



DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE CÁLCULO DE CONSUMO ELÉTRICO E BENCHMARKING DE REDES DE FRIO COMERCIAL

CATARINA ISABEL MOREIRA SEQUEIRA

Junho de 2020

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE CÁLCULO DE CONSUMO ELÉTRICO E BENCHMARKING DE REDES DE FRIO COMERCIAL

Catarina Isabel Moreira Sequeira

1150381

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE CÁLCULO DE CONSUMO ELÉTRICO E BENCHMARKING DE REDES DE FRIO COMERCIAL

Catarina Isabel Moreira Sequeira

1150381

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Engenheira Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

Engenheira Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira

Professor Adjunto, ISEP

Co-orientador

Engenheiro Bruno Miguel da Silva

Departamento de Energia, Edifícios Saudáveis Consultores

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

À minha família, agradeço por acreditarem em mim e pela oportunidade que me ofereceram. Em especial, ao meu pai, ao meu irmão e aos meus tios São e Gilberto, pelo imensurável apoio que tornou este desafio possível.

À Eng.^a Isabel Sarmiento, pela proposta deste projeto, bem como pela dedicação e apoio demonstrados durante esta jornada.

À empresa Edifícios Saudáveis Consultores que me acolheu neste projeto, pela disponibilidade e pelo acompanhamento de toda a equipa. Em particular, ao Eng.^o Ricardo Sá, pela oportunidade concedida e ao Eng.^o Bruno Silva que me acompanhou de forma incansável ao longo deste percurso e com quem muito aprendi.

A todos, o meu sincero obrigada.

PALAVRAS CHAVE

Refrigeração, eficiência energética, *benchmarking* energético, lojas de retalho alimentar, correção climática

RESUMO

O sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar contribui para cerca de metade de todo o consumo elétrico da loja. O seu consumo elétrico deve, por isso, ser monitorizado e o seu desempenho analisado com frequência regular a fim de avaliar a eficiência do sistema e detetar possíveis ineficiências.

O trabalho realizado incidiu na otimização de um simulador energético utilizado nessa avaliação de eficiência. O simulador, que calcula o consumo elétrico expectável de um sistema de refrigeração e o compara ao valor real através de indicadores de *benchmarking*, carecia de duas otimizações a fim de aproximar o consumo calculado ao valor real. A primeira prendia-se com a correção climática do consumo expectável, enquanto a segunda dizia respeito à correção da eficiência dos compressores no cálculo do consumo no simulador.

O consumo elétrico expectável é calculado com um clima padrão médio correspondente à localização geográfica da loja em avaliação. Como o clima utilizado é distinto do clima real, que varia de ano para ano, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta para a correção climática do consumo calculado. Para estudar e identificar o processo de correção mais indicado para a construção da ferramenta, foram selecionadas três lojas reais que serviram de casos de estudo. A correção do consumo foi realizada com dados climáticos em formatos diferentes, ou seja, temperatura diária, temperatura mensal, GD diários e GD mensais. Pretendia-se, assim, identificar, caso fosse possível, um que se destacasse dos restantes para ser empregue em futuras análises mais práticas. Uma vez concluída, a ferramenta de correção climática foi validada aplicando-a a uma loja real.

A eficiência dos equipamentos decresce ao longo do tempo de utilização. No entanto, para efeitos de cálculo, o simulador considerava a eficiência nominal dos compressores. Assim, foi necessário penalizar a eficiência dos compressores aplicando um fator de correção que contabilizasse o tempo de funcionamento dos mesmos.

Concluiu-se que a correção climática pode auxiliar na aproximação do consumo expectável ao consumo real. A taxa de sucesso verificada nos indicadores de *benchmarking* expectável foi de cerca de 68,8%. Não obstante, constatou-se que o impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração não é de grande magnitude. A correção climática nas quatro lojas reais permitiu a redução do desvio máximo entre os consumos expectável e real de 11,3% para 8,5%, aproximadamente.

KEYWORDS

Refrigeration, energy efficiency, energy benchmarking, food retail stores, climatic correction

ABSTRACT

The refrigeration system in a food retail store contributes to about half of the store's entire electrical consumption. Its electrical consumption should therefore be monitored and its performance analysed regularly in order to assess the system's efficiency and detect possible inefficiencies.

The work carried out focused on the optimization of an energy simulator used in that efficiency assessment. The simulator, which calculates the expected electrical consumption of a refrigeration system and compares it to the actual value through benchmarking indicators, lacked two optimizations to approximate the calculated consumption to the actual value. The first was related to the climatic correction of the expected consumption, while the second concerned the correction of the compressor efficiency in the consumption calculation in the simulator.

The expected electrical consumption is calculated with an average standard climate corresponding to the geographic location of the store under evaluation. As the climate used is distinct from the actual climate, which varies from year to year, it was proposed the development of a tool for the calculated consumption climate correction. To study and identify the most suitable correction process for the tool's construction, three real stores were selected to serve as case studies. The consumption correction was carried out with climatic data in different formats, i.e., daily temperature, monthly temperature, daily CDD and monthly CDD. It was intended, therefore, to identify, if possible, one that stood out from the rest to be used in future more practical analyses. Once completed, the climate correction tool was validated by applying it to a real store.

Equipment efficiency decreases over the time of use. However, for calculation purposes, the simulator considered the nominal efficiency of the compressors. Thus, it was necessary to penalize the efficiency of the compressors by applying a correction factor that would account for their operating time.

It was concluded that the climate correction can help in the approximation of the expected consumption to the real consumption. The success rate observed in the expected benchmarking indicators was about 68.8%. Nevertheless, it was found that the climate's impact on the electrical consumption of a refrigeration system is not of great magnitude. The climate correction in the four real stores allowed the reduction of the maximum deviation between expected and real consumption from 11.3% to 8.5%, approximately.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

A	Expositores frigoríficos autónomos
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BE	<i>Benchmarking</i> expectável
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
C	Expositores frigoríficos centralizados
CFC	Clorofluorcarbonetos
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Coefficiente de desempenho (<i>Coefficient of Performance</i>)
CREPE	<i>Commercial Refrigeration Energy Performance Evaluator</i>
ESC	Edifícios Saudáveis Consultores
Frio _{IES-VE}	Sistema energético criado no IES-VE
GD	Graus-dia
GE _{expo, CREPE, 0}	Ganhos externos dos expositores frigoríficos calculados na simulação 0 do CREPE
GE _{expo, CREPE}	Ganhos externos dos expositores frigoríficos calculados pelo CREPE
GE _{expo, IES-VE}	Ganhos externos dos expositores frigoríficos calculados pelo IES-VE
GWP	Potencial de aquecimento global (<i>Global Warming Potential</i>)
H ₂ O	Água
HCFC	Hidroclorofluorcarbonetos
IES-VE	<i>Integrated Environmental Solution – Virtual Environment</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)
LED	Díodo emissor de luz (<i>Light-Emitting Diode</i>)
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
ODP	Potencial de destruição de ozono (<i>Ozone depletion Potential</i>)
PLR	Carga parcial (<i>Partial Load Ratio</i>), %
P-h	Pressão-entalpia
T-s	Temperatura-entropia

Tcond	Temperatura de condensação
Tevap	Temperatura de evaporação
VFD	Variador de frequência (<i>Variable Frequency Drive</i>)

Lista de Unidades

%	Porcentagem
anos	Anos
°C	Grau Celsius
g _{H2O} /kg _{ar}	Grama de vapor de água por quilograma de ar
kW	Quilowatt
kPa	Quilopascal
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
ml	Metro linear
MWh	Megawatt hora
uni	Unidades

Lista de Símbolos

a	Tempo de operação do compressor, anos
F_c	Fator de correção do COP dos compressores, -
F_m	Fator de manutenção dos compressores, -
GE_{expo}	Ganhos externos dos expositores frigoríficos, MWh
GI_{expo}	Ganhos internos dos expositores frigoríficos, MWh
NT_{expo}	Necessidades térmicas dos expositores frigoríficos, MWh
Q_L	Carga de refrigeração, kW
W_{ent}	Potência introduzida pelo compressor, kW

