra-se em Anexo.

3.3 Monitorização de consumos do Polo III

O sistema que permite monitorizar os consumos do Polo III foi instalado pela empresa Exsepi, que comercializa soluções para monitorização e gestão de energia. Do sistema de gestão de energia desenvolvido por esta empresa, foram adquiridos para o Polo III os módulos de monitorização SGE Análise e SGE *Web*. O primeiro é um *software* para análise de consumos e o segundo permite o acesso remoto aos mesmos dados através de um *web browser*.

A base de dados tem disponíveis dados de consumo desde 31 de outubro de 2016.

Em outubro de 2019, depois de detetados problemas de aquisição de dados em alguns contadores, foi feita uma intervenção para análise e correção de possíveis erros no sistema de monitorização por parte da empresa responsável através de uma aquisição de serviços promovida pela UC.

3.3.1 Rede de submedida

Existem, no total, 34 contadores a fazer medições de consumo de energia elétrica no Polo III. Os subcontadores da Subunidade 1 e Unidade Central são também analisadores, com algumas funcionalidades adicionais além da medição de consumos.

Apesar de na lista de contadores no *software* nem todos estarem identificados como analisadores. Vários destes contadores e analisadores estão registados no *software* duas vezes, uma com consumos de energia ativa, e outra com consumos de energia reativa. Há ainda um contador virtual, onde a aplicação regista os consumos que resultam da diferença entre os registos de consumo de dois contadores. São, ao todo, 57 contadores utilizados no *software* relativos ao Polo III. Há também, na mesma plataforma, acesso aos dados de outros contadores, instalados nos edifícios de Física e Química da UC e no edifício conhecido por Casa das Caldeiras. Porém, este trabalho é focado nos contadores relativos aos Polo III. Os primeiros 53 contadores listados no *software* pertencem ao Polo III havendo, de seguida, contadores instalados nos restantes edifícios. O contador número 126 é também do Polo III e foi só instalado na Subunidade 3 em 21 dezembro de 2017. Três outros contadores (do 133 ao 135) foram instalados a 30 de outubro de 2019. Atualmente, todos os edifícios têm contagem geral, dispondo a Subunidade 1 e a Unidade Central de vários contadores parciais para desagregação de consumos. A tabela 1 tem uma lista de todos os contadores do Polo III.

REF. SGE	NOME	MARCA/MODELO	EDIFÍCIO	LOCAL
CNTE001	GERAL EDP - ATIVA	Landis Gyr+ E570	Subunidade 1	PST
CNTE002	GERAL EDP -IND	Landis Gyr+ E570	Subunidade 1	PST
CNTE003	GERAL EDP - CAP	Landis Gyr+ E570	Subunidade 1	PST
CNTE004	GERAL IBILI/AIBILI	Janz A1700	Subunidade 1	QGBT
CNTE005	GERAL ICNAS	Janz A1700	ICNAS	QGBT
CNTE006	GERAL BIBLIOTECA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Biblioteca	QGBT
CNTE007	GERAL FARMÁCIA	Actaris SL7000	Farmácia	QGBT
CNTE008	GERAL UN. CENTRAL PIII	Janz A1700	U. Central	Q.P-1.GE
CNTE009	GERAL RESIDENCIAS	Janz A1700	Residências	QGBT
CNTE010	GERAL CANTINA	ISKRA MT851	Cantina	PS3
CNTE011	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	Merlin Gerin ME4zr	Subunidade 1	PS
CNTE012	GAB. FISC + BIBLIOTECA	Electrex	Subunidade 1	PS
CNTE013	PISO 0 - BIBLIOTECA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Biblioteca	QGBT
CNTE014	ANALISADOR 1 - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE015	ANALISADOR 2 - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE016	ANALISADOR 3 - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE017	ANALISADOR 4 - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE018	ANALISADOR 5 - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE019	PISO 2A - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.2A
CNTE020	PISO 3A - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.3A
CNTE021	PISO 4A - IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.4A
CNTE022	Q. AC. COB1 - UN. CENTRAL	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE023	Q.P.-1 GP - UN. CENTRAL PIII	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE024	QP0-GP1 - UN. CENTRAL PIII	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE

CNTE025	QP0-GP2 - UN. CENTRAL PIII	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE026	QP1-GP - UN. CENTRAL PIII	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE027	QP-2GP - UN. CENTRAL PIII	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE028	QAC. AUD. - UN. CENTRAL	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE029	QP3 A-TEC - UN. CENTRAL	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE030	ANALISADOR 9 – UCENTRAL	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	QP1-GP
CNTE031	EN. REATIVA - FARMACIA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Farmácia	QGBT
CNTE032	EN. REATIVA - CANTINA	ISKRA MT851	Farmácia	QGBT
CNTE033	EN REATIVA ANALISADOR 1	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE034	EN REATIVA ANALISADOR 2	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE035	EN REATIVA ANALISADOR 3	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE036	EN REATIVA ANALISADOR 4	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE037	EN REATIVA ANALISADOR 5	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGBT
CNTE038	EN REATIVA PISO 2A -	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.2A
CNTE039	EN REATIVA PISO 3A -	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.3A
CNTE040	EN REATIVA PISO 4A -	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	Q.P.4A
CNTE041	EN REATIVA Q.AC.QOB1	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE042	EN REATIVA Q.P.-1GP	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE043	EN REATIVA QP0-GP1	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE044	EN REATIVA QP0-GP2	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE045	EN REATIVA QP1-GP	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE046	EN REATIVA QP-2GP	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE047	EN REATIVA QAC.AUD.	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE048	EN REATIVA QP.3 A-TEC	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE
CNTE049	EN REATIVA ANALISADOR 9	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	QP1-GP
CNTE050	GABINETE FISCALIZAÇÃO	Contador Virtual		
CNTE051	AR CONDICIONADO EDIFICIO FARMACIA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Farmácia	QGBT
CNTE052	EN ATIVA - FARMACIA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Farmácia	QGBT
CNTE053	EN REATIVA - FARMACIA	Carlo Gavazzi EM21 72D	Farmácia	QGBT
CNTE126	SUB UNIDADE 3	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 3	QGBT
CNTE133	ELEVADOR IBILI/AIBILI	Carlo Gavazzi EM21 72D	Subunidade 1	QGA
CNTE134	BANCO	Carlo Gavazzi EM21 72D	Farmácia	QGBT
CNTE135	GERAL UNIDADE CENTRAL	Carlo Gavazzi EM21 72D	Un. Central	Q.P-1.GE

Tabela 1 – Contadores instalados no Polo III

Na Subunidade 1 estão instalados dez contadores, de forma a ser possível desagregar os consumos que dizem respeito ao IBILI, à AIBILI e às restantes zonas da Subunidade 1. O contador geral CNTE004 tem como cinco subcontadores: CNTE014, CNTE015, CNTE016, CNTE017, CNTE018. Na tabela 2 está descrito o que mede cada contador.

REF. SGE	NOME	LIGADO A
CNTE014	ANALISADOR 1 - IBILI/AIBILI	QGA

CNTE015	ANALISADOR 2 - IBILI/AIBILI	Ventilação
CNTE016	ANALISADOR 3 - IBILI/AIBILI	QST, UTAS, Terraço
CNTE017	ANALISADOR 4 - IBILI/AIBILI	QGAC
CNTE018	ANALISADOR 5 - IBILI/AIBILI	QGB

Tabela 2 – Subcontadores do contador CNTE004

No quadro QGA está ligada toda a parte do edifício usada pelo IBILI e AIBILI. Desta forma o CNTE014 mede todos os consumos do IBILI e AIBILI, e tem quatro subcontadores, que estão especificados na tabela 3.

REF. SGE	NOME
CNTE019	PISO 2A - IBILI/AIBILI
CNTE020	PISO 3A - IBILI/AIBILI
CNTE021	PISO 4A - IBILI/AIBILI
CNTE133	ELEVADOR IBILI/AIBILIAIBILI

Tabela 3 – Subcontadores do contador CNTE014

Estes quatro contadores estão a medir os consumos da AIBILI, resultando assim que os consumos do IBILI são obtidos subtraindo estes quatro contadores ao CNTE014.

Na Unidade Central, edifício usado pela Faculdade de Medicina e pela Faculdade de Farmácia, existem oito subcontadores do contador geral. Estes subcontadores estão indicados na tabela 4. Foi detetada uma avaria no contador geral da Unidade Central CNTE008, o que levou à introdução de um novo contador geral CNTE135 em outubro de 2019.

REF. SGE	NOME
CNTE022	Q. AC. COB1 - UN. CENTRAL
CNTE023	Q.P.-1 GP - UN. CENTRAL PIII
CNTE024	QP0-GP1 - UN. CENTRAL PIII
CNTE025	QP0-GP2 - UN. CENTRAL PIII
CNTE026	QP1-GP - UN. CENTRAL PIII
CNTE027	QP-2GP - UN. CENTRAL PIII
CNTE028	QAC. AUD. - UN. CENTRAL
CNTE029	QP3 A-TEC - UN. CENTRAL

Tabela 4 – Subcontadores do contador CNTE135

No nome de cada contador está indicado o quadro a que este está ligado. O CNTE024 tem como subcontador o CNTE030, que está a medir os consumos relativos à zona do edifício ocupada pela Faculdade de Farmácia, permitindo desta forma a desagregação dos consumos das duas Faculdades.

Já tinham sido identificados erros de medição no contador geral da Unidade Central CNTE008 e, em consequência, os consumos de energia deste edifício estavam a ser calculados pelo SGESA através da soma de todos os contadores parciais existentes

neste edifício. Inicialmente, para este trabalho foi adotada a mesma estratégia. No entanto, depois de implementado um novo contador geral em outubro de 2019, foi verificado através de análise dos dados de energia consumida durante o mês de novembro que os valores do novo contador geral e da soma dos parciais não coincidiam, como inicialmente se pensava. Esta discrepância de valores foi reportada ao Eng. Filipe Cordeiro do SGESA, o que levou a que fosse posteriormente verificado que não estavam a ser monitorizados pelos contadores parciais um quadro de AVAC, um quadro de emergência e um quadro de iluminação.

O contador CNTE007 e o CNTE052, são ambos contadores gerais da Faculdade de Farmácia. No entanto, apenas o CNTE007 apresenta valores corretos.

Na biblioteca, o contador CNTE006 e o CNTE013, que seria apenas para o Piso 0, estão a medir consumos semelhantes.

3.3.2 Hardware

Nesta secção são descritos componentes do sistema de monitorização, como contadores e transformadores de correntes, com algumas das suas características.

Carlo Gavazzi EM21-72D

O contador de energia Carlo Gavazzi EM21-72D surgiu no mercado em 2008. Dispõe de um ecrã LCD amovível, permite fazer leituras e programar o aparelho. Não só regista os consumos de energia ativa e reativa, também indica valores instantâneos como a potência ativa e reativa, o fator de potência, a frequência, sequência de fases, tensões simples e compostas, correntes e fator de distorção harmónica para os sinais de correntes e tensão. Pode assim funcionar como contador ou analisador de energia. As medições de corrente têm de ser feitas com um TI externo, enquanto os valores de tensão podem ser medidos diretamente. Este contador tem duas saídas RS485, e utiliza o protocolo de comunicação MODBUS/JBUS. No que diz respeito à precisão, é classificado como Classe B segundo a norma EN50470-3, o que corresponde a uma precisão de 1%. Os impulsos gerados por este contador podem ser programados para ocorrer para valores entre 0.01 kWh e 9.99 kWh, designando-se este valor “constante do contador”. [14]



Figura 4 – Carlo Gavazzi EM21-72d

Janz A1700

Tal como o Carlo Gavazzi EM21-72D, também pode funcionar como contador e como analisador. Tem uma porta RS232 e RS485, podendo também a comunicação ser feita através de modem via PSTN (Sistema Público de Comutação Telefónica) e também GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis). Capacidade de memória para dados de 450 dias. É necessário a ligação a transformadores de medida. [15]



Figura 5 – JANZ A1700

Landis Gyr+ E650

Este contador pode ser usado em baixa ou média tensão. Tem transformadores de intensidade e de tensão incorporados, não necessita estar ligado a sensores externos. Pode comunicar por Power Line Carrier ou P2P. No primeiro caso usa tecnologia G3-PLC e, no segundo caso, tecnologia 2G/GPRS, 2G/4G. [16]



Figura 6 – Landis Gyr+ E650

ISKRA MT851

Tem capacidade de memória para guardar até 84 dias de consumos, com registos a cada quarto de hora. Permite medição direta ou através de transformadores externos. Pode ser ligado a um modem PSTN, ISDN ou GSM. [17]



Figura 7 – ISKRA MT851

ACTARIS SL7000

Este contador também apresenta a possibilidade de medição direta. Tem Classe de precisão 1 segundo a norma IEC 61036. Permite fazer o registo de várias tarifas de energia. As comunicações podem ser efetuadas através de RS232, RS485 ou porta IR para infravermelhos. [18]



Figura 8 – ACTARIS SL7000

Omron CP1L

Autómato concentrador, recolhe a informação de todos os contadores do sistema e comunica com o servidor. Possui uma porta Ethernet para ligação a uma rede local. Tem também a opção de incluir portas de comunicação RS232 ou RS485. [19]



Figura 9 – Omron CP1L

Carlo Gavazzi CTD-2X

Transformador de corrente de núcleo aberto, o que permite fazer medições num quadro elétrico sem ser necessário interromper o circuito. Um TI desta gama é usado para correntes no enrolamento primário entre os 40 e os 600 A. As correntes do secundário podem ter valores de 1 ou 5 A. Dentro destes intervalos de valores, existem vários modelos com diferentes razões de transformação. São fabricados segundo a norma EN 61869-2. [20]



Figura 10 – Carlo Gavazzi CTD-2X

3.3.3 SGE Análise

Este *software* tem como base modelos de dados OLAP (On-line Analytical Processing). Isto significa que a informação é armazenada em cubos de dados multidimensionais, permitindo uma análise de várias perspetivas. A vista inicial deste *software* está exposta na figura 11. [21]

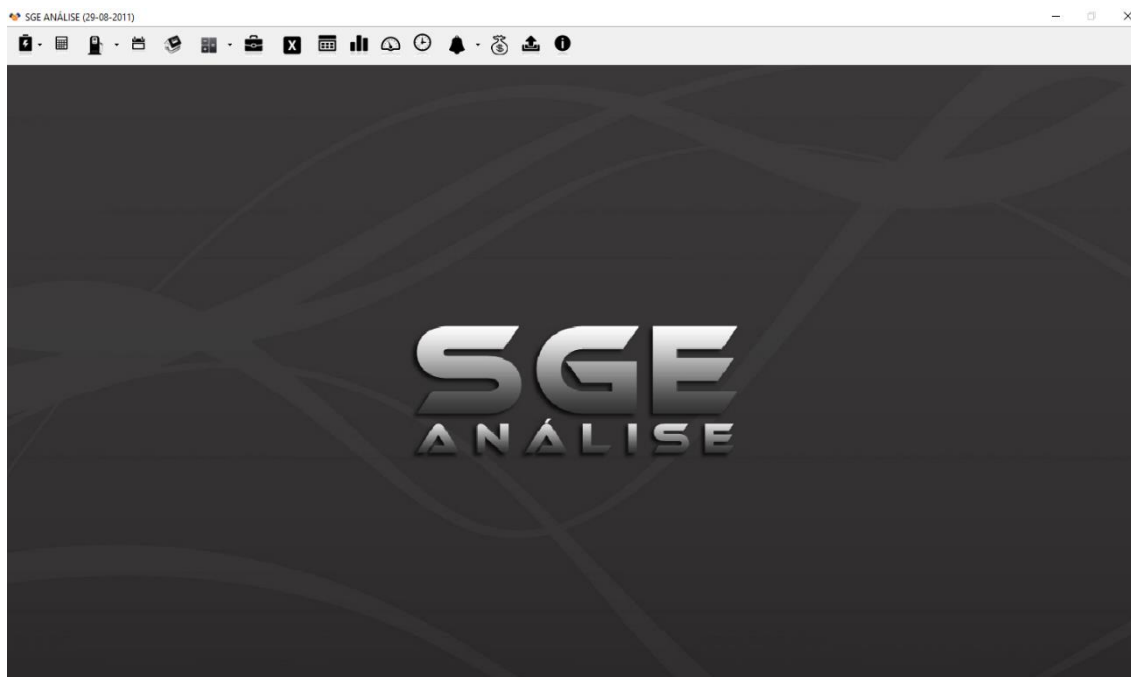


Figura 11 – Vista inicial SGE Análise

Para a navegação no SGE Análise, estão incluídas na barra de tarefas as seguintes opções:

Contadores de Energia Elétrica

Aqui podem ser consultados os consumos de energia de todos os contadores, tendo o utilizador de seleccionar se pretende valores de 15 min ou 1 dia e, de seguida, definir o período de consumos que deseja consultar. O utilizador dispõe de uma lista de campos para seleccionar a informação a incluir na tabela, tais como consumos por posto horário, custos associados conforme as tarifas definidas no *software*, data e hora, entre outros.

O *software* permite exportar os dados para ficheiros Excel, HTML, Word ou XML, para ficarem guardados em ficheiros externos.

Há um erro nos contadores de energia reativa: a unidade de energia destes contadores aparece expressa em kWh em vez de kVarh. Embora exista um menu designado “Editar Medições”, onde é possível alterar a designação, verifica-se que depois de fechar o separador com os dados do contador e voltar a abrir, a unidade volta a ficar em kWh.

Em caso de falha de aquisição de dados, só é possível identificar que a falha aconteceu procurando por uma lacuna nos dados que nem sempre é fácil de encontrar. Seria útil que estas situações ficassem registadas de alguma forma, ou a tabela ficasse

preenchida com zeros nos períodos onde faltam valores ou mesmo a indicação de que há dados em falta.

Comparação dos Contadores de Energia Elétrica

De todos os contadores instalados no sistema podem ser selecionados apenas alguns para comparação, e também pode ser feita a soma ou subtração dos consumos desses contadores. É possível o utilizador guardar esquemas com alguns dos contadores pretendidos, de forma a não ser necessário selecionar sempre os mesmos contadores de todas as vezes que é necessário fazer uma comparação entre eles.

Contadores de energia não elétrica

Contadores de outras grandezas físicas podem também ser inseridos no SGE Análise de forma semelhante aos contadores de energia elétrica. Estão no *software* vários contadores de água e gás do Polo III, como pode ser visto na figura 12, não sendo, no entanto possível aceder aos dados destes contadores, dado que surge sempre uma mensagem de erro.

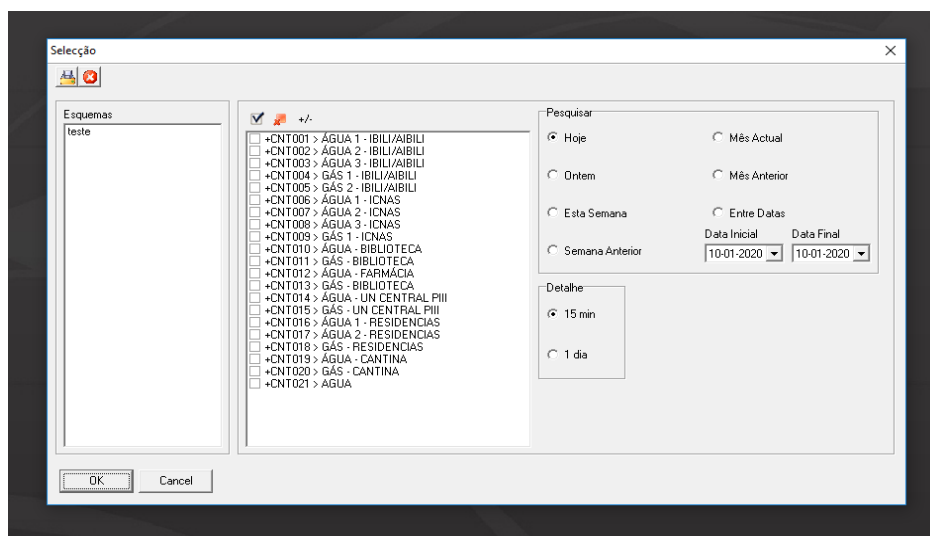


Figura 12 – Contadores de água e gás

Comparação dos Contadores de Energia Não Elétrica

Esta funcionalidade é análoga à da comparação de contadores de energia elétrica.

Analísadores

O utilizador pode consultar as variáveis medidas por cada analisador, como tensão, corrente e energia por fase, energia total, fator de potência, frequência e distorção

harmónica de tensão e corrente. Contudo, com os analisadores colocados no Polo III, a distorção harmónica não está a ser calculada.

Podem ser consultados valores de 15 em 15 min mas, para cada variável, são mostrados aos utilizador valores “totais” calculados através da soma de todos os valores adquiridos, o que, para as variáveis em questão, com exceção da energia, corresponde a valores que não fazem sentido, como se ilustra na figura 13.

PF sys	HZ	THD_U_L1
2 828,67	148 859,00	0,00

Figura 13 – Valores totais sem sentido mostrados para os analisadores

No menu, Editar Medições, existe a opção de desativar a soma destas variáveis. Mas, assim como acontece no exemplo das unidades de energia reativa exposto anteriormente, quando é fechado o separador com os dados dos analisadores as alterações feitas no menu Editar Medições não ficam guardadas. A figura 14 mostra o menu Editar Medições.

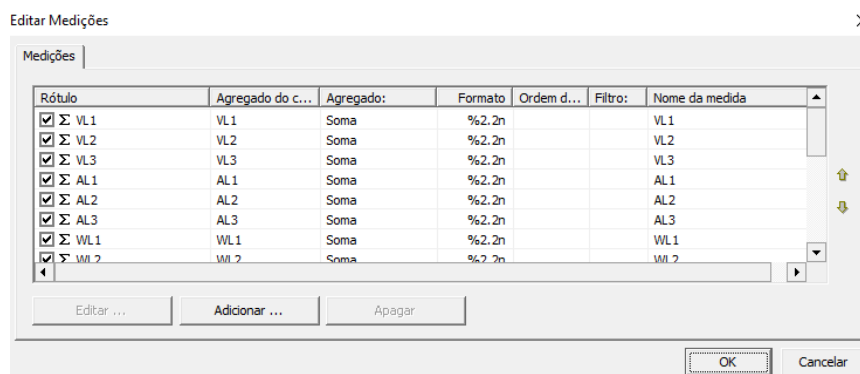


Figura 14 – Menu Editar Medições

Variáveis Externas

Podem também ser consultados dados de sensores de temperatura, humidade e luminosidade que existem no Polo III, como exemplificado na figura 15.

Lista de campos		SOMA (3)		
Data Hora	TEMPERATURA (°C)	HUMIDADE(%)	LUMINOSIDADE(Lux)	
00:14 10-01-2020	9,10	94,30	259,00	
00:29 10-01-2020	9,00	94,40	259,00	
00:44 10-01-2020	8,70	94,30	260,00	
00:59 10-01-2020	8,70	94,40	259,00	
01:14 10-01-2020	8,70	94,60	259,00	
01:29 10-01-2020	8,30	94,30	259,00	

Figura 15 – Variáveis externas

Assim como nas variáveis dos analisadores, o *software* também soma desadequadamente os valores de temperatura, humidade e luminosidade.

Todos os Contadores

Nesta opção o utilizador pode aceder a todos os contadores configurados no SGE Análise, sejam contadores elétricos ou não elétricos.

Virtuais/KPIs

Nesta secção é possível calcular indicadores de desempenho. À data de escrita deste documento esta secção encontra-se vazia.

Resumo

Mostra os consumos registados pelos contadores pretendidos, por ciclo horário.

Gráficos

Nesta secção é possível ver os diagramas de carga para qualquer contador na data selecionada pelo utilizador. São sempre apresentados 35 gráficos em matriz, sendo uma coluna para cada dia da semana, com cinco linhas correspondentes a cinco semanas. O dia indicado pelo utilizador aparece na linha de cima, determinando a primeira semana da matriz mostrada. A primeira coluna da matriz corresponde às segundas-feiras, a segunda às terças-feiras, e assim sucessivamente. Nas linhas restantes são mostradas as quatro semanas seguintes, como é possível ver na figura 16.



Figura 16 – Diagramas de carga

Os diagramas podem ser vistos individualmente fazendo duplo clique sobre eles. Na figura 17 estão ilustrados os gráficos com consumos desagregados por posto horário e os custos associados.

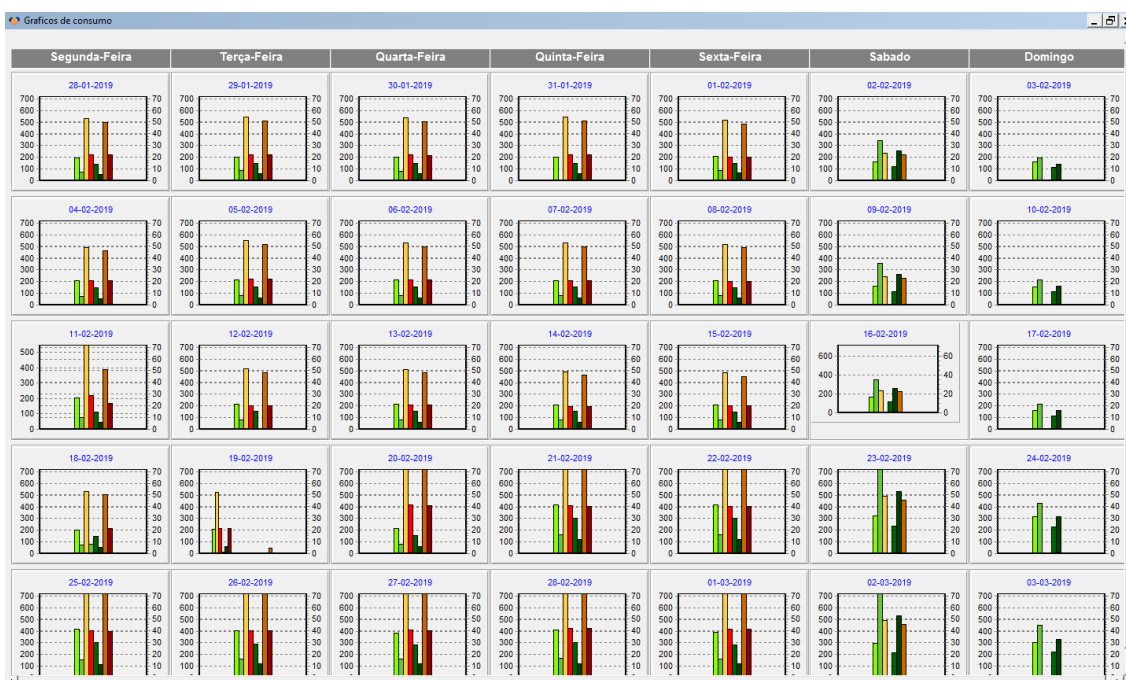


Figura 17 – Gráficos de consumo por ciclo horário

Cálculo dos Períodos Elétricos

A informação aqui apresentada diz respeito à desagregação de consumos por períodos horários, sendo apenas os consumos medidos pelo contador geral do sistema. Na figura 18 está ilustrada a janela onde é mostrada a informação. As unidades de energia deveriam ser apresentadas como kWh e não Kwh. A utilização da expressão “períodos elétricos” está desadequada da terminologia consagrada no regulamento tarifário.

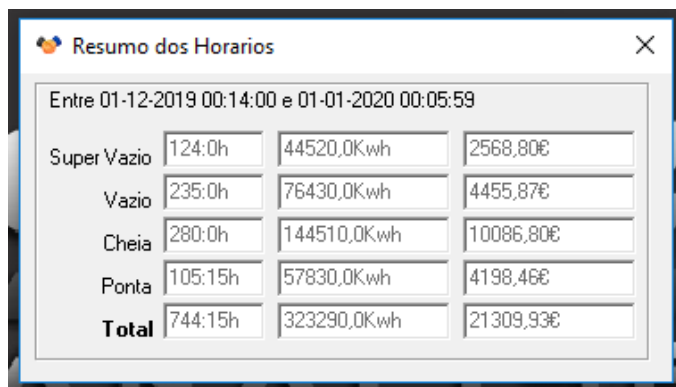


Figura 18 – Desagregação de consumos do contador geral

Alarmes

Registo de falhas de comunicação do sistema com o servidor.

Recalcular Custos

Esta opção serve para atualizar as tarifas de energia e de acesso às redes na base de dados.

Relatório XLS

Exporta para Excel um relatório com os consumos registados pelo contador geral.

3.3.4 SGE Web

Para consultas remotas dos consumos de energia do Polo III, existe a opção de acesso ao SGE Web através de um *web browser*. Depois de efetuado o *login* a página inicial é como é apresentada na figura 19.

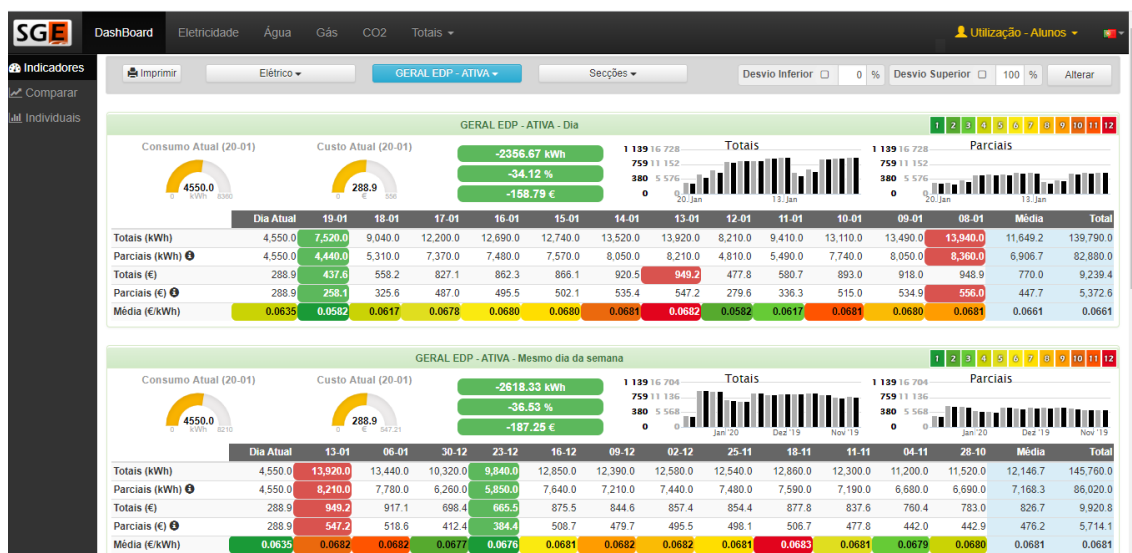


Figura 19 – Página inicial SGE Web

No menu lateral existem três opções: Indicadores, Comparar e Individuais. No menu superior a divisão é feita em Dashboard, Eletricidade, Água, Gás, CO₂ e Totais. Assim como no SGE Análise só os contadores de energia elétrica estão a funcionar.

Indicadores

Nesta secção pode ser feita uma comparação entre os consumos atuais de cada contador e os consumos noutros dias ou até uma média. A página fica dividida em quatro zonas, estando ilustradas na figura 19 as duas primeiras, uma com o título “Dia” e outra “Mesmo dia da semana”. Na primeira é possível comparar a energia consumida no dia atual com os dias anteriores, assim como os custos com base nas tarifas definidas na base de dados (que não se encontram atualizadas). Na segunda, com o nome “Mesmo dia da

semana”, a comparação é feita para dias homólogos. Da mesma forma, há ainda uma comparação entre semanas e meses. Dado que a organização é sempre a mesma independentemente dos períodos de análise, serão usados os indicadores do separador “Dia” como exemplo.

O gráfico “Consumo Atual” mostra a diferença entre a energia consumida no dia atual e o consumo máximo registado nos 12 dias anteriores.

A tabela abaixo indica a energia consumida e os custos para cada um dos dias, mostrando na linha “Totais (kWh)” a energia consumida durante o dia todo e, na linha “Parciais (kWh)”, a energia que foi consumida noutros dias até à hora atual. A última linha tem valores médios do custo de cada kWh, com um esquema de cores, em que verde é a média mais baixa e vermelho a média mais alta.

Nas três barras horizontais, a primeira mostra a diferença entre o consumo atual e a média dos parciais, sendo a barra colorida de vermelho se o consumo for superior à média e de verde se for inferior. A segunda barra é a diferença em valores percentuais. A terceira barra é a diferença entre o custo calculado da energia consumida e o custo médio.

Para seleção dos contadores a analisar, estes estão separados em duas listas, uma com o nome Elétrico e a outra com o nome Elétrica, sem um motivo aparente para esta distinção.

Seja qual for o contador selecionado, na barra verde com o título lê-se sempre “GERAL EDP – ATIVA – Dia”, não sendo atualizado com o nome do contador selecionado. Da mesma forma, nas outras barras lê-se “GERAL EDP – ATIVA – Dia da semana”, “GERAL EDP – ATIVA – Semana” e “GERAL EDP – ATIVA – Mês”.