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DESAGREGAÇÃO DOS CONSUMOS ELÉTRICOS NUMA LOJA DE RETALHO ALIMENTAR E NO SISTEMA DE FRIO INSTALADO NA PRÓPRIA LOJA (ADAPTADO DE (ASHRAE, 2018)).	30
FIGURA 2. CICLO DE REFRIGERAÇÃO SIMPLES: (A) ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO; (B) DIAGRAMA T-S (ÇENGEL & BOLES, 2013).	36
FIGURA 3. COMPRESSOR ALTERNATIVO (TRANE, 2014).	37
FIGURA 4. POSICIONAMENTO DO PISTÃO DENTRO DO CILINDRO: (A) PISTÃO NA POSIÇÃO MÁXIMA ASCENDENTE; (B) VÁLVULAS DE SUÇÇÃO ABREM; (C) PISTÃO NA POSIÇÃO MÁXIMA DESCENDENTE; (D) VÁLVULAS DE DESCARGA ABREM (DOSSAT, 1961).	37
FIGURA 5. COMPRESSORES ALTERNATIVOS: (A) HERMÉTICO; (B) SEMI-HERMÉTICO; (C) ABERTO (WANG, 2001).	38
FIGURA 6. COMPRESSORES DE PARAFUSO: (A) SIMPLES; (B) DUPLO (WANG, 2001).	39
FIGURA 7. COMPRESSOR <i>SCROLL</i> (TRADUZIDO DE (TRANE, 2011)).	39
FIGURA 8. COMPRESSOR ALTERNATIVO COM DOIS TIPOS DE CONTROLO DIFERENTES: (A) CONTROLO ON/OFF; (B) CONTROLO VFD (TRADUZIDO DE (DANFOSS, 2009)).	40
FIGURA 9. DIAGRAMA P-H DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO COM SUBARREFECIMENTO (3 A 4) E SOBREAQUECIMENTO (6 A 1) (STOECKER & JONES, 1983).	41
FIGURA 10. CONDENSADOR ARREFECIDO A AR (WANG, 2001).	42
FIGURA 11. CONDENSADOR EVAPORATIVO (WANG, 2001).	43
FIGURA 12. COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO CONSTANTE E O MÉTODO DA TEMPERATURA FLUTUANTE (TRADUZIDO DE (EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, 2013)).	44
FIGURA 13. VÁLVULA DE EXPANSÃO TERMOSTÁTICA (STOECKER & JONES, 1983).	44
FIGURA 14. VÁLVULA DE EXPANSÃO ELETRÓNICA (DANFOSS, 2019).	45
FIGURA 15. EVAPORADOR DE PLACAS (TRANE, 1999).	46
FIGURA 16. CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS FRIGORIGÉNEOS QUANTO À TOXICIDADE E INFLAMABILIDADE (ASHRAE, 2017).	47
FIGURA 17. EXPOSITORES FRIGORÍFICOS VERTICAIS (EVANS & FOSTER, 2015).	49
FIGURA 18. EXPOSITORES FRIGORÍFICOS HORIZONTAIS (EVANS & FOSTER, 2015).	49
FIGURA 19. FUNCIONAMENTO DE UM EXPOSITOR ABERTO VERTICAL (TRADUZIDO DE (EVANS & FOSTER, 2015)).	50
FIGURA 20. ILUSTRAÇÃO DE TROCAS DE CALOR NO EXPOSITOR FRIGORIGÉNEO (TRADUZIDO DE (EVANS & FOSTER, 2015)).	51
FIGURA 21. ESQUEMA COM OS <i>INPUTS</i> E OS <i>OUTPUTS</i> DO CREPE.	55

FIGURA 22. EVOLUÇÃO DO COP DO COMPRESSOR DE PARAFUSO HSK6461-60-40P COM R404A FAZENDO VARIAR O PLR E (A) A TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO; (B) A TEMPERATURA DE EVAPORAÇÃO (BITZER S. A., S.D.).....	61
FIGURA 23. EVOLUÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO DO COP DOS COMPRESSORES COM O TEMPO DE FUNCIONAMENTO ASSUMINDO (A) $Fm = 0,01$ E (B) $Fm = 0,03$	62
FIGURA 24. PROCESSO ITERATIVO PARA A CALIBRAÇÃO DO SIMULADOR CREPE COM O SIMULADOR IES-VE.....	63
FIGURA 25. ESQUEMA DO SISTEMA FRIO _{IES-VE} DE MÉDIA TEMPERATURA NA ÁREA DE VENDAS MODELADO NO IES-VE.....	64
FIGURA 26. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DO COP CONSOANTE A TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO.....	66
FIGURA 27. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA EVOLUÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO DO COP DOS COMPRESSORES COM O TEMPO DE FUNCIONAMENTO ASSUMINDO $Fm = 0,015$	69
FIGURA 28. GANHOS EXTERNOS GE_{EXPO} , OBTIDOS DURANTE O PROCESSO ITERATIVO ENTRE O CREPE E O IES-VE, LOJA I.....	70
FIGURA 29. DADOS DO CREPE: TEMPERATURA EXTERIOR PADRÃO, °C, E CONSUMO ELÉTRICO CALCULADO, KWH, LOJA I.....	71
FIGURA 30. TEMPERATURA EXTERIOR PADRÃO E CONSUMO ELÉTRICO EXPECTÁVEL EM BASE DIÁRIA, LOJA I.....	71
FIGURA 31. CORRELAÇÕES CRIADAS ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO DIÁRIO E A TEMPERATURA EXTERIOR MÉDIA DIÁRIA PADRÃO.....	72
FIGURA 32. CONSUMO ELÉTRICO EXPECTÁVEL CORRIGIDO COM A TEMPERATURA REAL, LOJA I.....	72
FIGURA 33. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE BENCHMARKING ANTES E DEPOIS DA CORREÇÃO CLIMÁTICA, LOJA I.....	72
FIGURA 34. APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA.....	78
FIGURA 35. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A INTRODUÇÃO DOS DADOS PROVENIENTES DO CREPE.....	81
FIGURA 36. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A APRESENTAÇÃO DA COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS E ENTRE INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL.....	82
FIGURA 37. VALORES MÉDIOS ANUAIS DO COP DOS COMPRESSORES NA LOJA I.....	87
FIGURA 38. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA LOJA I COM A PENALIZAÇÃO DO COP DOS COMPRESSORES.....	88
FIGURA 39. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA PENALIZAÇÃO DO COP NA LOJA I.....	88
FIGURA 40. VALORES DOS GANHOS EXTERNOS GE_{EXPO} DEVOLVIDOS PELO CREPE E PELO IES-VE NO FINAL DO PROCESSO ITERATIVO NA LOJA I.....	89

FIGURA 41. COMPARAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES INTERIORES DO AR ANTES E DEPOIS DA CALIBRAÇÃO NA LOJA I.....	90
FIGURA 42. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA CALIBRAÇÃO DO CREPE NA LOJA I.....	90
FIGURA 43. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO DIÁRIA ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA I.....	91
FIGURA 44. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO DIÁRIA ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E O CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA I.....	92
FIGURA 45. COMPARAÇÃO EM BASE MENSAL ENTRE O CLIMA PADRÃO E O CLIMA REAL EM (A) TEMPERATURA E (B) GD, LOJA I.....	92
FIGURA 46. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA I.....	93
FIGURA 47. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA I.....	93
FIGURA 48. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM GD COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA I.....	94
FIGURA 49. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> RESULTANTES DA ANÁLISE DIÁRIA COM GD COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA I.....	95
FIGURA 50. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA LOJA II COM A PENALIZAÇÃO DO COP DOS COMPRESSORES.....	96
FIGURA 51. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA PENALIZAÇÃO DO COP NA LOJA II.....	97
FIGURA 52. VALORES OBTIDOS PELO CREPE E O IES-VE NO FINAL DO PROCESSO ITERATIVO NA LOJA II. 98	
FIGURA 53. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA CALIBRAÇÃO DO CREPE NA LOJA II.....	98
FIGURA 54. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E O CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA II.....	99
FIGURA 55. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS DA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA II.....	100
FIGURA 56. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA II.....	101
FIGURA 57. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA LOJA III COM A PENALIZAÇÃO DO COP DOS COMPRESSORES.....	102
FIGURA 58. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA PENALIZAÇÃO DO COP NA LOJA III.....	103

FIGURA 59. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO DIÁRIA ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E O CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA III.	104
FIGURA 60. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A FASE 3 NA LOJA III.	105
FIGURA 61. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> OBTIDOS NA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA COM A FASE 3 NA LOJA III.	105
FIGURA 62. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS OBTIDOS COM A FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA IV.	106
FIGURA 63. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL OBTIDOS COM A FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA NA LOJA IV.	107
FIGURA 64. EVOLUÇÃO DO CONSUMO CALCULADO PELO CREPE E DO CONSUMO REAL AO LONGO DO ANO RELATIVO AO SISTEMA DE MÉDIA TEMPERATURA DA LOJA I.	114
FIGURA 65. COMPARAÇÃO ENTRE O CLIMA DE 2013 E O CLIMA DE 2019.	115
FIGURA 66. COMPARAÇÃO ENTRE CONSUMOS ANUAIS COM CLIMAS DIFERENTES.	116
FIGURA 67. COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO ANUAL COM O CLIMA DE REFERÊNCIA E O CONSUMO ANUAL DE (A) VERÕES E (B) INVERNOS DIFERENTES.	116
FIGURA 68. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA I.	131
FIGURA 69. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA I.	131
FIGURA 70. VALORES MÉDIOS ANUAIS DO COP DOS COMPRESSORES DOS SISTEMAS DE MÉDIA TEMPERATURA E DE BAIXA TEMPERATURA CENTRALIZADOS E AUTÓNOMOS ANTES E DEPOIS DA PENALIZAÇÃO NA LOJA II.	132
FIGURA 71. COMPARAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES INTERIORES DO AR ANTES E DEPOIS DA CALIBRAÇÃO NA LOJA II.	132
FIGURA 72. COMPARAÇÃO EM BASE MENSAL ENTRE CLIMA PADRÃO E CLIMA REAL EM (A) TEMPERATURA E (B) GD NA LOJA II.	133
FIGURA 73. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO DIÁRIA ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA II.	133
FIGURA 74. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA II.	134
FIGURA 75. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA II.	134
FIGURA 76. VALORES MÉDIOS ANUAIS DO COP DOS COMPRESSORES NA LOJA III.	135
FIGURA 77. COMPARAÇÃO EM BASE MENSAL ENTRE CLIMA PADRÃO E CLIMA REAL EM (A) TEMPERATURA E (B) GD NA LOJA III.	135