Comparar

Esta opção no menu lateral permite comparar o consumo e custos de dois ou mais contadores. A informação é exposta como ilustrado na figura 20.

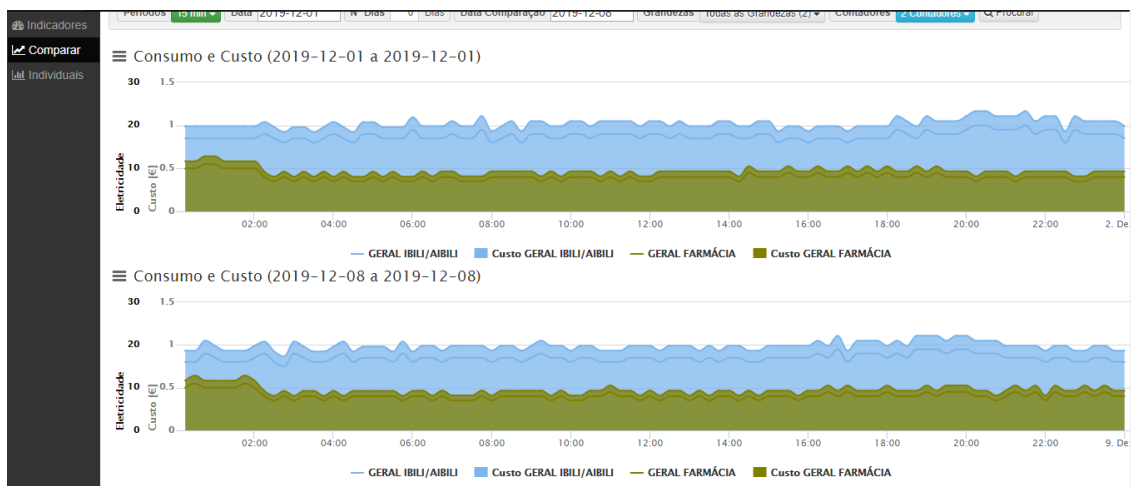


Figura 20 – Separador Comparar

A página é dividida entre o consumo de dois dias. Os diferentes contadores são apresentados com cores diferentes. Com base na legenda, o gráfico em linha diz respeito a energia e o gráfico preenchido ao custo - talvez fosse mais intuitivo se fosse ao contrário.

Os eixos das ordenadas estão legendados como Custo [€] e Eletricidade, o que é uma legenda pouco precisa. Os gráficos mostram valores de energia elétrica consumida por cada 15 min, em kWh.

Individuais

Aqui é feita a consulta dos diagramas de carga de todos os contadores, mostrando os diagramas de cinco semanas, como é possível ver na figura 21.

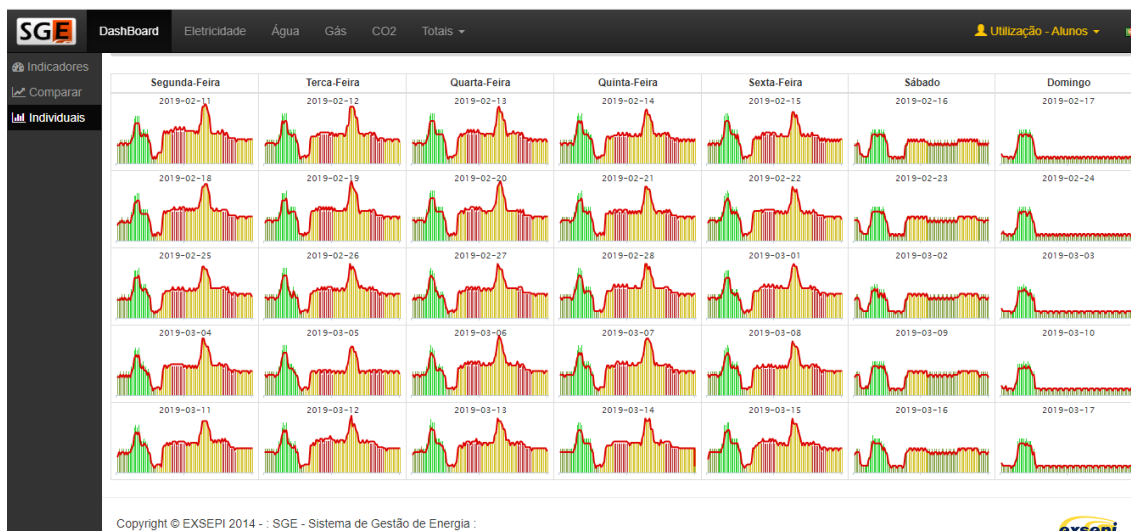


Figura 21– Separador Individuais

Quando é feito um clique sobre um gráfico para abrir separadamente, a página fica a carregar e não chega a abrir o gráfico.

Eletricidade

Este separador permite aceder aos consumos de energia elétrica de qualquer contador. Pode ver-se um exemplo na figura 22. Os diagramas representam consumos de 15 minutos, em kWh. No entanto, na legenda do eixo das ordenadas as unidades são erradamente de potência (kW), tal como na tabela inferior. Nesta tabela a ponta máxima é corretamente quantificada mas os valores do gráfico, por serem consumos de 15 minutos em vez de valores de potência média de 15 minutos, não permitem reconhecer a ponta de forma direta nem, naturalmente, a potência pedida à rede.

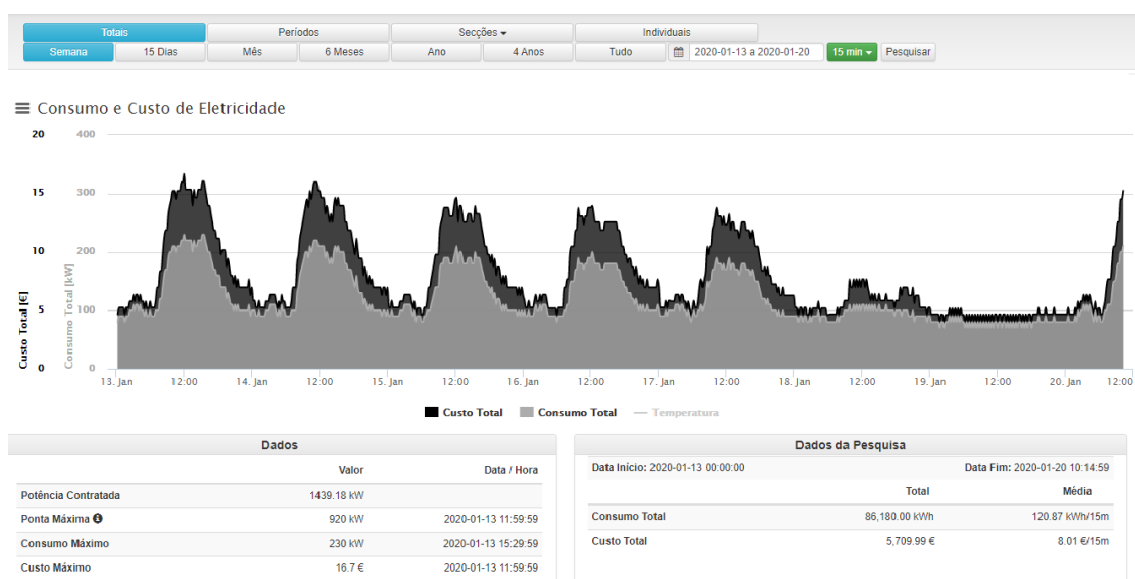
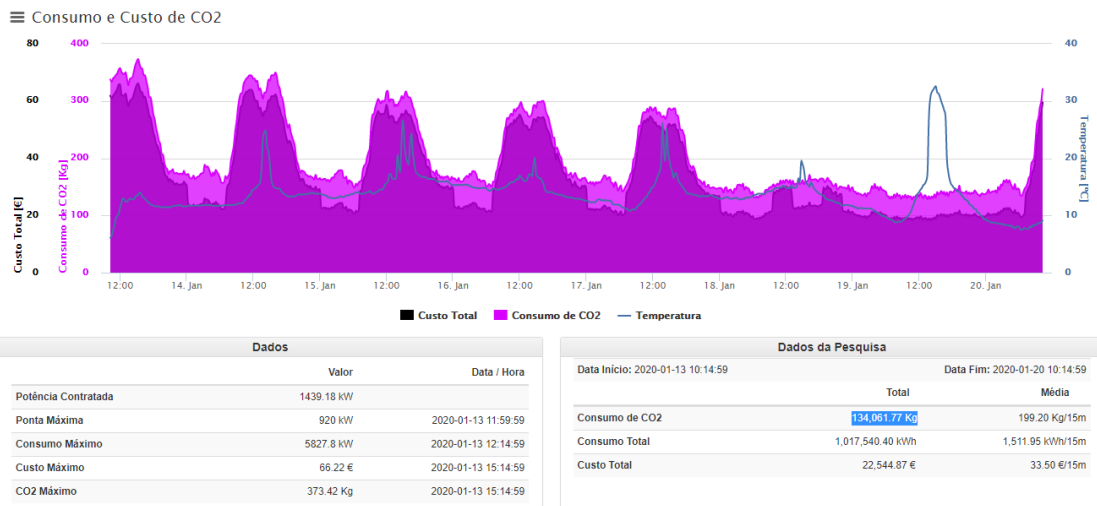


Figura 22 – Separador Eletricidade

CO₂

Este separador tem como objetivo mostrar informação relativa às emissões de CO₂ associadas à energia consumida. Como pode ver-se na figura 23, a informação está descrita como consumo e custo de CO₂ de forma incorreta. Por outro lado, associando o valor máximo (de 15 minutos) das emissões de CO₂ (373,42kg) ao valor do consumo máximo, 230 kWh, conclui-se que o fator de conversão é de 1623,5g de CO₂ por cada kWh, valor manifestamente superior mesmo à emissão de CO₂ por cada kWh produzido numa central a carvão. Ora, o sistema eletroprodutor português produz, já hoje, eletricidade de origem maioritariamente renovável, o que torna aquele fator de conversão inverosímil.



Copyright © EXSEPI 2014 - : SGE - Sistema de Gestão de Energia :

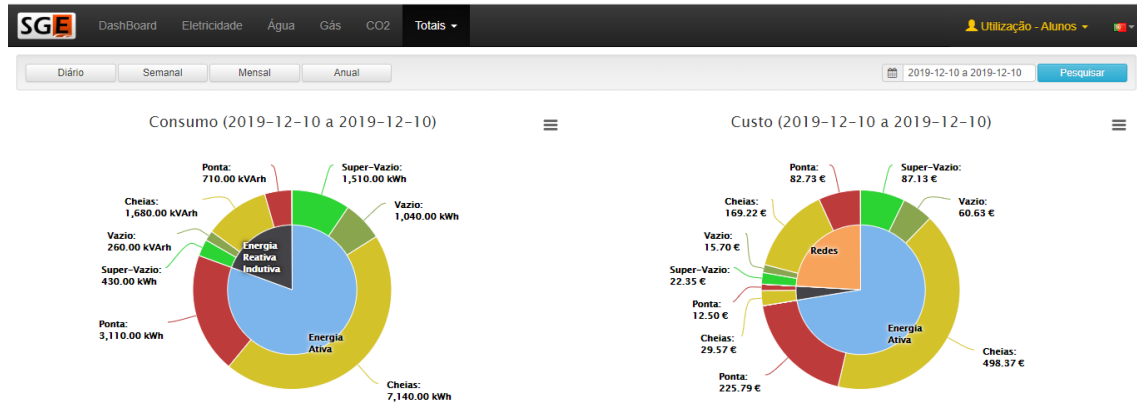


Figura 23 – Separador CO₂

Vê-se também um gráfico da temperatura, que deveria ser de valores da temperatura ambiente, o que não acontece, dado que os valores variam mais de 20°C num único dia. As cores dos outros gráficos não estão de acordo com a legenda.

Totais

Separador onde são apresentados os consumos de energia ativa e reativa desagregados por posto horário, da forma ilustrada na figura 24.



Copyright © EXSEPI 2014 - : SGE - Sistema de Gestão de Energia :



Figura 24 – Separador Totais

4. Caracterização de consumos

4.1 Perfis de consumo

Para a identificação de perfis de consumo típicos relativos ao Polo III e aos edifícios que o compõem, foram utilizados métodos de *clustering*, nomeadamente o algoritmo *K-means*, e o MATLAB como ferramenta de trabalho. Na biblioteca de funções do MATLAB já existe uma função com o algoritmo *K-means* implementado. O *script* do MATLAB usado para este trabalho pode ser consultado em anexo.

Com os dados guardados em Excel, depois de selecionado o conjunto de dados a analisar, estes são importados para o MATLAB na forma de um vetor. O MATLAB faz a divisão dos dados por dias, criando uma matriz $N \times M$, onde N é o número de dias e M o número de amostras por dia. Neste caso M é igual a 96, porque estão a ser usados valores de potência média para cada quarto de hora. Assim, em cada linha da matriz temos uma série temporal que corresponde a um dia.

A função *K-means* tem com parâmetros de entrada a matriz com as séries temporais que se pretende agrupar, e o número de *clusters* em que devem ser divididas. Como o número de *clusters* é pré-definido, e não se sabe qual o número de *clusters* ideal, foi necessário correr o *script* do MATLAB várias vezes e ir alterando o número de *clusters* conforme pareceu adequado. Por exemplo, fazendo uma primeira tentativa com três *clusters*, caso se verifique a ocorrência de intrusos em algum dos *clusters*, o número de *clusters* pode ser aumentado numa segunda tentativa, e continuar a fazê-lo até cada *cluster* conter apenas dados semelhantes. Durante este trabalho foram encontrados dias atípicos, assim como dias em que houve problemas de aquisição de dados por parte do sistema de monitorização do Polo III, e nestas situações, aumentar o número de *clusters* serviu para isolar estes dias dos restantes.

Como parâmetros de saída da função *K-means*, temos os valores médios de cada *cluster* e um vetor que contém o número do *cluster* a que corresponde cada linha da matriz inicial. No caso deste trabalho, os vetores com os valores médios de cada *cluster* foram usados para identificar os perfis de carga.

Na figura 25 está ilustrado um exemplo, de diagramas de carga agrupados num *cluster* e os centroides desse *cluster*.

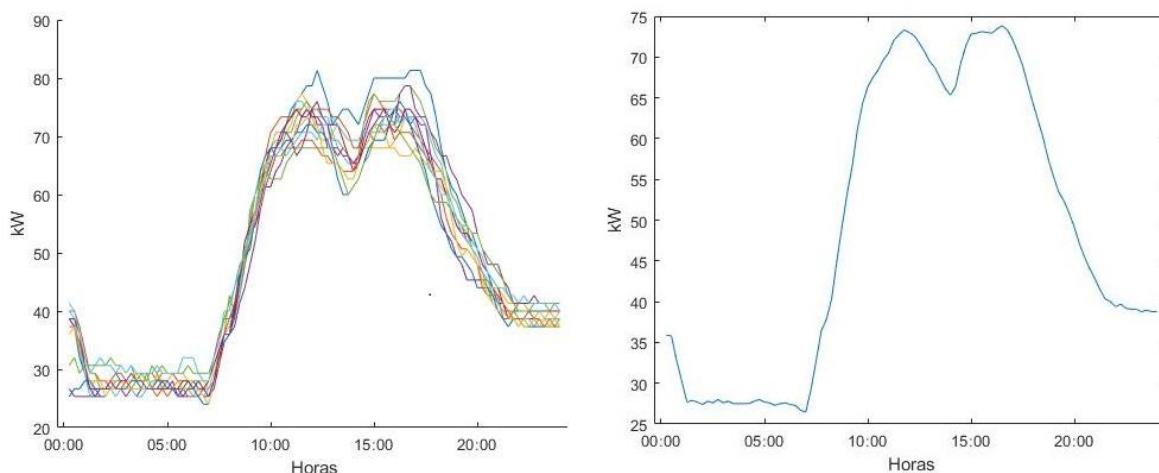


Figura 25 – Exemplo de *cluster* e respetivos centroides

No início do trabalho, foi constatado que os contadores instalados no Polo III estavam programados com uma constante de contador desadequada, o que afeta a resolução dos diagramas de carga. Por exemplo, com uma constante do contador de 1 kWh, se num intervalo de tempo de 15 min só for consumido 0,9 kWh só vai ser registado no intervalo de 15 min seguinte quando for atingido 1 kWh. De forma a filtrar efeito da baixa resolução foi usada uma média móvel de três valores em todos os diagramas. Na figura seguinte é possível ver o resultado deste filtro.