FIGURA 78. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO DIÁRIA ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA III.....	136
FIGURA 79. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM TEMPERATURA NA LOJA III.....	136
FIGURA 80. CURVAS OBTIDAS COM A RELAÇÃO MENSAL ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO E CLIMA PADRÃO EM GD NA LOJA III.....	136
FIGURA 81. VALORES MÉDIOS ANUAIS DO COP DOS COMPRESSORES DOS SISTEMAS DE MÉDIA E BAIXA TEMPERATURA NA LOJA IV.....	137
FIGURA 82. EVOLUÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA LOJA IV COM A PENALIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS COMPRESSORES.....	137
FIGURA 83. VALORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL ANTES E DEPOIS DA PENALIZAÇÃO DO COP NA LOJA IV.....	137
FIGURA 84. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A INTRODUÇÃO DOS DADOS REAIS.....	138
FIGURA 85. FOLHA DA FERRAMENTA PARA AS RELAÇÕES ENTRE O CONSUMO CALCULADO E O CLIMA PADRÃO.....	138
FIGURA 86. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A CORREÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO DO SISTEMA DE FRIO.....	139
FIGURA 87. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A APRESENTAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO CORRIGIDO DO SISTEMA DE FRIO.....	139
FIGURA 88. FOLHA DA FERRAMENTA PARA A APRESENTAÇÃO DAS ANÁLISES ÀS CONDIÇÕES DO AR INTERIOR E DO AR EXTERIOR DA LOJA.....	139
FIGURA 89. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL RESULTANTE DA ANÁLISE DIÁRIA COM TEMPERATURA NO CASO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA.....	140
FIGURA 90. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL RESULTANTE DA ANÁLISE DIÁRIA COM GD NO CASO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA.....	140
FIGURA 91. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL RESULTANTE DA ANÁLISE MENSAL COM GD NO CASO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORREÇÃO CLIMÁTICA.....	141
FIGURA 92. EVOLUÇÃO DO CONSUMO CALCULADO PELO CREPE E DO CONSUMO REAL AO LONGO DO ANO, LOJA I.....	142
FIGURA 93. EVOLUÇÃO DO CONSUMO CALCULADO PELO CREPE E DO CONSUMO REAL AO LONGO DO ANO, LOJA III.....	143
FIGURA 94. EVOLUÇÃO DO CONSUMO CALCULADO PELO CREPE E DO CONSUMO REAL AO LONGO DO ANO, LOJA IV.....	144
FIGURA 95. RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO ELÉTRICO REAL DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E O CLIMA REAL EM TEMPERATURA.....	145
FIGURA 96. COMPARAÇÃO ENTRE CLIMAS DE 2013 A 2019.....	146

FIGURA 97. COMPARAÇÃO ENTRE O CLIMA PADRÃO E O CLIMA DE 2013.....146

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES ALTERNATIVOS QUANTO À CONSTRUÇÃO ((DOSSAT, 1961), (STOECKER & JONES, 1983) E (WANG, 2001))	38
TABELA 2. IMPACTO AMBIENTAL E CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SEGURANÇA DE FLUIDOS FRIGORIGÉNEOS (ADAPTADO DE (ASHRAE, 2018)).	47
TABELA 3. VALORES TÍPICOS DE TEMPERATURAS PARA A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS EM LOJAS DE RETALHO ALIMENTAR (RETIRADO E ADAPTADO DE (LIKAR & JEVŠNIK, 2004)).	48
TABELA 4. VALORES PERCENTUAIS DAS CARGAS TÉRMICAS ADICIONADAS POR EQUIPAMENTOS INSTALADOS EM EXPOSITORES A FUNCIONAR A TEMPERATURA BAIXA E A TEMPERATURA MÉDIA (ADAPTADO DE (CARBON TRUST, 2012)).	52
TABELA 5. INDICADORES COMPARATIVOS DE BENCHMARKING ENERGÉTICO, PARTE 1.....	53
TABELA 6. INDICADORES COMPARATIVOS DE BENCHMARKING ENERGÉTICO, PARTE 2.....	54
TABELA 7. INFORMAÇÕES GERAIS RELATIVAS AOS CASOS DE ESTUDO.....	67
TABELA 8. TIPO E QUANTIDADE DE EXPOSITORES E CÂMARAS NA LOJA I.....	68
TABELA 9. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE FRIO NA CENTRAL TÉRMICA DA LOJA I	68
TABELA 10. TIPO E QUANTIDADE DE EXPOSITORES FRIGORÍFICOS NA LOJA II	73
TABELA 11. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE FRIO NA CENTRAL TÉRMICA DA LOJA II.....	74
TABELA 12. TIPO E QUANTIDADE DE EXPOSITORES FRIGORÍFICOS NA LOJA III	75
TABELA 13. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE FRIO NA CENTRAL TÉRMICA DA LOJA III.....	76
TABELA 14. INFORMAÇÕES GERAIS RELATIVAS AO CASO DE APLICAÇÃO	79
TABELA 15. TIPO E QUANTIDADE DE EXPOSITORES FRIGORÍFICOS NO CASO DE APLICAÇÃO	79
TABELA 16. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE FRIO NA CENTRAL TÉRMICA DO CASO DE APLICAÇÃO ...	80
TABELA 17. ESTAÇÕES CLIMÁTICAS DIFERENTES PARA COMPARAÇÃO COM CLIMA DE REFERÊNCIA	83
TABELA 18. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL OBTIDOS PELO CREPE ANTES DA CORREÇÃO CLIMÁTICA	108
TABELA 19. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL OBTIDOS NA CORREÇÃO CLIMÁTICA COM TEMPERATURA.....	109
TABELA 20. INDICADORES DE <i>BENCHMARKING</i> EXPECTÁVEL OBTIDOS NA CORREÇÃO CLIMÁTICA COM GD	109
TABELA 21. DESVIOS ENTRE OS INDICADORES MENSIS RELATIVAMENTE AOS INDICADORES DIÁRIOS COM TEMPERATURA.....	110
TABELA 22. DESVIOS ENTRE OS INDICADORES MENSIS RELATIVAMENTE AOS INDICADORES DIÁRIOS COM GD	111

TABELA 23. DESVIOS ENTRE OS INDICADORES CLIMÁTICOS TEMPERATURA E GD.....	111
--	-----

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	<i>Enquadramento</i>	29
1.1.1	Refrigeração	29
1.1.2	Lojas de retalho alimentar	29
1.1.3	Consumo energético numa loja de retalho alimentar	29
1.2	<i>Apresentação da empresa</i>	30
1.3	<i>Objetivos</i>	30
1.4	<i>Estrutura</i>	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	<i>Sistema de refrigeração em lojas de retalho alimentar</i>	35
2.2	<i>Ciclo de refrigeração</i>	35
2.2.1	Ciclo de refrigeração simples	35
2.3	<i>Equipamentos do ciclo de refrigeração</i>	36
2.3.1	Compressor	36
2.3.1.1	Compressor alternativo	37
2.3.1.2	Compressor de parafuso	38
2.3.1.3	Compressor scroll	39
2.3.1.4	Controlo no compressor para melhoria da eficiência energética do sistema	40
2.3.1.5	Arrefecimento do compressor	40
2.3.2	Condensador	41
2.3.2.1	Condensador arrefecido a ar	41
2.3.2.2	Condensador evaporativo	42
2.3.2.3	Controlo no condensador para melhoria da eficiência energética do sistema	43
2.3.3	Dispositivos de expansão	44
2.3.4	Evaporador	45
2.3.4.1	Evaporador de placas	45
2.3.5	Fluido frigorigéneo	46
2.4	<i>Tipologia de equipamentos de frio usados em lojas de retalho alimentar</i>	48
2.4.1	Temperaturas típicas na conservação de alimentos	48
2.4.2	Expositores horizontais e verticais	49

2.4.3	Funcionamento de um expositor	49
2.4.4	Desempenho do expositor e condições do ar ambiente da loja	50
2.4.5	Carga de refrigeração	50
2.4.6	Câmaras frigoríficas (<i>Walk-in</i>)	52
2.5	<i>Ferramentas de análise energética</i>	53
2.5.1	<i>Benchmarking</i> energético	53
2.5.2	IES-VE	54
2.5.3	CREPE	54
3	DESENVOLVIMENTO	59
3.1	<i>Fator de correção à eficiência energética dos compressores</i>	60
3.2	<i>Calibração do simulador CREPE</i>	62
3.3	<i>Correção climática</i>	65
3.4	<i>Casos de estudo</i>	67
3.4.1	Caso de estudo – Loja I	67
3.4.1.1	Penalização do COP dos compressores	69
3.4.1.2	Calibração do CREPE	69
3.4.1.3	Correção climática do consumo elétrico expectável	71
3.4.2	Caso de estudo – Loja II	73
3.4.3	Caso de estudo – Loja III	75
3.5	<i>Ferramenta de correção climática</i>	77
3.5.1	Caso de aplicação – Loja IV	79
3.6	<i>Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração</i>	82
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	87
4.1	<i>Caso de estudo – Loja I</i>	87
4.1.1	Penalização do COP dos compressores	87
4.1.2	Calibração do CREPE	89
4.1.3	Correção climática	91
4.1.4	Síntese de resultados	95
4.2	<i>Caso de estudo – Loja II</i>	96
4.2.1	Penalização do COP dos compressores	96
4.2.2	Calibração do CREPE	97
4.2.3	Correção climática	99

4.2.4	Síntese de resultados.....	101
4.3	<i>Caso de estudo – Loja III.....</i>	<i>102</i>
4.3.1	Penalização do COP dos compressores	102
4.3.2	Correção climática	103
4.3.3	Síntese de resultados.....	106
4.4	<i>Caso de aplicação – Loja IV.....</i>	<i>106</i>
4.5	<i>Análise global de resultados</i>	<i>108</i>
4.5.1	Indicadores de <i>benchmarking</i> expectável	108
4.5.2	Análise de sensibilidade dos indicadores de <i>benchmarking</i> expectável aos dados climáticos	110
4.6	<i>Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração.....</i>	<i>114</i>
5	CONCLUSÕES	121
6	Bibliografia	125
7	Anexos.....	131
7.1	<i>Resultados da análise ao caso de estudo Loja I</i>	<i>131</i>
7.2	<i>Resultados da análise ao caso de estudo Loja II</i>	<i>132</i>
7.3	<i>Resultados da análise ao caso de estudo Loja III</i>	<i>135</i>
7.4	<i>Resultados da penalização do COP no caso de aplicação Loja IV</i>	<i>137</i>
7.5	<i>Aplicação da ferramenta climática numa loja real</i>	<i>138</i>
7.5.1	Indicadores de <i>benchmarking</i>	140
7.6	<i>Análise do impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração</i>	<i>142</i>
7.6.1	Comparação entre consumos calculado e real	142
7.6.2	Análises teóricas	146

INTRODUÇÃO

1.1 *Enquadramento*

1.2 *Apresentação da empresa*

1.3 *Objetivos*

1.4 *Estrutura*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.1.1 Refrigeração

A refrigeração pode ser definida como o processo artificial de transferência de calor de um meio ou espaço para um outro a maior temperatura (Prasad, 2009).

Os alimentos são produtos perecíveis que devem ser mantidos a determinadas condições de conservação de modo a preservar os seus nutrientes (Prasad, 2009). Os métodos utilizados para a sua conservação, nomeadamente, a salmoura, a desidratação, a fermentação e a refrigeração foram evoluindo ao longo de séculos (Nummer, 2002). Atualmente, o método mais utilizado tanto por produtores e vendedores, como por consumidores é a refrigeração (Prasad, 2009).

1.1.2 Lojas de retalho alimentar

Na primeira metade do século XX, as lojas de comércio alimentar eram independentes e a oferta era inferior à atual, pois vendiam apenas à comunidade local. A oferta começou a aumentar após a segunda guerra mundial devido à influência norte-americana e surgiram, assim, os primeiros supermercados (Evans & Foster, 2015).

1.1.3 Consumo energético numa loja de retalho alimentar

Atualmente, o setor dos serviços, ao qual pertencem as lojas de retalho alimentar, é o segundo setor que mais energia consome, 30,4%, a seguir ao setor industrial, 36,6% (Eurostat, 2018). Por sua vez, as lojas de retalho alimentar são responsáveis por grande parte desse consumo (CIBSE, 2004). Isso deve-se, principalmente, à necessidade de existirem equipamentos para a conservação de perecíveis (sistema de refrigeração), mas também a equipamentos de iluminação e de climatização da loja. Dentro do sistema de refrigeração, o componente que mais energia consome é o compressor, seguido pelos expositores frigoríficos, Figura 1.

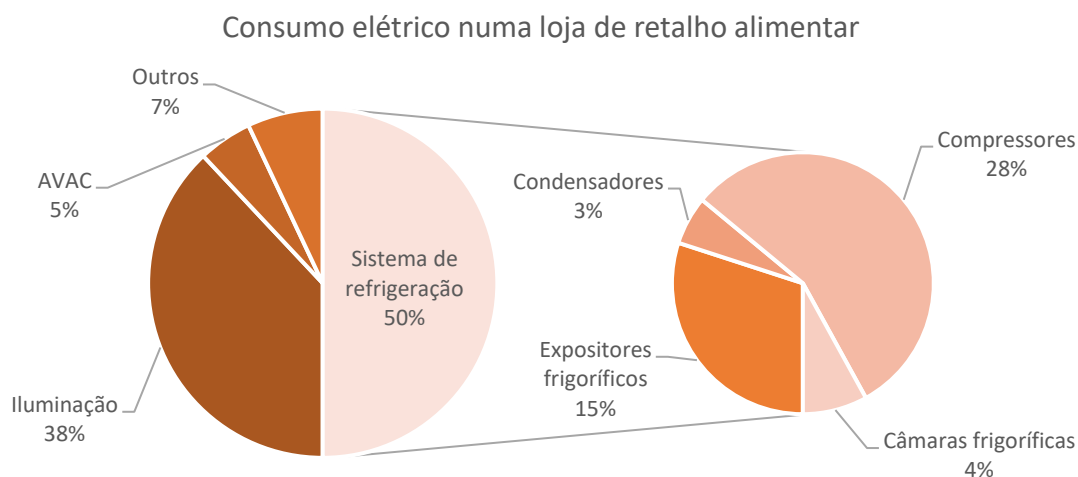


Figura 1. Desagregação dos consumos elétricos numa loja de retalho alimentar e no sistema de frio instalado na própria loja (adaptado de (ASHRAE, 2018)).

Esses consumos devem ser avaliados e, se possível, reduzidos para aumentar a eficiência energética das instalações. Contudo, essa avaliação é complexa devido à interdependência dos vários sistemas apresentados na Figura 1, designadamente, iluminação, aquecimento e arrefecimento, refrigeração, ocupação e tempo de funcionamento.

1.2 Apresentação da empresa

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na empresa Edifícios Saudáveis Consultores (ESC). Fundada em 1996, iniciou a sua atividade colaborando em projetos europeus de investigação no âmbito da sustentabilidade ambiental em edifícios e redução de custos. Pioneira em certificação LEED e BREEAM em Portugal, LEED GOLD na Península Ibérica e LEED PLATINUM em supermercados na Europa, mantém colaborações com empresas multinacionais na Europa e na América do Sul. É responsável pela economia de energia num conjunto de edifícios cuja área ultrapassa 4 000 000 m², nos quais se incluem centros comerciais, supermercados e hipermercados, hotéis, casinos, entre outros (Edifícios Saudáveis Consultores, 2015).

1.3 Objetivos

O trabalho apresentado foi elaborado de forma a atingir os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma ferramenta para a correção climática do consumo elétrico calculado por um simulador energético;
- Identificar e estudar o processo de correção climática do consumo elétrico calculado por um simulador energético;
- Determinar os formatos climáticos mais indicados para análises de *benchmarking* energético;

- Determinar o impacto do clima no consumo elétrico do sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar;
- Corrigir a eficiência dos compressores num simulador energético.

O trabalho da presente dissertação consistiu na otimização de um simulador energético criado pela empresa ESC, bem como na determinação do impacto climático no consumo elétrico do sistema de refrigeração de diferentes lojas de retalho alimentar.

A empresa ESC sentiu a necessidade de criar, anteriormente ao trabalho elaborado, uma ferramenta de simulação energética que calculasse o consumo elétrico expectável de um sistema de frio. O simulador, *Commercial Refrigeration Energy Performance Evaluator* (CREPE), devolve esse consumo expectável tendo em conta o clima anual de referência ou padrão respetivo à localização geográfica de cada loja. Com vista a perceber o impacto do clima no consumo, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de corrigir o consumo calculado pelo CREPE aplicando o clima real para o período em análise e respetiva localização geográfica da loja.

Para além da correção climática, foi também necessário otimizar o cálculo do consumo no simulador, em específico, a eficiência dos compressores. O CREPE considerava, para efeitos de cálculo, a eficiência nominal dos compressores. Contudo, a eficiência dos equipamentos diminui ao longo do tempo. O simulador carecia, por isso, de penalização face ao tempo de utilização dos mesmos.