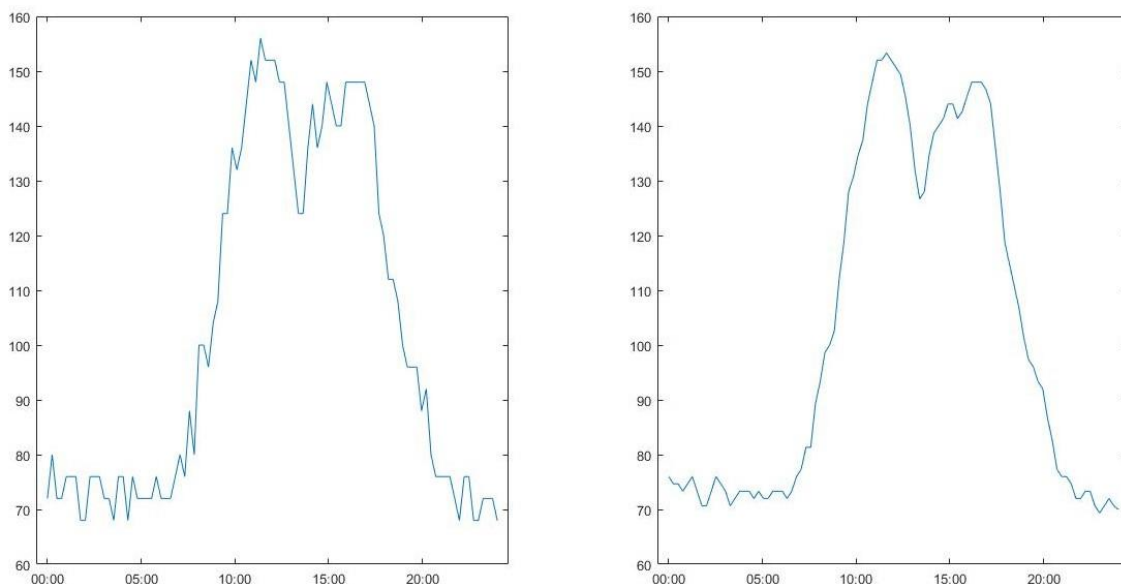


Figura 26 – À esquerda diagrama original e à direita diagrama obtido com média móvel

Os dados de consumos de energia usados dizem respeito aos anos de 2017 e 2018. Foi detetado que no início do ano 2019 alguns valores deixaram de ser adquiridos pelo

sistema de monitorização. Esse problema só foi resolvido no final de outubro, com uma intervenção feita pela empresa responsável pelo desenvolvimento do sistema.

A Subunidade 3 esteve inicialmente sem monitorização, tendo sido introduzido um contador geral deste edifício no sistema de monitorização apenas a 21 de dezembro de 2017. Assim, só há dados relativos a este edifício a partir dessa data.

O contador que fazia a leitura geral da Unidade Central já não funcionava corretamente antes de 2019. Como existem vários contadores parciais neste edifício, para este trabalho foi usada a soma de todos os parciais para substituir o contador geral. No entanto, depois da intervenção acima referida, e com um novo contador geral na Unidade Central, verificou-se que a soma dos contadores parciais não coincidia com os valores do novo contador geral, quando foram comparados os valores registados durante o mês de novembro, o que permitiu concluir que os contadores parciais não abrangiam todos os quadros elétricos do edifício. Por esta razão, os perfis de consumo deste edifício não foram aqui incluídos. Não foi detetado nenhum problema com os outros contadores usados, no entanto o contador geral do ICNAS esteve desligado vários meses durante o ano de 2019.

Para garantir uma melhor legibilidade, a ordenada na origem e a amplitude da escala do eixo das ordenadas não são sempre as mesmas nos diagramas aqui apresentados.

4.1.1 Subunidade 1

O edifício que pertence à Faculdade de Medicina, a Subunidade 1, apresenta em dias úteis o comportamento ilustrado na figura 27.

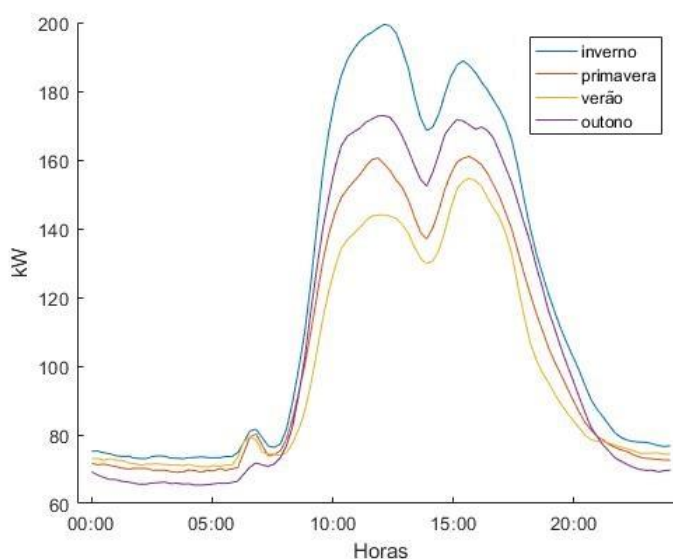


Figura 27 – Perfil de consumo da Subunidade 1 em dias úteis

Estes diagramas são típicos de um edifício de serviços. Em funcionamento das 08h até às 20h, é visível uma depressão em torno das 14h, que coincide com o horário de almoço.

Antes de iniciar a atividade normal do edifício, há um aumento de 10 kW entre as 06:30h e as 07:30h. O facto de acontecer todos os dias indica que há uma carga que está programada para funcionar neste horário. É possivelmente uma forma de evitar que esta carga contribua para um aumento da ponta máxima, que possivelmente aconteceria se esta carga fosse ligada durante o horário laboral.

A base do diagrama situa-se habitualmente entre os 65 e os 75 kW durante o ano todo.

Como não é um edifício apenas dedicado ao ensino, visto que aqui se encontram o IBILI e a AIBILI, há atividade o ano todo. Nos meses de inverno são registadas as potências mais elevadas. Durante o verão a ponta máxima do diagrama acontece, tendencialmente durante o período da tarde, enquanto nos meses de inverno a ponta é normalmente atingida durante a manhã. O diagrama médio apresentado na figura 28 para dias de verão é representativo do período de férias escolares. Nos últimos dias de junho e nos primeiros dias de julho, assim como no final de setembro o consumo de energia é mais elevado.

O perfil de consumo típico de um dia de fim de semana está representado na figura 28.

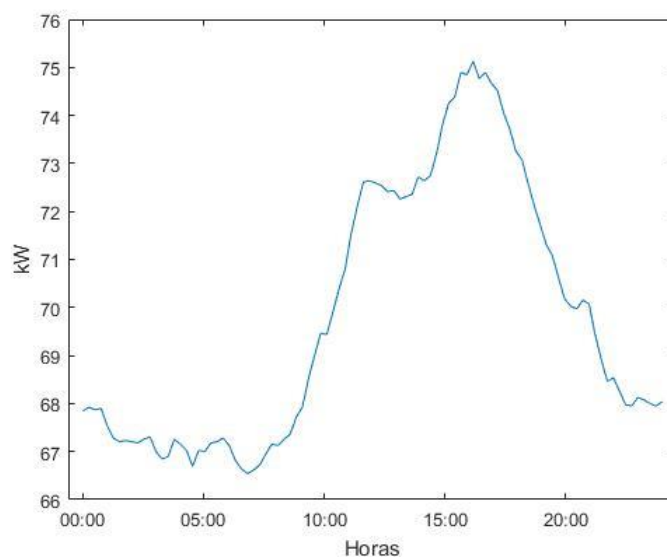


Figura 28 – Perfil de consumo da Subunidade 1 em dias de fim de semana

Os dois dias de fim de semana, assim como os feriados, evidenciam um consumo de energia semelhante. Não é comum a ponta máxima ser superior a 80 kW e acontece

durante a tarde, depois das 15h. O pico que existe diariamente antes do horário laboral em dias da semana, já não se verifica ao fim de semana.

4.1.2 Subunidade 3

Os dias úteis neste edifício podem ser representados por dois padrões típicos, para duas alturas do ano. A figura 29 é representativa dos dias de novembro a abril.

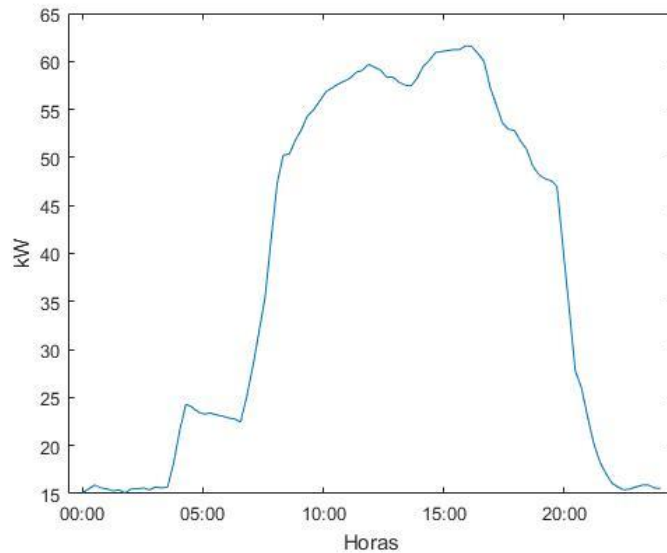


Figura 29 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias úteis, meses mais frios

A ponta máxima de um dia de funcionamento regular neste edifício, nesta altura do ano, anda em valores próximos dos 60 kW. Com a base do diagrama nos 15 kW, às 04h há um aumento de 10 kW na potência pedida à rede, e volta a subir quando começa o horário de trabalho.

Este edifício tem instalado um sistema de gestão técnica, que atua às 04h, e controla uma grande parte das cargas ligadas das 08h às 20h. Uma ideia do impacto do SGT no consumo diário pode ser clarificada pelo diagrama de carga comum de um feriado, que pode ser consultado na figura 30. É um diagrama que coincide com um diagrama de dias em que o edifício não é ocupado, como o dia de Natal. Mesmo nestes dias já se encontra um aumento de potência às 04h. O declive da curva às 20h parece evidenciar que as cargas ligadas até essa hora são desligadas pelo SGT. Esta situação apresenta um potencial para poupança de energia, evitando que o SGT atue desta forma em dias em que o edifício se encontra fechado, e que estará a gastar energia desnecessariamente.

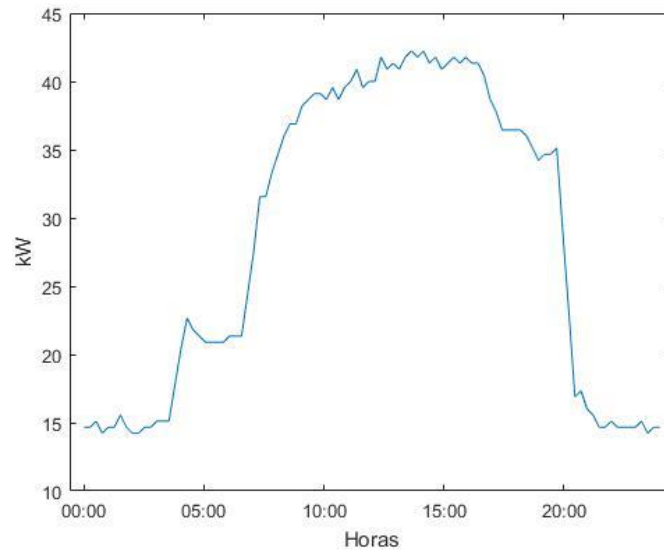


Figura 30 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias de feriado

Ainda relativamente aos dias úteis, tipicamente de maio a outubro identifica-se no diagrama o comportamento de um *chiller* a funcionar para climatizar o edifício. O perfil típico destes dias corresponde ao mostrado na figura 31.

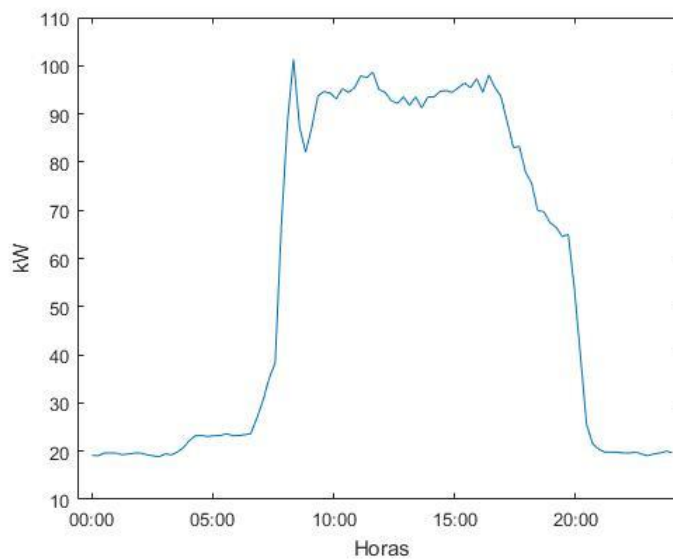


Figura 31 – Perfil de consumo da Subunidade 3 em dias úteis, meses mais quentes

Nestes meses a ponta máxima atingida é superior à dos restantes meses, e ocorre mais frequentemente de manhã, às 08h que coincide com o primeiro arranque do *chiller*. Depois do arranque a potência do *chiller* diminui. Está aqui exposta a situação em que o *chiller* funciona apenas em horário laboral, uma vez que é o caso mais comum, mas nem sempre o *chiller* funciona de forma regular, ficando algumas vezes ligado o dia todo, inclusive aos fins de semana. Na figura 32 pode ver-se um dia típico de sábado.

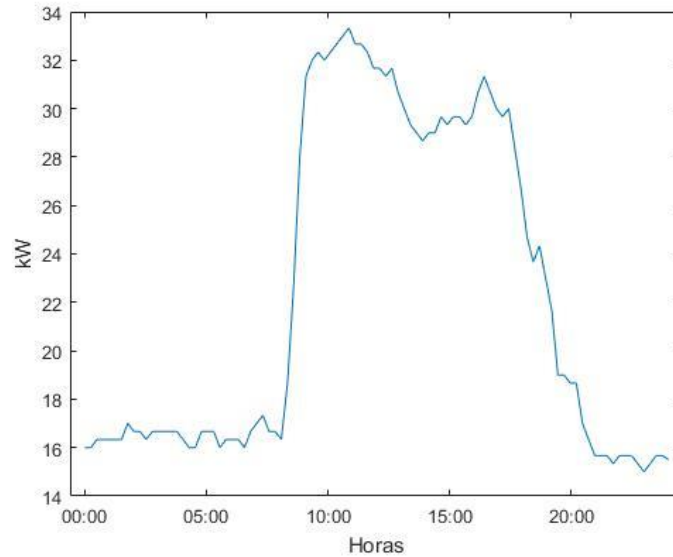


Figura 32 – Perfil de consumo da Subunidade 3 ao sábado

Dias regulares de sábado têm diagramas de carga muito próximos, registrando a ponta máxima sempre valores próximos de 30 kW. A semelhança entre os dias de sábado sugere que uma grande parte do consumo de energia nestes dias é controlada pelo SGT. Este funcionamento pode ser desadequado à utilização do edifício e haver energia elétrica a ser consumida desnecessariamente.

Ao domingo a potência pedida à rede anda sempre próxima dos 16 kW.

4.1.3 Faculdade de Farmácia

Os perfis de consumo obtidos para a Faculdade de Farmácia, em dias úteis, são os seguintes.

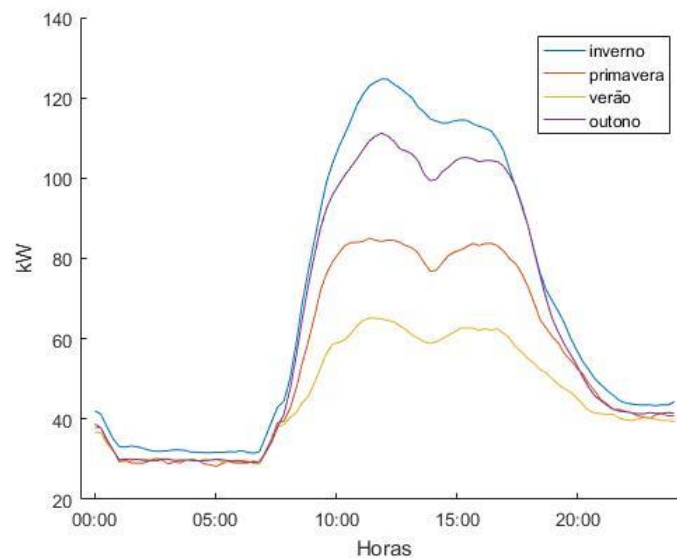


Figura 33 – Perfil de consumo da Faculdade de Farmácia em dias úteis

Verifica-se que a ponta do diagrama acontece tendencialmente de manhã, entre as 11 e as 12 horas.

O vazio dos diagramas acontece entre a 02h e as 07h, registando a potência, neste período, valores próximos dos 30 kW. O diagrama de carga no verão é próximo do retratado na figura 33, exceto nos dias em que o ar condicionado é ligado. No mês de agosto verificam-se valores de potência mais baixos, inclusive o edifício estará fechado alguns dias.

Este edifício tem instalado um sistema de gestão técnica para controlo de algumas cargas, entre as quais a iluminação. Entre as 21h e a 02h, a potência mantém-se relativamente constante, e depois há um decréscimo de aproximadamente 10 kW, descrevendo este consumo ser relativo à iluminação do edifício que está ligada até a 02h. Este horário parece ser desadequado para a iluminação do edifício, podendo ser encontradas oportunidades para reduzir o consumo de energia, mesmo com a opção de desligar apenas parcialmente alguns pontos de iluminação. Como ao domingo não se verifica esta situação, o diagrama de carga a cada segunda-feira começa com uma potência inferior à dos restantes dias, e não há uma descida quando o relógio marca 02h.

Relativamente aos sábados, há dois perfis típicos, ambos ilustrados na figura seguinte.

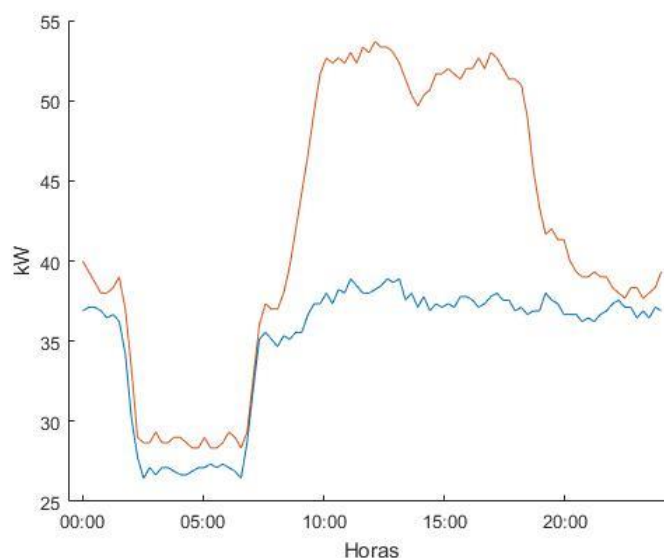


Figura 34 – Perfil de consumo da Faculdade de Farmácia ao sábado

No início da madrugada aos sábados, acontece o mesmo decréscimo de potência próximo dos 10 kW verificado para os dias da semana. Às 07h a potência volta a subir, hora em que o sistema de gestão técnica deverá atuar, pois verifica-se a mesma situação em dias úteis.

Na situação da curva a vermelho, há claramente ocupação do edifício, identificando-se inclusive o horário de almoço.

Na situação da curva a azul, a potência é mais constante ao longo do dia, o que sugere que pode não haver ocupação do edifício neste dias e que o sistema de gestão técnica está a ligar cargas desnecessárias. Se se confirmar que diz respeito à iluminação, o funcionamento das 07h até a 01h, incluindo sábados em que o edifício não é ocupado, indica a possibilidade de poupança de energia se este comportamento for alterado. Esta situação também se verifica em feriados, mesmo alterando a estratégia de controlo para um dia de sábado, pode não ser simples replicá-la para um feriado. No sistema de gestão técnica pode não ser capaz de reconhecer um dia em que é feriado, no entanto pode haver alguém responsável por fazer essa alteração da parametrização do SGT. Em dias em que este edifício está desocupado, este consumo próximo dos 10 kW durante 19 horas, representa um gasto energético de 190 kWh desnecessário.

O diagrama de carga comum de um domingo está representado na próxima figura.

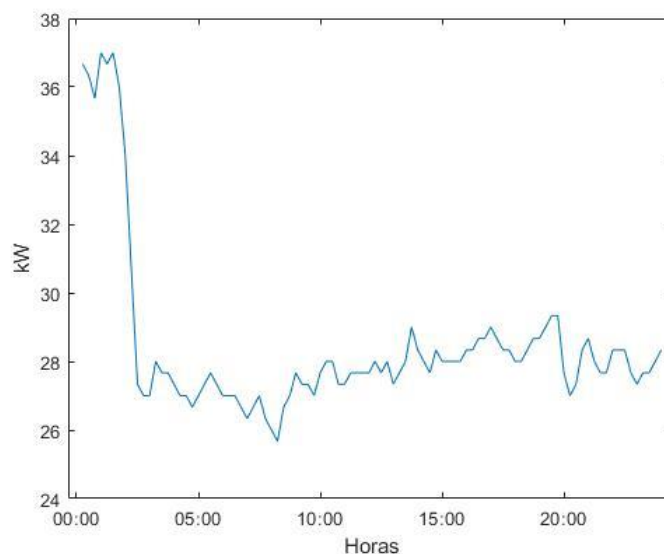


Figura 35 – Perfil de consumo ao domingo

Nos domingos o edifício da Faculdade de Farmácia encontra-se fechado. O início do diagrama é semelhante ao dos restantes dias da semana que, neste caso, coincide com a máxima potência do diagrama, uma vez que depois desce e não altera significativamente ao longo do dia, em que o edifício estará fechado.

4.1.4 ICNAS

O edifício do ICNAS é onde se verificam diagramas de carga mais irregulares, portanto, é mais difícil encontrar um perfil típico. Dada a natureza do trabalho aqui

realizado é um edifício que funciona sob condições muito particulares, e tem cargas muito específicas como o ciclotrão, PET (Tomografia por emissão de positrões) e ressonâncias magnéticas. Ainda assim o diagrama da figura 36 é representativo do consumo ao longo do dia.

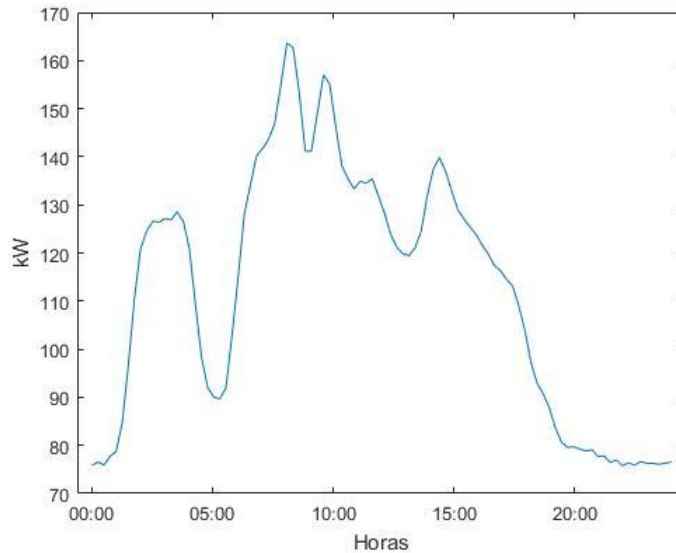


Figura 36 – Perfil de consumo do ICNAS em dias úteis

Um ponto em comum para todos os diagramas diários de um dia útil, é o consumo que acontece entre a 02h e as 04h30, e representa um aumento de 50 kW relativamente à potência de base do diagrama. A carga responsável por este aumento de potência é o ciclotrão que tem uma rotina noturna neste horário, e funciona também mais vezes ao longo do dia. O ciclotrão é um acelerador de partículas que produz isótopos usados no diagnóstico de cancro.

As duas pontas visíveis durante a manhã são justificáveis com o funcionamento dos dois PET e ressonâncias magnéticas, o que é comum acontecer neste horário, mas também se pode verificar noutra altura do dia.

O sistema AVAC tem de estar permanentemente em funcionamento para filtrar o ar de algumas salas que têm de se manter sempre como zona limpa certificada.

Para os fins de semana é comum encontrar um comportamento típico, sábados e domingos apresentam diagramas semelhantes. Comportamento típico ilustrado na figura 37.

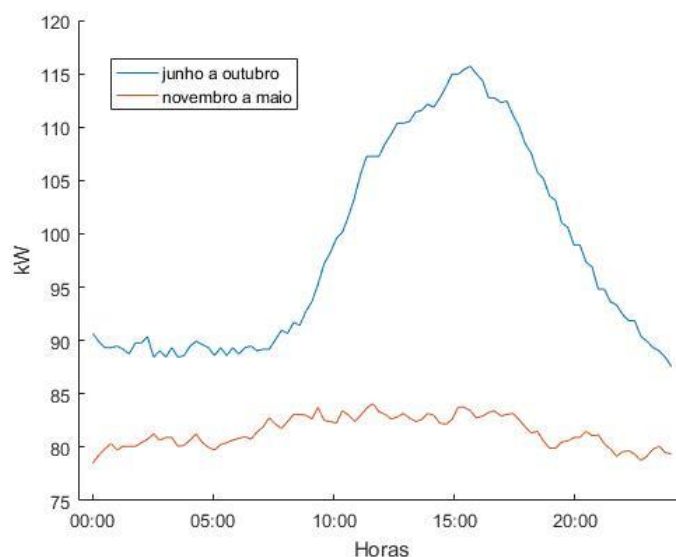


Figura 37 – Perfil de consumo do ICNAS em dias de fim de semana

Foi observado que os fins de semana têm diagramas diferentes para duas alturas do ano distintas. Entre novembro e maio, o consumo de energia durante o fim de semana não apresenta variações significativas, enquanto nos restantes meses se observa um aumento do consumo durante o dia. Isto acontece porque nos meses mais quentes pelo menos um dos quatro *chillers* tem de estar em funcionamento constante para garantir a climatização dos PET, que necessitam sempre de uma temperatura regulada.

Muito esporadicamente, verifica-se que o ciclotrão também funciona ao sábado das 02h às 04h30. Mesmo sem funcionamento do ICNAS durante o dia de sábado, também são produzidos isótopos para serem distribuídos para outros locais.

4.1.5 Biblioteca das ciências da saúde

O diagrama de carga de um dia útil, apresenta o formato indicado na figura 38. No ano de 2017 foram identificados diagramas de carga que diferem do diagrama apresentado na figura 38 na potência registada aproximadamente entre as 20h e as 03h ou 04h, onde a potência anda próxima de 10 kW. No entanto, verificou-se que passou a ser hábito a potência atingir valores próximos de 35 kW no mesmo período, situação que se mantém até à data de conclusão deste trabalho. De facto, constatando-se que, depois da intervenção no sistema de monitorização do Polo III (referida anteriormente) não se detetou nenhum problema de medição com o contador geral deste edifício, os dados relativos a 2019 mostram que esta situação se mantém, passando assim o diagrama da figura 38 a ser o perfil típico de consumo atualizado da biblioteca. O horário de

funcionamento da biblioteca em dias úteis é das 08h às 20h, sendo alargado até às 04h em época de exames. O autómato da biblioteca poderá estar programado para atuar no horário de época de exames e não ser alterado durante o resto do ano. Assim, haverá cargas ligadas durante a noite desnecessariamente nos dias em que a biblioteca fecha às 20h. Há uma diferença de 25 kW, entre os, aproximadamente, 35 kW que passaram e ser a norma e os 10 kW que se verificavam anteriormente, em 2017. Este valor de diferença, de 25 kW, entre as 20h e as 04h, resulta em 200 kWh por dia, verificando-se que se trata de cargas ligadas desnecessariamente em dias em que a biblioteca está fechada neste horário, correspondendo assim a consumo de energia que pode ser evitado.

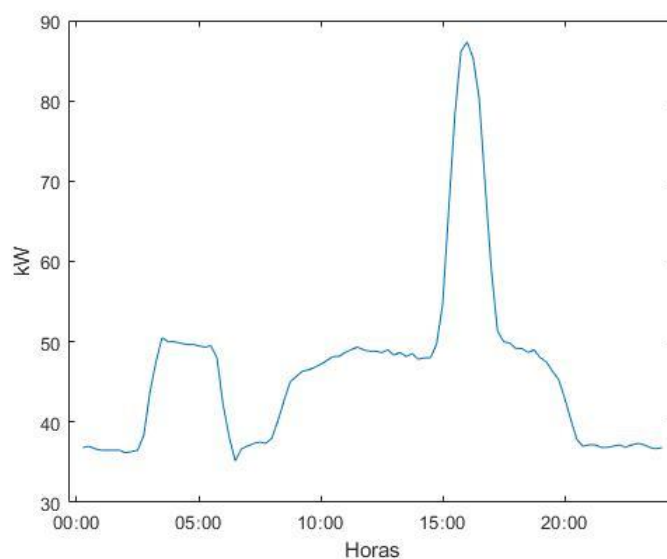


Figura 38 – Perfil de consumo da biblioteca em dias úteis

Na biblioteca todos os dias, incluindo os feriados que ocorrem durante a semana, apresentam um diagrama de carga com uma forma semelhante à do diagrama da figura 38. No entanto, em dias mais quentes, a este diagrama soma-se a potência correspondente a uma carga de climatização. A ponta anda tipicamente entre os 70 kW e os 90 kW. O facto de nos feriados, com a biblioteca fechada, se verificar este mesmo padrão de consumo, indica que corresponde maioritariamente a cargas programadas e que estão a consumir energia elétrica em períodos em que é desnecessário. Também se levanta a questão de saber se em dias úteis esse controlo não é desadequado, isto é, se outro padrão de funcionamento que consumisse menos energia não seria suficiente para satisfazer as necessidades energéticas de utilização do edifício.

Chama ainda a atenção o consumo noturno, entre as 03h e as 06h, e a ponta máxima que acontece entre as 15h e as 16:30h, com um aumento de 40 kW.

O edifício da biblioteca já foi objeto de estudo de uma dissertação de mestrado do DEEC, cujo autor é Guilherme Santos. Foi nesse trabalho identificado que nos períodos entre as 03h e as 06:30h, assim como entre as 15h e as 16h30, estão em funcionamento desumidificadores usados nos depósitos de livros com o intuito de garantir condições para uma boa conservação dos arquivos. Foi também descrito o funcionamento do *chiller*, componente do AVAC da biblioteca, responsável pelo arrefecimento nos dias mais quentes. O *chiller* funciona de maio a outubro, diariamente, mesmo em dias em que a biblioteca está fechada. Foi proposto pelo autor da referida dissertação a instalação de um interruptor horário para o *chiller*, e a desativação dos desumidificadores, medidas que visavam a poupança de energia elétrica que não foram adotadas. [22]

Os desumidificadores funcionam diariamente quatro horas e meia, a uma potência de 40 kW, consumindo, portanto, 180 kWh por dia. A ponta máxima do diagrama acontece no horário de funcionamento dos desumidificadores durante a tarde. Com os desumidificadores desligados a ponta baixaria 40 kW.

Num dia com o *chiller* a funcionar, o diagrama de carga é idêntico ao da figura 39.

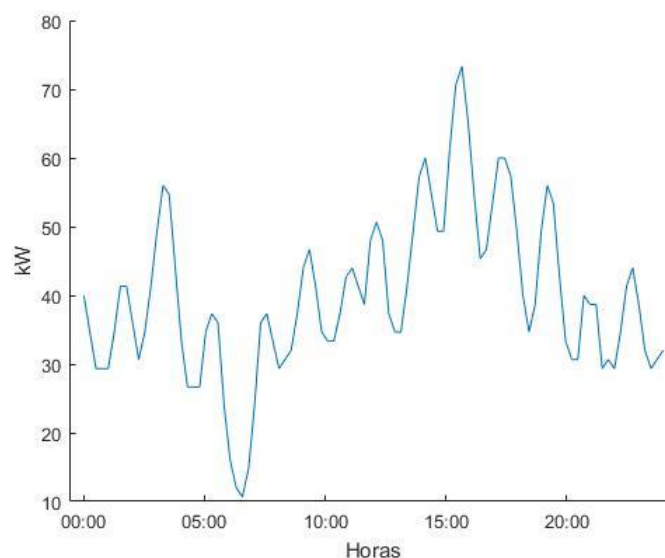


Figura 39 – Diagrama de carga de um dia com o *chiller* em funcionamento

Aos sábados, o diagrama de carga assume a forma representada na figura 40.