1.4 Estrutura

O presente documento encontra-se dividido nos seguintes 5 capítulos:

- Capítulo 1: breve introdução aos temas abordados nos subseqüentes capítulos;
- Capítulo 2: revisão bibliográfica centrada no ciclo de refrigeração, bem como nos equipamentos que constituem um sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar;
- Capítulo 3: desenvolvimento com a descrição dos processos realizados para a otimização da ferramenta de cálculo, a apresentação dos casos de estudo analisados, assim como apresentação da ferramenta de correção climática e do caso de aplicação da mesma;
- Capítulo 4: análise dos resultados obtidos nos casos de estudo e no caso de aplicação da ferramenta de correção climática desenvolvida, tal como apresentação de análises complementares ao estudo;
- Capítulo 5: apresentação de conclusões.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de refrigeração em lojas de retalho alimentar

2.2 Ciclo de refrigeração

2.3 Equipamentos do ciclo de refrigeração

2.4 Tipologia de equipamentos de frio usados em lojas de retalho alimentar

2.5 Ferramentas de análise energética

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de refrigeração em lojas de retalho alimentar

As lojas de retalho alimentar dependem do sistema de refrigeração para a conservação dos produtos alimentares, pois é responsável por manter os espaços de armazenamento e os espaços de exposição à temperatura requerida pelo produtor.

O sistema de refrigeração é composto por:

- **Compressor:** eleva a pressão do fluido frigorífero que permite a circulação do mesmo na rede de frio;
- **Condensador:** condensa o fluido frigorífero libertando calor para um meio externo;
- **Dispositivo de expansão:** reduz a pressão do fluido frigorífero e controla a quantidade do mesmo que entra do evaporador;
- **Evaporador:** remove calor do espaço a refrigerar com a evaporação do fluido frigorífero;
- **Fluido frigorífero:** meio de transporte da energia térmica;
- **Câmaras frigoríficas:** local mantido a determinada temperatura para o armazenamento dos produtos alimentares;
- **Expositores frigoríficos:** local mantido a determinada temperatura para a exposição dos produtos alimentares;
- **Rede de distribuição:** distribui o fluido frigorífero pelos componentes do sistema;
- **Controlo do sistema:** responsável por monitorizar e controlar o funcionamento dos componentes do sistema de refrigeração de forma a obter a máxima eficiência energética dos mesmos.

Ao longo do presente capítulo, são abordados temas como o funcionamento do sistema de refrigeração numa loja de retalho alimentar, os seus componentes e o controlo de alguns desses componentes para a melhoria da eficiência energética do sistema.

2.2 Ciclo de refrigeração

2.2.1 Ciclo de refrigeração simples

O ciclo de refrigeração simples ideal é um processo termodinâmico baseado no ciclo de Carnot inverso. Processo esse que permite a transferência de energia térmica de um espaço a menor temperatura para um outro a maior temperatura, através da introdução de trabalho, Figura 2 (Çengel & Boles, 2015).

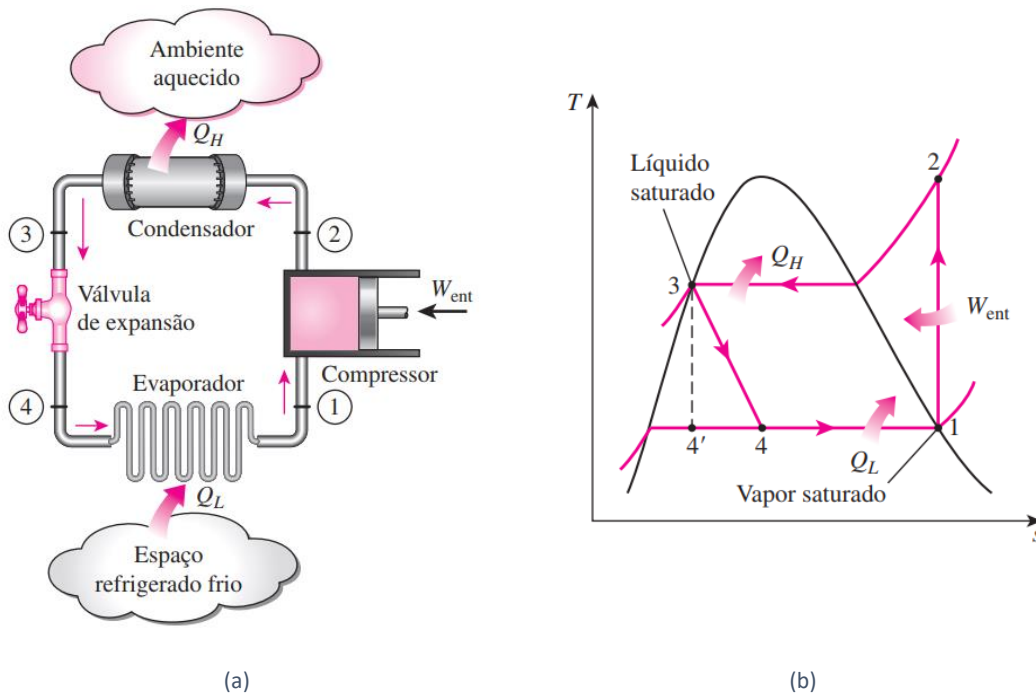


Figura 2. Ciclo de refrigeração simples: (a) esquema de funcionamento; (b) diagrama T-s (Çengel & Boles, 2013).

Seguindo a numeração da Figura 2, o ciclo consiste em quatro processos:

- **[1-2] Compressão isentrópica:** o fluido frigorigéneo é comprimido no compressor passando de vapor saturado a vapor sobreaquecido;
- **[2-3] Condensação isobárica:** o fluido atravessa o condensador e perde calor para o espaço exterior passando de vapor sobreaquecido para líquido saturado;
- **[3-4] Expansão isentálpica:** ao passar na válvula de expansão, o fluido frigorigéneo perde pressão e, conseqüentemente, diminui a temperatura;
- **[4-1] Evaporação isobárica:** o fluido frigorigéneo passa pelo evaporador e absorve calor do espaço que se pretende refrigerar.

Considera-se como indicador de eficiência energética do ciclo o coeficiente de desempenho (COP) (CIBSE, 2016):

$$COP = \frac{\text{Carga de refrigeração [kW]}}{\text{Potência introduzida pelo compressor [kW]}} = \frac{Q_L}{W_{ent}} \quad (2.1)$$

2.3 Equipamentos do ciclo de refrigeração

2.3.1 Compressor

O compressor é o componente responsável pela função crítica de elevar a pressão de evaporação do fluido frigorigéneo até à pressão de condensação mantendo-o a circular ao longo da rede de frio. Conseqüentemente, a temperatura do fluido aumenta. É, também, o principal consumidor de energia no sistema de refrigeração (Wang, 2001).

Os compressores alternativos, de parafuso e *scroll* são os mais usados em aplicações de refrigeração comercial (Stoecker & Jones, 1983).

2.3.1.1 Compressor alternativo

Os compressores alternativos, Figura 3, podem ser constituídos por dois, quatro ou seis cilindros. Cada cilindro é composto por um pistão, uma biela, uma manivela e duas válvulas – uma de sucção e outra de descarga –, Figura 4.

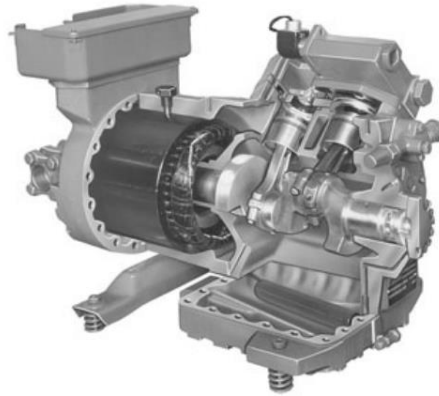


Figura 3. Compressor alternativo (Trane, 2014).

A Figura 4 representa as etapas do ciclo de compressão.

O fluido é admitido no cilindro quando a válvula de admissão abre e o pistão se desloca no sentido descendente, Figura 4 (a) e (b). Já no movimento inverso, o mesmo fluido é comprimido saindo pela válvula de descarga, Figura 4 (c) e (d).

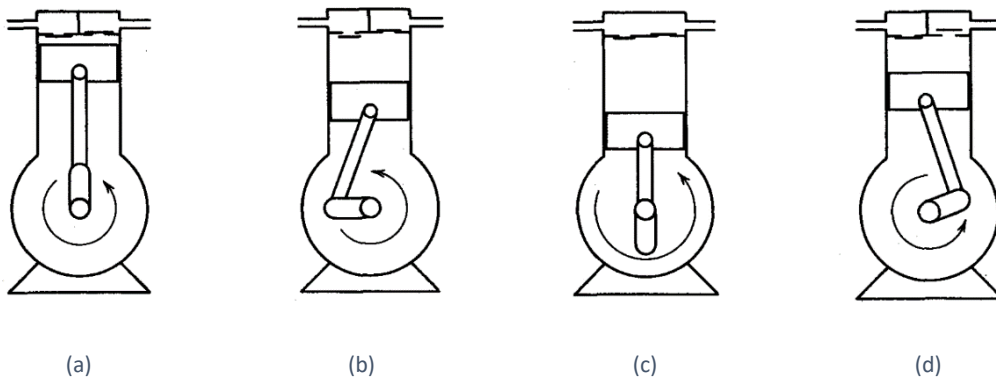


Figura 4. Posicionamento do pistão dentro do cilindro: (a) pistão na posição máxima ascendente; (b) válvulas de sucção abrem; (c) pistão na posição máxima descendente; (d) válvulas de descarga abrem (Dossat, 1961).