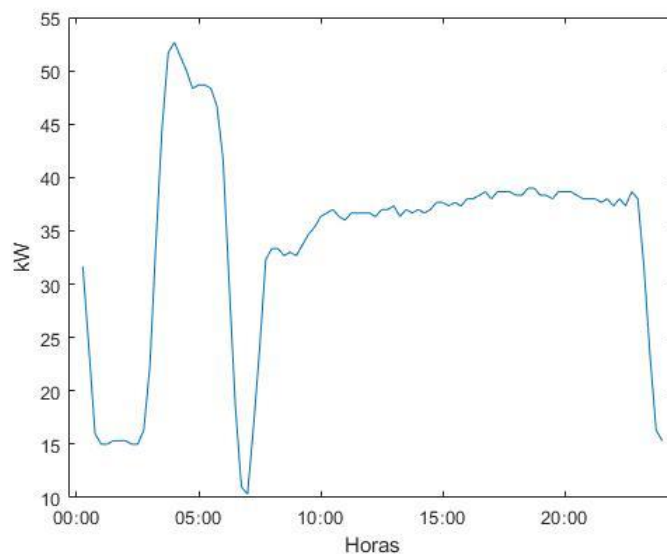


Figura 40 – Perfil de consumo da biblioteca ao sábado

Assim que se verificou um aumento na potência em dias úteis depois das 20h, também houve um aumento da potência ao sábado. Passou a ser habitual a potência andar próxima das 35 kW a partir das 08h quando, anteriormente, um diagrama de sábado era semelhante ao de domingo (como o da figura 41). Embora a biblioteca abra aos sábados em época de exames, este consumo verifica-se também em dias em que a biblioteca estará fechada. Uma vez que a potência de base é de 10 kW, há um aumento de 25 kW. Esta potência de 25 kW em cerca de 15 horas corresponde a um potencial de poupança diária de energia de 375 kWh nestes dias. Mesmo com a biblioteca em funcionamento, a ponta máxima do diagrama é registada durante a madrugada. Inspeccionando os diagramas de todos estes sábados, verificou-se que a ponta máxima ocorreu numa outra altura do dia, apenas numa situação em que o *chiller* estava a funcionar.

Na figura 41 apresenta-se um diagrama típico de fim de semana, correspondente a domingos.

Durante o fim de semana os desumidificadores só estão programados para funcionar uma vez por dia. Na situação deste gráfico, representam quase metade do consumo energético neste dia, com uma potência próxima de 40 kW, a funcionar durante 3 horas, correspondendo a um consumo diário de 120 kWh, com o restante consumo a uma potência sempre próxima dos 6 kW, em 24 horas, resultando num total de 144 kWh.

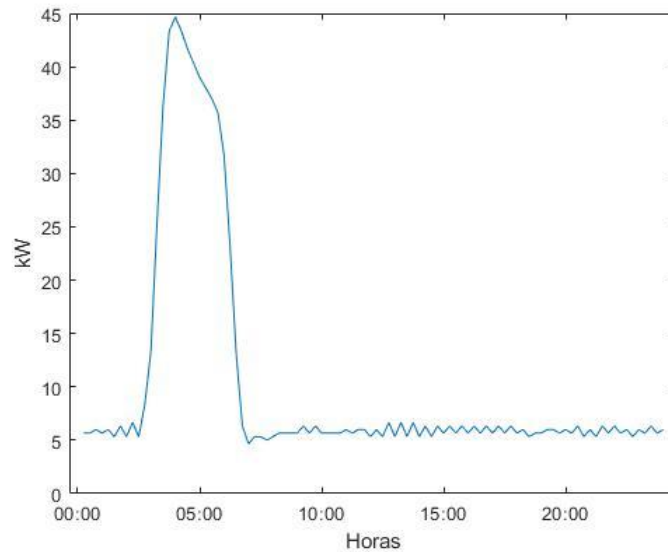


Figura 41 – Perfil de consumo da biblioteca ao domingo

4.1.6 Residência Universitária

Os primeiros diagramas aqui apresentados, na figura 42, correspondem a dias úteis em período escolar.

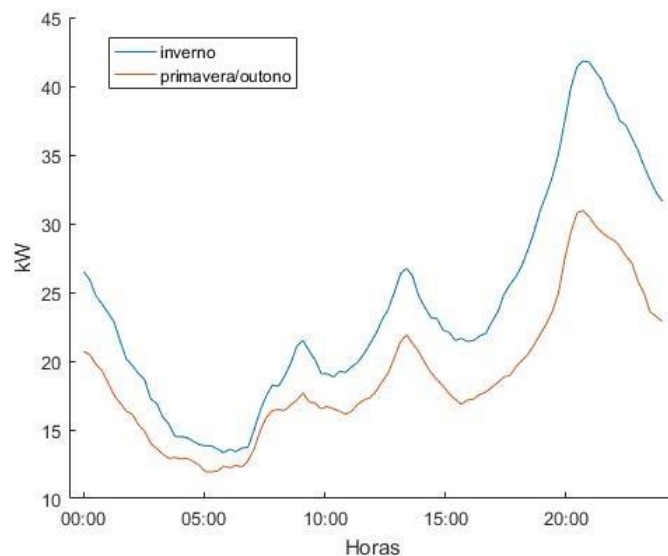


Figura 42 – Perfil de consumo da residência universitária em dias úteis

Estas duas curvas têm um formato semelhante, apenas diferem nos valores de potência pedidos à rede que são superiores no inverno, a forma do diagrama é semelhante à do diagrama típico do setor residencial. Existem três pontas, uma que ocorre logo ao início da manhã, outra em horário de almoço e a última, a maior, em horário de jantar. De forma previsível, o maior consumo de energia acontece ao final do dia.

Na figura 43 estão expostos diagramas representativos de um dia de fim de semana.

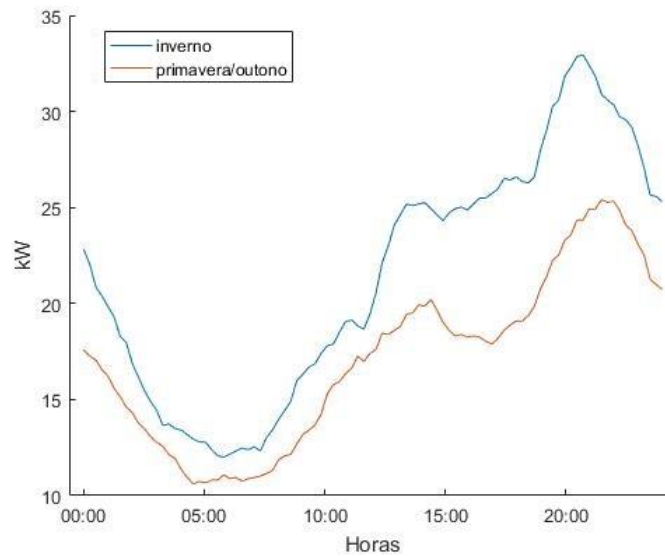


Figura 43 – Perfil de consumo da residência universitária em dias de fim de semana

A primeira diferença assinalável, comparativamente a um dia útil, é que deixa de ser norma existir uma ponta ao início da manhã. Também são atingidas potências mais baixas, consequência provável de alguns estudantes passarem o fim de semana em casa.

No período de férias escolares, não há grande distinção entre dias úteis e fins de semana e a ocupação é bastante inferior. Assim, o perfil de consumo nesta altura é exposto na figura 44.

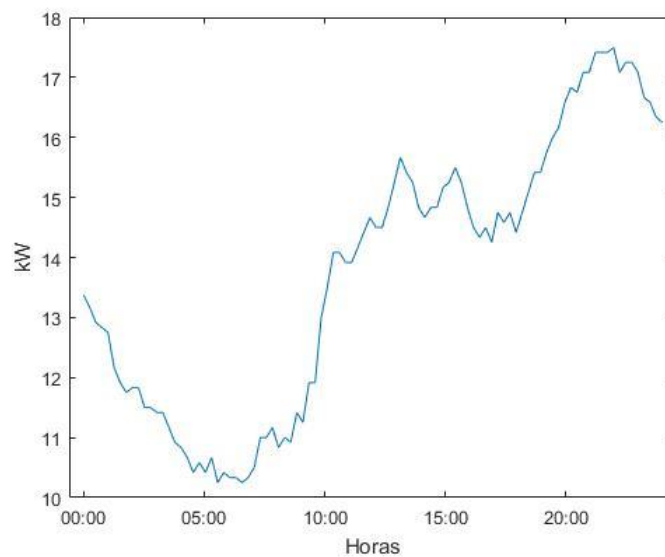


Figura 44 – Perfil de consumo da residência universitária no período de férias escolares

4.1.7 Cantina

A cantina Luzio Vaz funciona com o serviço de cafetaria das 08h às 18:30h, e são servidos almoços das 12h às 14:30h. O restaurante universitário está aberto das 12h às 14:30h. Um dia útil apresenta as seguintes características.

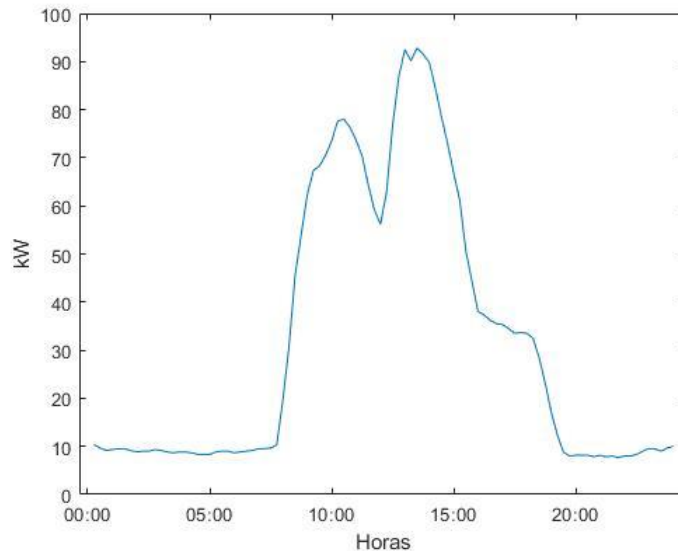


Figura 45 – Perfil de consumo da cantina em dias úteis

Este é o perfil típico encontrado num dia útil. Estão bem marcados os diferentes períodos de funcionamento da cantina. Na parte da manhã são servidos pequenos-almoços, há uma ponta a meio da manhã e de seguida um decréscimo da potência até que comece o horário de almoço, onde se verifica a potência máxima. Depois das 15h continua aberta a cafetaria, mas a potência desce consideravelmente.

Durante fins de semana, feriados e mês de agosto a cantina encontra-se fechada. O consumo de base ronda os 9 kW.

4.1.8 Polo III

No conjunto dos oito edifícios que constituem o Polo das Ciências da Saúde, os dias úteis têm perfis de consumo como os ilustrados na figura 46.

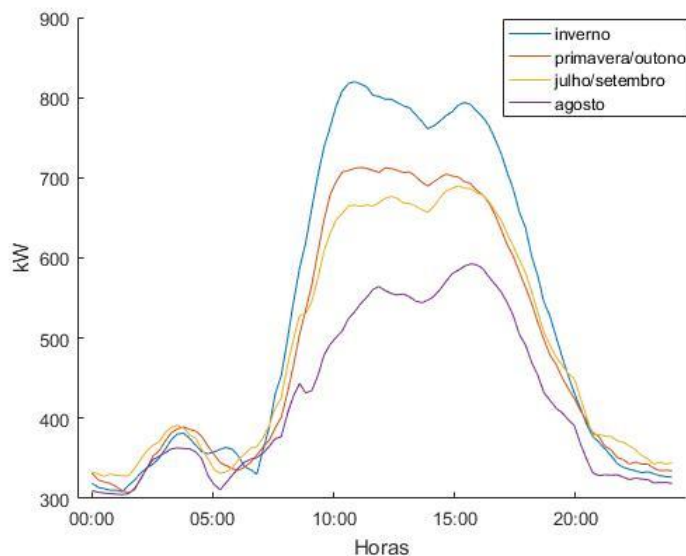


Figura 46 – Perfil de consumo do Polo III em dias úteis

Estes diagramas representam valores médios por estação do ano. A potência de base é sempre próxima de 300 kW durante todo o ano. No final de junho/início de julho e final de setembro os diagramas diários do Polo III podem apresentar valores bem mais elevados do que o diagrama médio da figura 46, sendo este diagrama representativo do período de férias escolares.

O horário de funcionamento do ciclotrão do ICNAS, e dos desumidificadores da biblioteca coincide durante algum tempo: o ciclotrão funciona das 02h às 04h30 e os desumidificadores das 03h às 06h. Estas duas cargas juntas equivalem a uma potência de 90 kW.

Na figura 47 pode ver-se o perfil de consumo característico de um sábado.

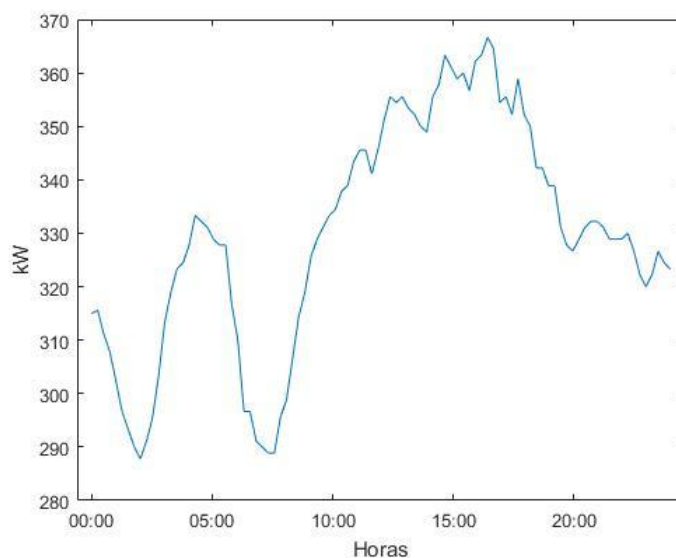


Figura 47 – Perfil de consumo do Polo III ao sábado

Aos sábados, a ponta noturna acontece só devido aos desumidificadores da biblioteca, dado que o ciclotrão do ICNAS funciona muito poucas vezes ao sábado. A ponta máxima é registada, habitualmente, da parte da tarde, e usualmente com valores inferiores a 400 kW.

Aos domingos, é frequente a ponta máxima do diagrama coincidir temporalmente com a ponta máxima da biblioteca, dado que a variação de potência ao longo do dia é muitas vezes inferior aos 40 kW de potência dos desumidificadores da biblioteca. O perfil característico de um domingo está representado na figura 48.

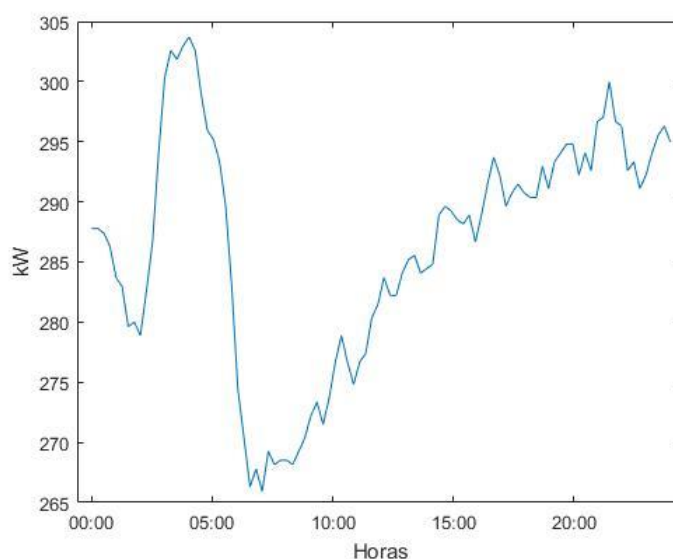


Figura 48 – Perfil de consumo do Polo III ao domingo

4.1.9 Iluminação pública

O contador que mede os consumos de energia relativos à iluminação pública está programado para gerar um impulso a cada 10 kWh. Uma vez que a quantidade de energia consumida a cada 15 min é bastante inferior a 10 kWh, não há valores registados durante grande parte do tempo em que a iluminação funciona. Como se trata de iluminação controlada para funcionar por período horário, funciona a uma potência constante para o horário definido. Na figura 49 estão representados os valores obtidos diretamente a partir dos dados recolhidos, afetados pela constante do contado desadequada.

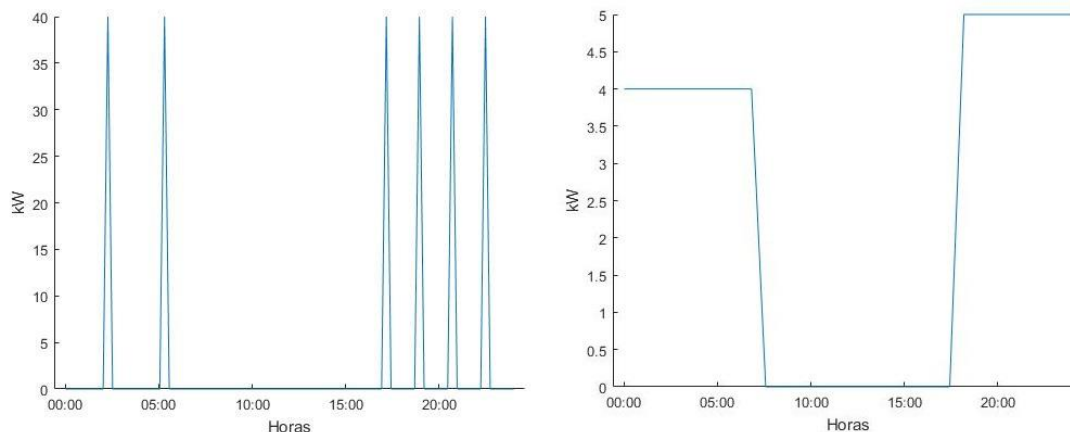


Figura 49 – À esquerda diagrama com os dados recolhido à direita diagrama que seria esperado para a iluminação pública

Verifica-se que entre as 17h30 e a meia noite, são medidos 10 kWh a cada duas horas, e entre a meia noite até amanhecer são medidos 10 kWh a cada duas horas e meia, portanto uma parte da iluminação é desligada depois da meia noite. Um consumo de 10 kWh a cada duas horas dá uma potência média de 5 kW entre as 17h30 e a meia noite e de 4 kW o resto da madrugada.

4.2 Fator de carga

A tabela 5 contém os valores médios para o fator de carga de cada edifício e do Polo III no seu conjunto, para o ano de 2018. A Unidade Central não consta desta tabela pelo mesmo motivo que não foi incluída nos perfis de consumo, devido aos erros de contagem de energia elétrica.

	Dias úteis		Fins de semana		Feriados	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Subunidade 1	0,601	0,041	0,870	0,044	0,880	0,030
Subunidade 3	0,531	0,091	0,754	0,124	0,562	0,124
Farmácia	0,586	0,102	0,783	0,102	0,853	0,026
ICNAS	0,638	0,044	0,870	0,054	0,740	0,066
Biblioteca	0,474	0,093	0,388	0,123	0,426	0,093
Residência	0,563	0,071	0,586	0,063	0,572	0,038
Cantina	0,352	0,129	0,741	0,126	0,741	0,124
Polo III	0,650	0,036	0,845	0,060	0,770	0,048

Tabela 5 – Valores médios do fator de carga em 2018

Os valores médios do fator de carga foram divididos em dias úteis, dias de fim de semana e feriados. Com esta divisão é possível verificar que em alguns casos o fator de carga médio de um dia em que é feriado é mais próximo do valor do fator de carga médio

em dias úteis do que do valor para dias de fim de semana, estando em sintonia com as situações identificadas através dos perfis de consumo de uma utilização de energia elétrica desnecessária nos feriados, como são os casos da biblioteca e Subunidade 3.

Um baixo fator de carga indica um diagrama de carga irregular, sucedendo que quanto mais constante é o consumo de energia mais próximo de 1 estará o fator de carga. Deste modo os valores do fator de carga são tendencialmente mais elevados ao fim de semana, em edifícios de serviços.

A residência universitária distingue-se por ter o valor médio do fator de carga em dias úteis, fins de semana e feriados muito próximos.

O edifício da cantina é aquele que apresenta valores mais baixos em dias úteis, o que resulta de o diagrama de carga comum ser de facto irregular.

A Subunidade 3 tem como valor médio do fator de carga 0,531 para dias úteis, mas, como este edifício tem tipicamente dois perfis de consumo para duas alturas do ano diferentes, também se verifica essa distinção no fator de carga. Na figura 50 podem ver-se os valores do fator de carga para cada dia do ano de 2018 na forma de gráfico de barras, onde é possível distinguir os meses mais frios e o período do ano em que o *chiller* está normalmente em funcionamento.

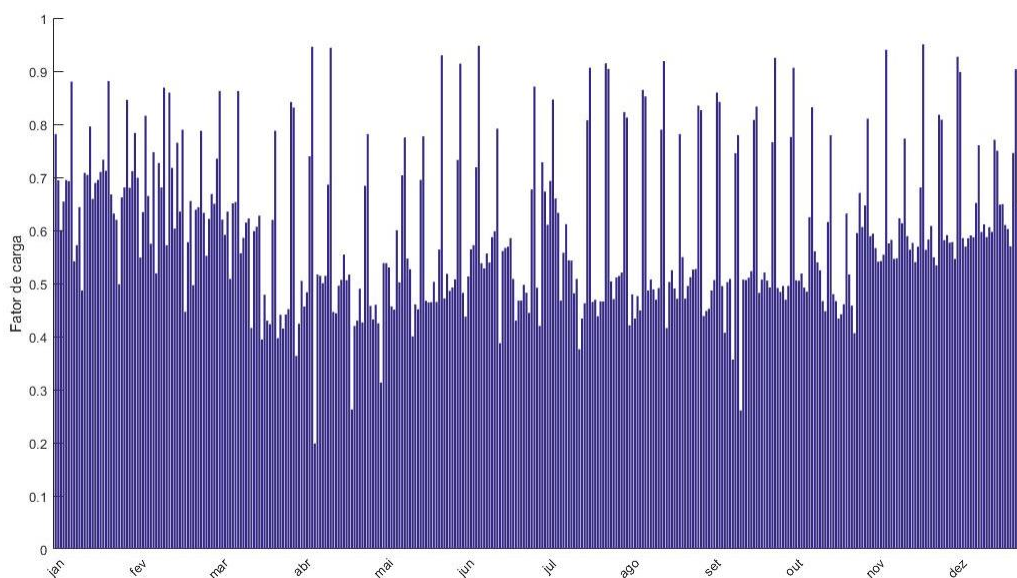


Figura 50 – Fator de carga Subunidade 3 em 2018

Identifica-se quando o *chiller* é ligado, entre abril e outubro, pois o fator de carga é mais baixo. Neste tipo de representação é fácil identificar os dias de fim de semana, em que o fator de carga é mais elevado. Ainda se observa um falso fator de carga bastante baixo em alguns dias como, por exemplo, dois dias em abril em que o fator de carga está abaixo de 0,3, o que é justificado com um problema na aquisição de dados em

ambos os dias – na verdade, no dia 24 de abril o sistema de monitorização esteve várias horas sem registar consumos de energia.

De igual modo, a figura 51 ilustra a variação do fator de carga da biblioteca.

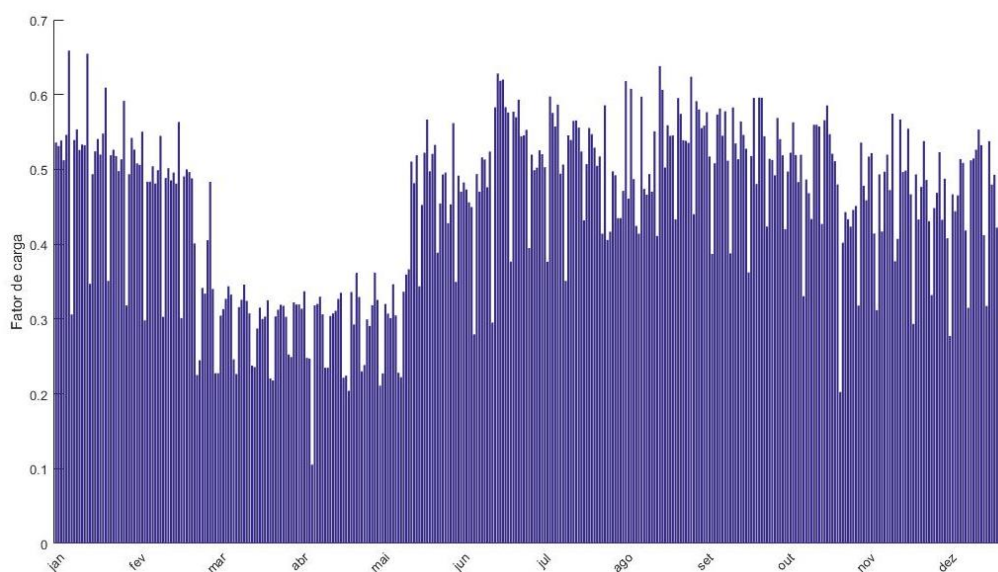


Figura 51 – Fator de carga Biblioteca das ciências da saúde em 2018

A biblioteca tem sempre valores do fator de carga mais baixos ao domingo, como é fácil verificar nesta representação gráfica, o que acontece porque nesses dias quase metade da energia é consumida entre as 3h e as 6h, havendo uma grande diferença entre a potência pedida à rede nesse horário e no resto do dia. Verifica-se que em março e abril o fator de carga baixou bastante - pelos diagramas de carga desse dias observa-se que o consumo de energia entre as 8h e as 20h foi inferior ao habitual, provavelmente devido à indisponibilidade temporária de algum equipamento, simultaneamente com uma ponta elevada num curto intervalo de tempo, devida ao funcionamento programado dos desumidificadores do arquivo de documentação. Se a comparação do diagrama de carga de um dado dia com o perfil típico de consumo diário pode permitir detetar consumos anormalmente diferentes do padrão habituais, a análise retrospectiva da série temporal do fator de carga revela-se também um modo complementar de deteção de comportamentos de consumo não habituais. Este potencial acresce à utilidade das séries temporais do fator de carga para identificação de padrões de consumo desajustados da funcionalidade das instalações. Como neste caso, esta análise ao fator de carga permite identificar consumos anormais de forma complementar aos diagramas de carga. No período mais quente do ano, em que o chiller é posto em funcionamento já não se verifica o mesmo que acontece na Subunidade 3 em que fator de carga desce. Na biblioteca verifica-se que o fator de carga sobe ao fim de semana, ficando o gráfico com uma zona mais preenchida

4.3 Fator de diversidade

Para o cálculo do fator de diversidade foi utilizada a soma dos contadores parciais da Unidade Central de forma a ter dados relativos a este edifício. Ainda assim, para diminuir o efeito dos valores em falta relativamente à Unidade Central, o diagrama de carga geral do Polo III usado nesta análise foi obtido através da soma do diagrama de todos os edifícios e não dos dados do contador geral. Como o fator de diversidade é um indicador apenas do espaçamento temporal entre as pontas máximas o erro associado a esta aproximação deverá ser muito baixo. Uma representação gráfica do fator de diversidade ao longo do ano de 2018 está ilustrada na figura 52.

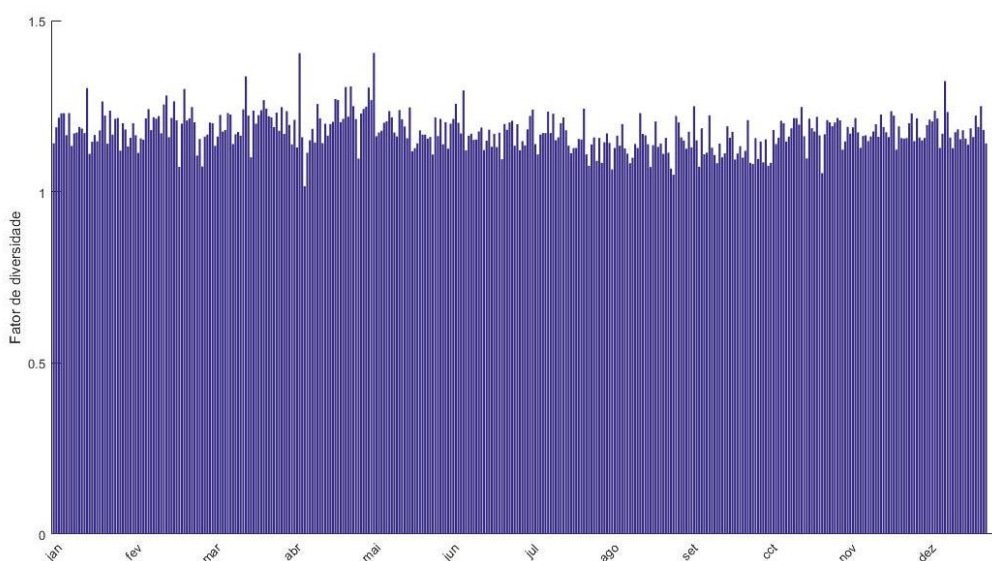


Figura 52 – Fator de diversidade Polo III em 2018

Um fator de diversidade próximo de 1 indica que as pontas máximas dos diagramas parciais são muito próximas temporalmente. Um fator de diversidade mais elevado é conseguido deslocando as pontas máximas de alguns dos diagramas parciais quando possível, conduzindo à redução da potência máxima do diagrama geral.

Não é tão fácil identificar uma diferença entre dias úteis e dias de fim de semana, como no caso dos gráficos com os fatores de carga ilustrados anteriormente. Os valores médios deste indicador podem ser consultados na tabela 6.

	Dias úteis		Fins de semana		Feriados	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Fator de diversidade	1,167	0,046	1,196	0,060	1,171	0,060

Tabela 6 – Valores médios do fator de diversidade em 2018

4.4 Perdas na rede

Em princípio, o caráter exaustivo das submedidas de consumo de energia elétrica no Polo III deveria permitir calcular as perdas na rede de MT, através da diferença, em cada período de leitura dos contadores, entre o registo do contador geral de energia do Polo III e a soma dos registos de todos os contadores de consumos dos edifícios. Esta diferença deveria corresponder ao valor das perdas de energia em cada período de 15 minutos, permitindo obter a potência média das perdas no mesmo período dividindo aquele valor por 0,25 horas. O gráfico da figura 54 representa, para cada valor de potência média de 15 minutos medida no contador geral do Polo III, o conjunto dos valores daquela diferença registados ao longo de um período de uma semana. Verifica-se que, para cada valor da potência de entrada na rede do Polo III, o alegado valor das perdas pode variar em intervalos demasiado grandes para terem algum significado relevante para a caracterização das perdas. O facto de as constantes dos contadores serem elevadas resulta em valores de potência de consumo discretizados com uma resolução demasiado baixa. A constante do contador geral do Polo III, nomeadamente, é de 10 kWh, o que leva a que todos os valores da potência média de quarto de hora para este contador sejam sempre múltiplos de 40 kW. Por outro lado, as constantes dos contadores instalados nos edifícios têm uma constante de 1 kWh, o que significa que o valor da potência média resultante do registo de consumo por estes contadores é sempre múltiplo de 4 kW. Nestas circunstâncias, atendendo a que há oito contadores parciais ao nível dos edifícios, os valores registados podem apresentar desvios de medição negativos ou positivos muito elevados, impossibilitando a aferição correta das perdas na rede local de MT. No decurso do desenvolvimento desta dissertação foi sugerido ao SGEA alterar as constantes dos contadores para valores muito mais baixos, tipicamente 0,1 kWh. No gráfico da figura 54 foram usados valores relativos a novembro de 2019, estando o novo contador geral da Unidade Central já parametrizado com a constante de 0,1 kWh por impulso.

No caso da iluminação pública, os valores de potência usados foram uma média informada pelo horário de funcionamento, como foi descrito anteriormente neste trabalho, dado que este contador também está programado com uma constante de 10 kWh por impulso. Posto isto, cada um dos contadores dos outros sete edifícios pode ter associado um erro máximo de 3,9 kW e o contador geral de 39,9 kW, (estes valores não inteiros justificam-se porque ficam imediatamente antes de 4 kW e 40 kW, respetivamente. Como a potência é sempre um valor múltiplo de 4 kW, valores inferiores só serão contabilizados

no intervalo seguinte de 15 min, o mesmo sucedendo para valores inferiores a 40 kW). No limite máximo, o erro pode ser igual a $3,9 \times 7 + 39,9 = 67.2$ kW.