De acordo com o tipo de construção, os compressores alternativos podem ser divididos em três grupos:

Tabela 1. Classificação dos compressores alternativos quanto à construção ((Dossat, 1961), (Stoecker & Jones, 1983) e (Wang, 2001))

Classificação	Construção	Aplicações
Herméticos Figura 5 (a)	O motor e o compressor estão alojados no mesmo compartimento. Pelo facto de ser um compartimento selado, as fugas de fluido frigorigéneo são minimizadas e existe reaproveitamento de vapor (antes da compressão) para o arrefecimento do motor.	Até 18 kW
Semi-herméticos Figura 5 (b)	O motor e o compressor estão alojados no mesmo compartimento que pode ser aberto para eventuais manutenções.	Até 200 kW
Abertos Figura 5 (c)	O motor e o compressor estão alojados separadamente e unidos por um veio de transmissão. É necessário o uso de vedantes para minimizar fugas de fluido frigorigéneo. O motor é arrefecido com um ventilador.	Até 875 kW

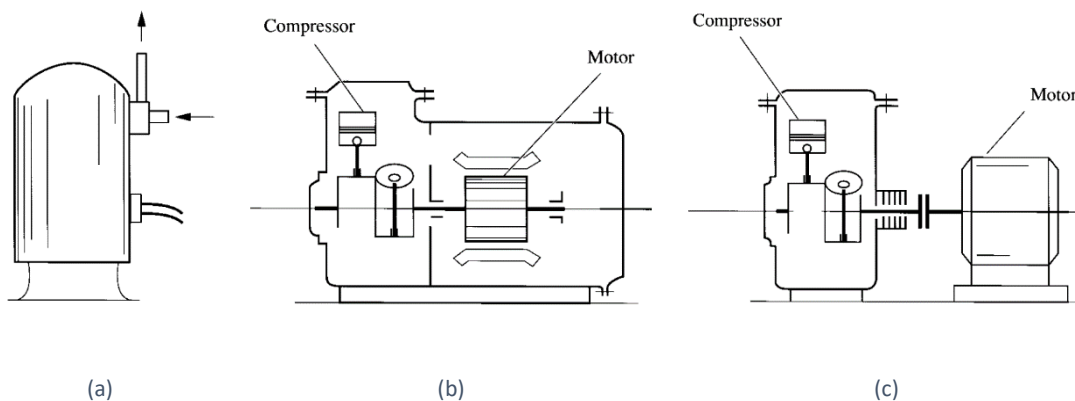


Figura 5. Compressores alternativos: (a) hermético; (b) semi-hermético; (c) aberto (Wang, 2001).

2.3.1.2 Compressor de parafuso

O recurso a compressores de parafuso é comum em instalações de grande escala, onde a carga térmica é mais elevada. No caso dos compressores de parafuso simples, Figura 6 (a), a compressão é realizada por via da rotação de um parafuso dentado ligado a dois rotores secundários que fazem passar o fluido frigorigéneo desde a abertura de sucção até à de descarga. Já no caso dos compressores de parafuso duplo, o processo é idêntico diferindo apenas no número de parafusos e rotores, Figura 6 (b) (Wang, 2001).

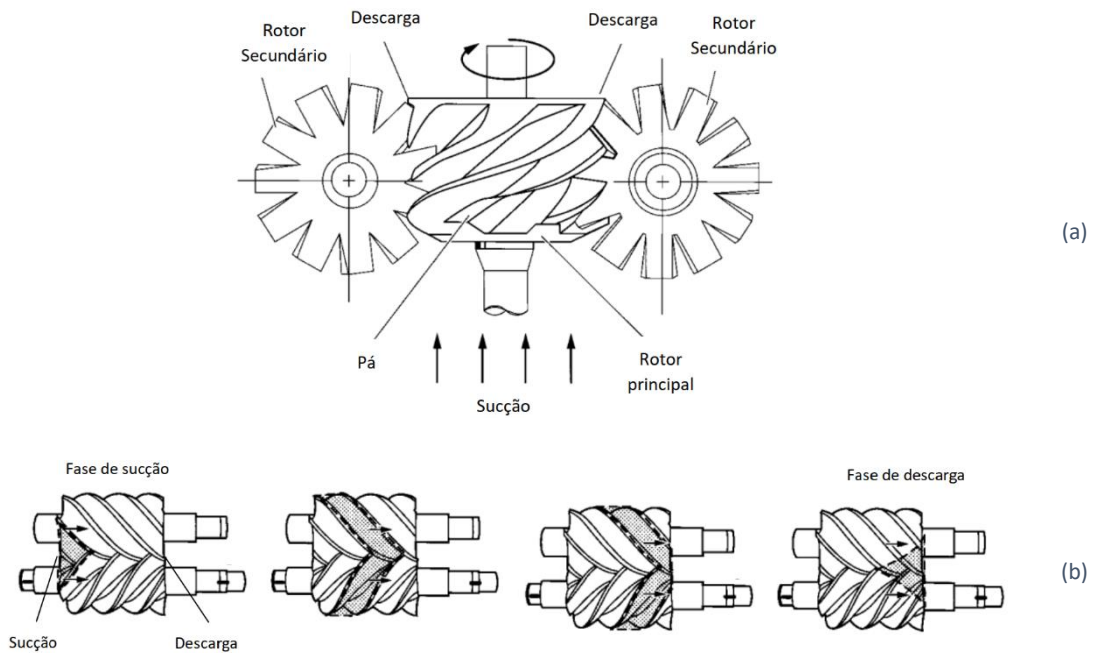


Figura 6. Compressores de parafuso: (a) simples; (b) duplo (Wang, 2001).

2.3.1.3 Compressor scroll

O princípio de funcionamento dos compressores *scroll* é semelhante ao dos compressores de parafuso, uma vez que ambos aumentam a pressão do fluido ao rodar dois componentes em sentido oposto, reduzindo o volume entre eles. Representado na Figura 7, o fluido refrigerante entra no compressor pelas duas aberturas de admissão, percorre o espaço entre o *scroll* imóvel e o *scroll* móvel, saindo pela abertura de descarga (Trane, 2011).

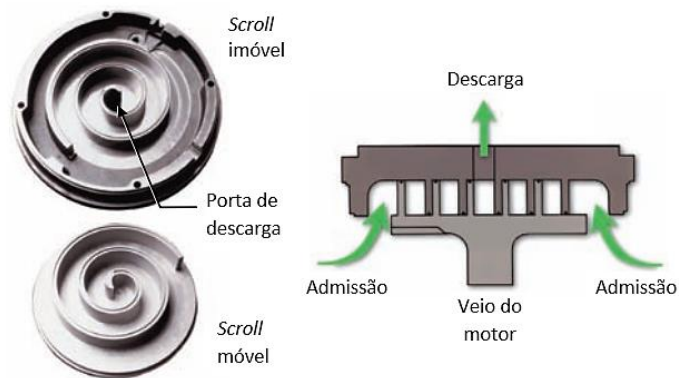


Figura 7. Compressor Scroll (traduzido de (Trane, 2011)).

Para além de ser amplamente utilizado em sistemas de climatização, este tipo de compressor pode também ser encontrado em expositores frigoríficos autónomos, isto é, em expositores que não estão ligados ao sistema central de refrigeração pois são constituídos pelo sistema de frio completo.

2.3.1.4 Controlo no compressor para melhoria da eficiência energética do sistema

A eficiência do compressor varia de modelo para modelo. Porém, em todos é afetada pela pressão de sucção e pela operação do próprio compressor (Danfoss, 2007).

O controlo no compressor pode ser conseguido através dos seguintes métodos:

- **ON/OFF:** trata-se de um sistema intermitente que aciona o compressor quando a temperatura no interior do expositor atinge um máximo aceitável e o desliga quando essa temperatura chega a um valor mínimo requerido. Apesar de ter um investimento inicial reduzido, não é o método mais eficiente quando comparado com os seguintes, pois os sucessivos acionamentos do motor provocam picos de corrente e conseqüente aumento do consumo, Figura 8 (a) (Danfoss, 2009);
- **Controlo por estágios:** o controlo pode ser realizado com a desativação de cilindros de compressores alternativos, com o fecho ou a abertura de válvulas de sucção ou, também, com a ativação ou desativação de compressores que compõem o sistema de compressores (Danfoss, 2014);
- **Variador de frequência (VFD):** apesar de mais dispendioso, é o método mais eficiente. O variador de frequência ajusta a velocidade do motor consoante a necessidade de refrigeração, o que o torna mais eficiente. Por exemplo, um compressor com quatro cilindros a funcionar com controlo ON/OFF, chegando a necessidade de utilizar apenas 75% da capacidade do compressor, este manter-se-á a trabalhar a 100% desperdiçando 25% de energia em subarrefecimento no expositor. Com o ajuste VFD, tal não acontece, uma vez que a utilização do compressor se aproxima da necessidade no expositor, Figura 8 (b) (Danfoss, 2009).