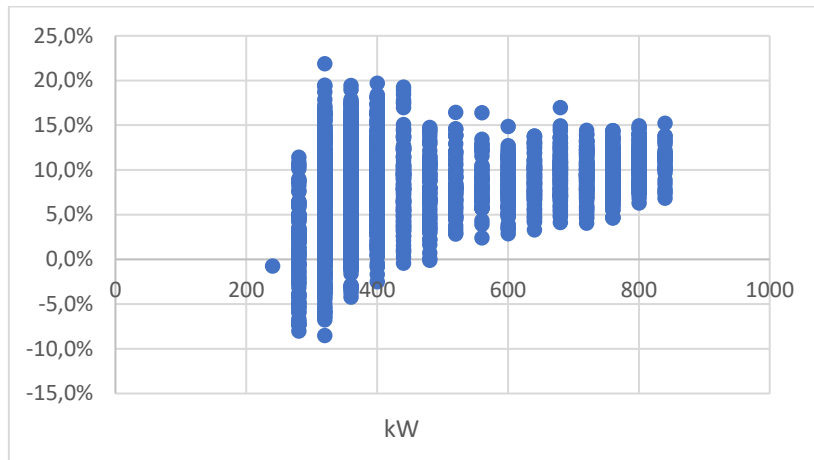


Figura 54 – Gráfico com os valores da diferença percentual entre o registo do contador central e a soma dos contadores parciais, em função do valor da potência do contador central (no eixo das abcissas).

4.5 Consumo de energia no ano de 2018

Na figura 55 estão representados os consumos de energia de cada edifício, por mês. Volta a não ser incluído o edifício da Unidade Central, devido aos erros de medição já referidos.

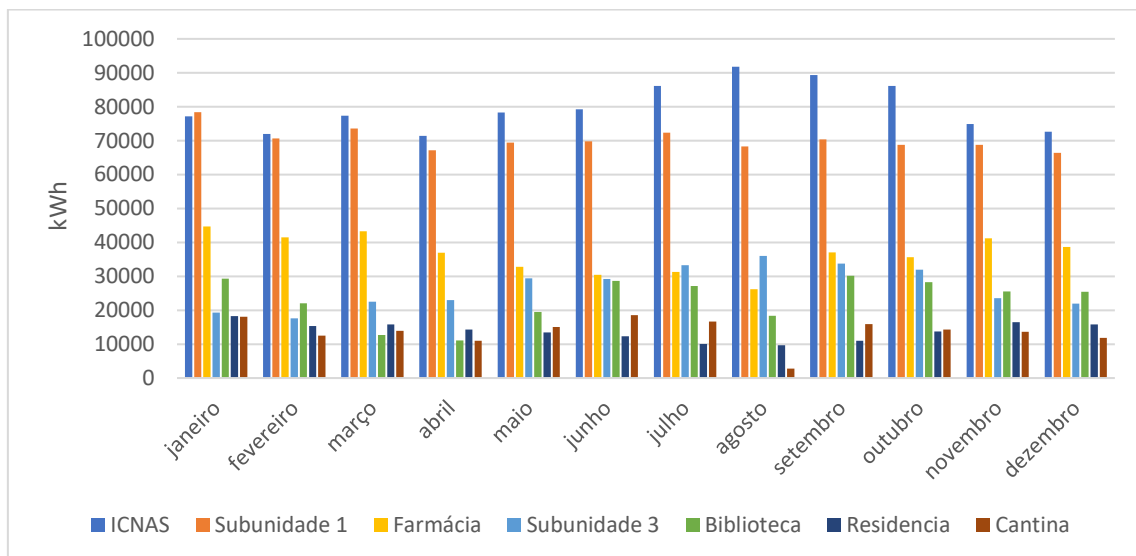


Figura 55– Consumo de energia de cada edifício por mês do ano 2018

Todos os meses o ICNAS foi o edifício que consumiu a maior percentagem de energia, sempre seguido pela Subunidade 1. Só no mês de janeiro o ICNAS não foi o maior consumidor de energia do Polo III, tendo sido neste mês a Subunidade 1 a registar o maior consumo. A Faculdade de Farmácia é habitualmente o terceiro maior consumidor, com exceção dos meses de julho e agosto, meses estes em que a Subunidade 3 consumiu mais energia.

5. Conclusões e trabalho futuro

5.1 Conclusões

Do ponto de vista das consequências de curto prazo, a realização deste trabalho permitiu concretizar a atualização do mapeamento dos contadores de submedida, bem como identificar a situação de não conformidade dos contadores de submedida do edifício da Unidade Central que não mediam, no seu conjunto, todo o consumo de energia deste edifício, ao contrário do que se pensava inicialmente. Esta situação foi reportada ao SGESA, tendo sido depois identificados os quadros elétricos que não estavam a ser medidos.

Também foram detetados erros de quantização na recolha de dados de consumos, devido ao facto de os contadores estarem parametrizados para medir energia com uma resolução desadequada. A constante recomendável para os contadores é de 0.1 kWh tendo em conta as potências do consumo de energia nos edifícios do Polo III, em vez de 1 kWh, sendo recomendável para o caso do contador geral uma constante de, no máximo, 1 kWh em vez dos atuais 10 kWh.

Foram levantados algumas das anomalias mais importantes encontradas nos programas SGE *Web* e SGE *Análise*, respetivamente a interface para *web browser* e o *software* usados para aceder aos dados de consumo.

Foram identificados diagramas de carga típicos dos edifícios do campus que podem ser utilizados como referência quer para uma gestão informada da energia utilizada no campus, quer para a identificação de oportunidades de racionalização de consumos e de custos de operação.

Através dos perfis típicos de consumo foram identificadas desde logo algumas situações que podem representar oportunidades de redução de consumos, tais como:

- Alteração da parametrização do sistema de gestão técnica da Subunidade 3 para feriados e sábados.
- Na Faculdade de Farmácia, também pode ser melhorada a parametrização do funcionamento do SGT para feriados e sábados, assim como pode ser reduzido o período de funcionamento da iluminação.
- Alteração do regime de funcionamento dos desumidificadores e do *chiller* na biblioteca, situação já identificada anteriormente numa dissertação mas que ainda se mantém. Foram também verificadas situações de cargas programadas para funcionar em alturas em que a biblioteca se encontra fechada.

Verificou-se que o ICNAS é o maior consumidor de energia do Polo III, seguido da Subunidade 1 e Faculdade de Farmácia.

Finalmente, explorou-se a utilização dos indicadores fator de carga e fator de simultaneidade como auxiliares de caracterização do comportamento dos consumos, com potencial para revelar pistas de diagnóstico de situações a corrigir.

5.2 Trabalho futuro

As possíveis oportunidades de redução de consumo identificadas deverão ser investigadas tendo em vista a respetiva confirmação, conduzindo a concretização das correspondentes poupanças em energia e em custos.

Uma análise mais detalhada, com base em utilização planeada de equipamentos móveis de recolha de dados de consumos, poderá permitir resolver algumas incertezas na identificação de consumos responsáveis por situações de aparente falta de racionalidade dos consumos.

A realização de uma campanha de medidas poderá permitir em simultâneo aferir o comportamento das perdas na rede de MT do Polo III e investigar a possibilidade de encontrar uma abordagem aproximada de estimação das perdas com base nos valores recolhidos pelo sistema de aquisição de dados.

A alteração das constantes dos contadores permitirá uma resolução muito mais fina da representação dos diagramas de carga, melhorando potencialmente os resultados da análise de *clustering* para a determinação de perfis típicos de consumos sem necessidade de recorrer a filtragens de valores baseadas em médias móveis para mitigar o efeito de erros de quantização elevados.

Uma possível exploração útil do *software* associado ao sistema de aquisição de dados, para efeitos de gestão de energia e não apenas para repartição dos custos de aquisição de eletricidade, passará pela identificação exaustiva e correção dos erros encontrados no SGE *Web* e SGE *Análise*.

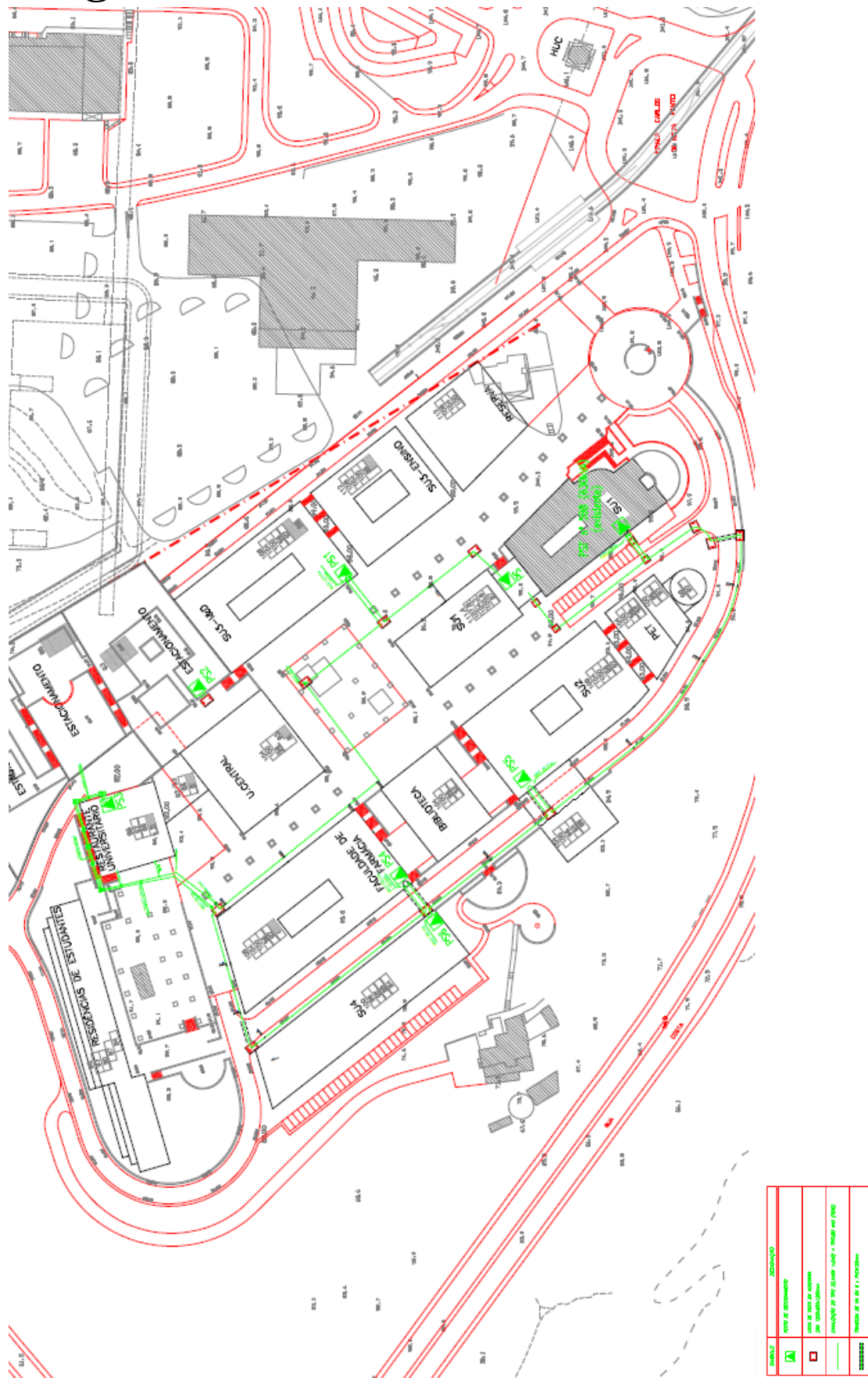
Referências Bibliográficas

- [1] Adams, T. (2014), *SCADA System Fundamentals*, Continuing Education and Development, Inc.
- [2] What is Energy Monitoring System? [Online]
<https://instrumentationtools.com/energy-monitoring-system/> [Acedido em janeiro de 2020]
- [3] Stouffer, K.; Falco, J.; Kent, K. (2006), *Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security*, Special Publication (NIST SP) - 800-82 Rev 2, National Institute of Standards and Terchnology, doi10.6028/NIST.SP.800-82r1.
- [4] Shahzad, A.; Musa, S.; Kirfan, M. (2014), *The scada review: system components, architecture, protocols and future security trends*, american journal of applied sciences 11 (8): 1418-1425, 2014, doi:10.3844/ajassp.2014.1418.1425.
- [5] Jain, A.; Dubes, R. (1988), *Algorithms for clustering data*, Prentice-Hall, Inc., ISBN:978-0-13-022278-7
- [6] Greenacre, M; Primicerio, R. (2013), *Multivariate Analysis of Ecological Data*, BBVA Foundation, ISBN: 978-84-92937-50-9
- [7] Tan, P.; Steinbach, M.; Karpatne, A.; Kumar, V. (2019), *Introduction to Data Mining, 2nd Edition*, Pearson, ISBN-13: 9780134080284.
- [8] What is Hierarchical Clustering?, [Online]
<https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/hierarchical-clustering/> [Acedido em novembro de 2019]
- [9] Abreu, J.; F. Pereira; P. Ferrão (2012), *Using pattern recognition to identify habitual behavior in residential electricity consumption*, Energy and Buildings, doi:10.1016/j.enbuild.2012.02.044
- [10] *Basic concepts of K-means Clustering*, [Online]
<https://kraj3.com.np/blog/2019/07/basic-concepts-of-K-means-clustering/> [Acedido em novembro de 2019]

- [11] Al-Wakeel, A.; Wu, J.; Jenkin, N. (2017), *K-means based load estimation of domestic smart meter measurements*, Applied Energy, Volume 194, Pages 333-342, doi.:10.1016/j.apenergy.2016.06.046
- [12] Linden, R. (2009); Técnicas de Agrupamento, Revista de Sistemas de Informação da FSMA n. 4 pp. 18-36, 2009.
- [13] Universidade de Coimbra [Online] <https://www.uc.pt> [Acedido em dezembro de 2019]
- [14] Energy Meter Type EM21 72D [Online] <https://carlogavazzisales.com/pdfs/EM2172DDS.pdf> [Acedido em dezembro de 2019]
- [15] A1700 Características [Online] <https://pt.scribd.com/document/173626127/A1700> [Acedido em dezembro de 2019]
- [16] Landys+ 650 Características Técnicas [Online] <https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e650/> [Acedido em dezembro de 2019]
- [17] Iskra MT851 Características Técnicas [Online] https://www.telematicasistemi.it/it/products/_01.category/old/mt851/brochure_M7 [Acedido em dezembro de 2019]
- [18] SL7000 SMART Características Técnicas [Online] https://coeptum.pt/sites/_coeptum/public/banners/Itron/contador_itron_sl7000_smart_pt.pdf [Acedido em dezembro de 2019]
- [19] OMRON CP1L Características Técnicas [Online] <http://www.ia.omron.com/products/family/1916/> [Acedido em dezembro de 2019]
- [20] Carlo Gavazzi CTD-2X [Online] <http://www.productselection.net/PDF/UK/ctd2xds.pdf> [Acedido em dezembro de 2019]
- [21] Exsepi (2016), SGE Manual de utilização.
- [22] Santos, G. (2016), *Plano de Racionalização do Consumo de Energia para a Biblioteca das Ciências da Saúde da Universidade de Coimbra, dissertação de mestrado, Universidade de Coimbra.*

Anexos

Diagrama Unifilar Polo III



Script MATLAB

```
clear all;

[numbers, TEXT]=xlsread('Dados.xlsx');      %vetor numbers com valores
de potência, vetor TEXT com dias do ano

Dados=vec2mat(numbers,96);                  %Copia tabela com valores de potência

[a,b]=size(TEXT);
ndias=a/96;

for v=1:ndias;                              %Copia a data a cada 96 valores
    w=v*96-95;
    data(v)=TEXT(w);
end
data=data.';

for h=1:ndias                                %Altera o formato da data
    dias(h)=datetime(data(h),'InputFormat','HH:mm dd-MM-
yyyy'),'Format','eeee dd-MM-yyyy');
end
dias=dias.';

Diagrama= movmean(Dados,3,2);               %média móvel

k=3;                                         %Número de clusters

[idx,C] = kmeans(Diagrama,k);               %algoritmo K-means

t=linspace(0,24,96);                         %Formato das hora para eixo das abcissas
time=hours(t);                               no gráfico
time.Format='hh:mm';

[m,n] = size(Diagrama);

for b = 1:k                                  %Plot dos dias agrupados em cada cluster
    figure(b)
    for d = 1:m
        hold on
        if idx(d)==b
            plot(time,Diagrama(d,:));
            xlabel('Horas');
            ylabel('kW');
        end
        hold off
    end
end

for a = 1:k                                  %Plot dos centroides do cluster
    figure(a+k);
    plot(time,C(a,:));
    xlabel('Horas');
    ylabel('kW');
end

for s = 1:k                                  %Cria tabela com os dias do ano em
cada cluster
```

```
l = 1;
for g = 1:m
    if idx(g)==s
        T(s,l)=dias(g);
        l=l+1;
    end
end
end
```