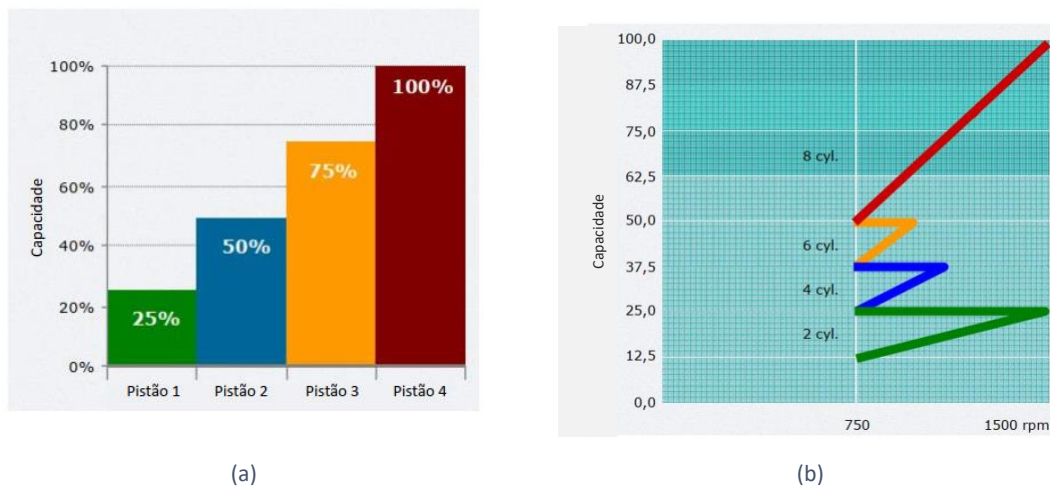


Figura 8. Compressor alternativo com dois tipos de controlo diferentes: (a) controlo ON/OFF; (b) controlo VFD (Traduzido de (Danfoss, 2009))

2.3.1.5 Arrefecimento do compressor

Os compressores são equipamentos que precisam de ser arrefecidos para prevenir o seu sobreaquecimento. Esse arrefecimento depende do tipo de compressor. Os compressores herméticos e semi-herméticos de pequenas dimensões usam vapor da

sucção para o efeito. Já os compressores abertos, tipicamente aplicados em sistemas de refrigeração de grande escala, usam óleo para o mesmo efeito (Danfoss, 2007).

Uma bomba circuladora ou a diferença entre a alta pressão e a baixa pressão fazem circular o óleo no compressor (Danfoss, 2007).

A temperatura e a pressão do óleo devem ser controladas de modo a garantir um funcionamento eficiente do compressor. A temperatura não deve ser superior à temperatura de ignição, para além de dever manter a viscosidade adequada do óleo. A diferença de pressões, também, deve ser mantida acima de um mínimo aceitável. Para o bom funcionamento dos compressores e a promoção de longevidade os limites propostos pelos seus fabricantes devem ser respeitados (Danfoss, 2007).

2.3.2 Condensador

Os condensadores funcionam como permutadores de calor que arrefecem o fluido frigorígeno até à sua condensação, através da troca de calor do fluido para um meio exterior, geralmente ar ou água. O processo de condensação ocorre em três etapas a pressão contante, Figura 9 (Stoecker & Jones, 1983):

1. **Arrefecimento** do fluido frigorígeno que se encontra no estado de vapor sobreaquecido;
2. **Condensação** do fluido, isto é, mudança do estado de vapor saturado para o estado de líquido saturado;
3. **Subarrefecimento** do fluido cuja transição de líquido saturado a líquido subarrefecido continua a libertar calor para o meio exterior.

O meio externo para o qual o fluido frigorígeno liberta calor é determinante para a classificação dos condensadores como condensadores arrefecidos a água, a ar e evaporativos. Em aplicações de refrigeração comercial é mais comum encontrar os dois últimos, por isso, apenas esses são abordados (Wang, 2001).

2.3.2.1 Condensador arrefecido a ar

Um condensador arrefecido a ar consiste numa serpentina dividida em duas partes de comprimentos diferentes – uma onde ocorre o arrefecimento do fluido frigorígeno e outra mais pequena, no final, onde se dá o subarrefecimento (Wang, 2001).

O fluido frigorígeno percorre o condensador verticalmente. É admitido como vapor sobreaquecido e extraído como líquido subarrefecido. Simultaneamente, um ventilador

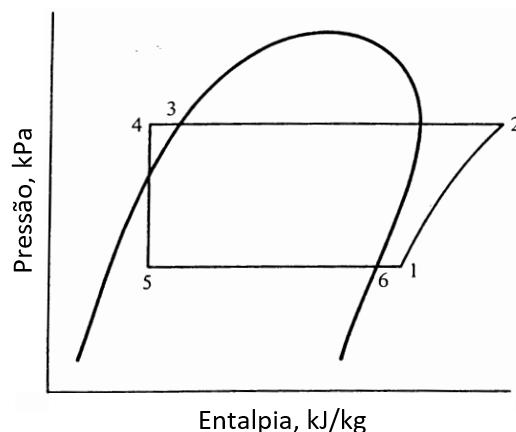


Figura 9. Diagrama P-h do ciclo de refrigeração com subarrefecimento (3 a 4) e sobreaquecimento (6 a 1) (Stoecker & Jones, 1983).

promove a passagem de ar no condensador de modo a aumentar a troca de calor do fluido para o ar, Figura 10 (Wang, 2001).

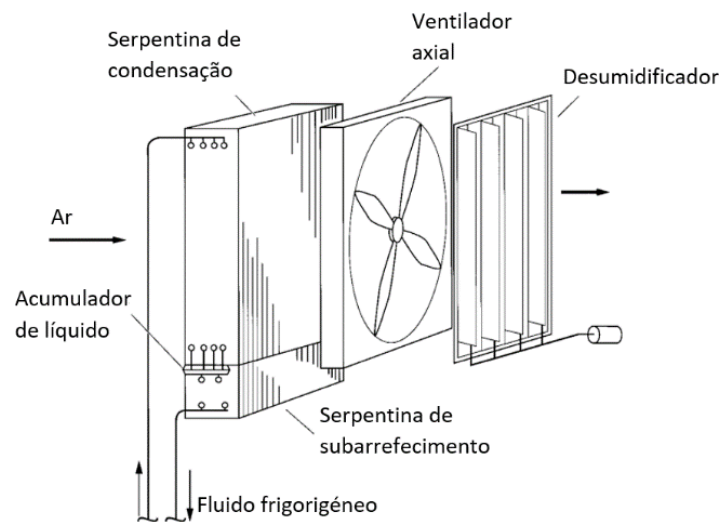


Figura 10. Condensador arrefecido a ar (Wang, 2001).

2.3.2.2 Condensador evaporativo

Um condensador evaporativo assemelha-se a uma torre de arrefecimento. Na Figura 11 estão ilustrados os vários componentes deste tipo de condensador – serpentina de condensação, jatos pulverizadores de água, ventiladores, entre outros – (Wang, 2001).

Trajeto do **ar** no condensador:

1. O ar entra no condensador, acima do reservatório de água;
2. Ascende passando pela serpentina de condensação para remover calor do fluido;
3. Atravessa o eliminador após ser pulverizado com água;
4. É, finalmente, libertado pelos ventiladores no topo do condensador.

Trajeto da **água** no condensador:

1. A água entra no condensador através de jatos pulverizadores;
2. Parte dessa água cai na superfície da serpentina de condensação e é evaporada, removendo calor do fluido refrigerante que se encontra a atravessar a serpentina pelo interior;
3. A água que não atinge a serpentina cai no reservatório de água.

Este tipo de condensador pode funcionar a baixas temperaturas de condensação e é uma solução mais económica a nível energético, visto que a troca de calor entre o condensador e o ar é feita através da temperatura de bolbo húmido do ar em vez da temperatura de bolbo seco. É, por esses motivos, usado em aplicações industriais e comerciais (Wang, 2001).

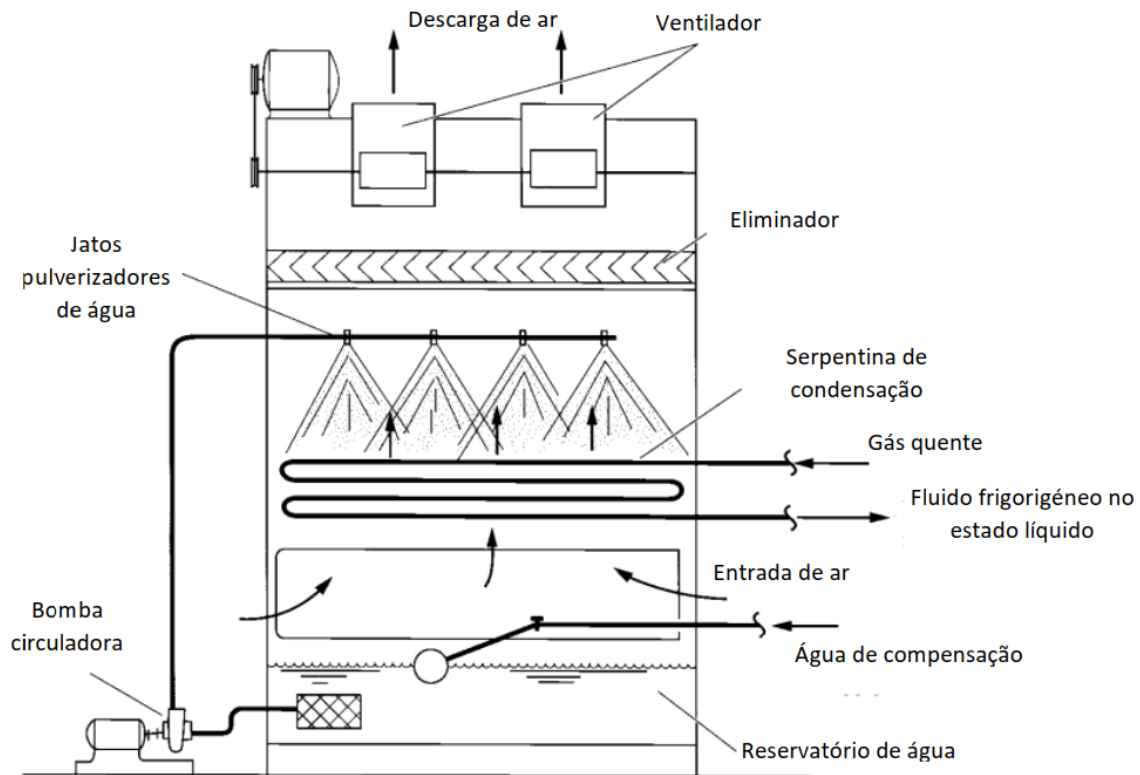


Figura 11. Condensador evaporativo (Wang, 2001).

2.3.2.3 Controlo no condensador para melhoria da eficiência energética do sistema

A transferência de calor num condensador ocorre devido a um gradiente de temperaturas entre a temperatura exterior e a temperatura de condensação.

Com o método de controlo da temperatura constante, a temperatura de condensação é mantida constante durante todo o ano, enquanto a do exterior varia consoante a estação e até mesmo durante o dia, fazendo com que o gradiente varie durante o mesmo período.

O método de controlo da temperatura flutuante pode ser implementado para poupança de energia sempre que a temperatura exterior o permita. Com esse método, é estabelecido um determinado gradiente de temperaturas fazendo variar a temperatura de condensação consoante a temperatura exterior.

Ambos os métodos são representados na Figura 12.

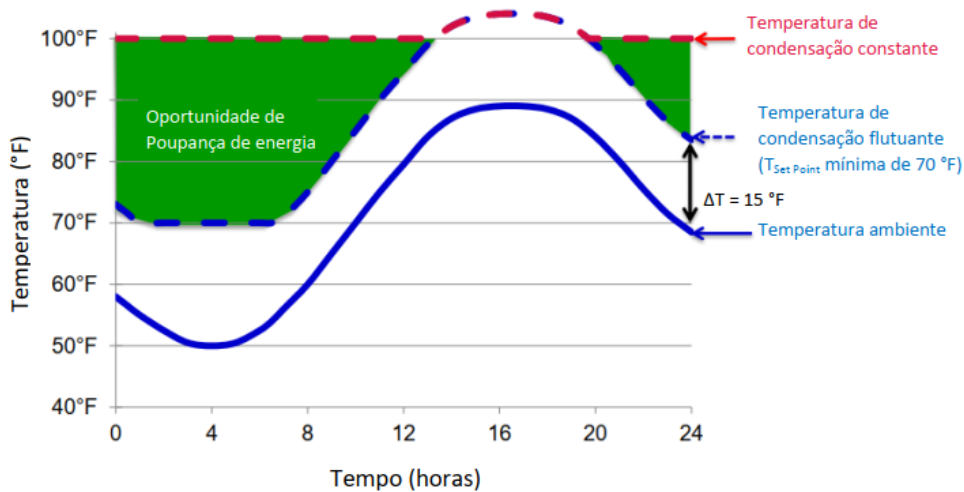


Figura 12. Comparação entre o método da temperatura de condensação constante e o método da temperatura flutuante (traduzido de (Emerson Climate Technologies, 2013)).

2.3.3 Dispositivos de expansão

O dispositivo de expansão tem duas funções principais, ou seja, deve **(1)** manter a diferença de pressão entre o evaporador e o condensador e **(2)** regular a quantidade de líquido que passa na linha de líquido. Existem vários tipos de dispositivos de expansão, entre eles, destacam-se:

- **Válvula de expansão termostática:** a regulação é feita tendo em conta a quantidade de vapor sobreaquecido que sai do evaporador, Figura 13. É composta por uma mola, um diafragma e um sensor de bolbo na saída do evaporador ligado à parte superior do diafragma através de um tubo capilar. Ao entrar na válvula no estado líquido, o fluido refrigerante reduz a pressão até atingir a pressão de evaporação (Stoecker & Jones, 1983);
- **Válvula de expansão eletrônica:** dispositivo mais eficaz, Figura 14, que necessita de menos energia elétrica do que o dispositivo anterior. É composta por três elementos principais – controlador, atuador e sensores. Os sensores de temperatura e pressão medem os valores de temperatura e de pressão do vapor sobreaquecido à saída do evaporador, transmitindo-os ao controlador que faz atuar ou não a abertura da válvula (Danfoss, 2007).

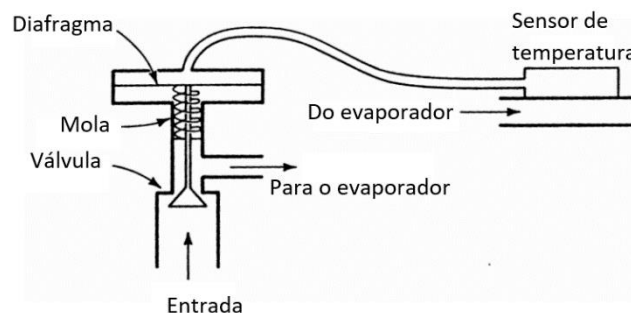


Figura 13. Válvula de expansão termostática (Stoecker & Jones, 1983).

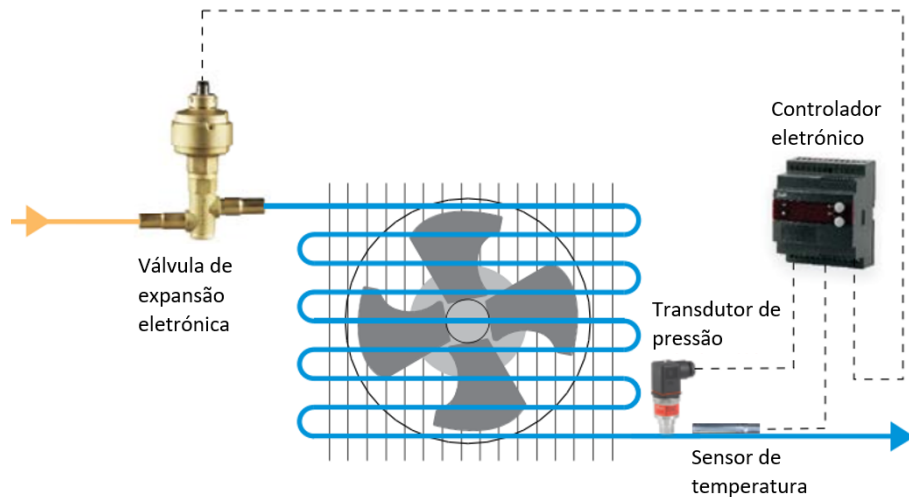


Figura 14. Válvula de expansão eletrônica (Danfoss, 2019).

2.3.4 Evaporador

O evaporador, tal como o condensador, funciona como um permutador de calor. Porém, o processo é inverso, já que a transferência de calor ocorre no sentido do ar do espaço a refrigerar para o fluido frigorífero. Seguindo novamente a Figura 9, o processo de evaporação ocorre em duas etapas (Stoecker & Jones, 1983):

1. **Aquecimento e evaporação** do fluido, ou seja, mudança de fase do estado líquido para vapor saturado;
2. **Sobreaquecimento** do fluido, isto é, ocorre transição do estado de vapor saturado para vapor sobreaquecido.

Os produtos refrigerados e o processo de evaporação são os fatores a ter em conta na classificação dos evaporadores. Os principais tipos de evaporadores são evaporadores com expansão direta, evaporadores inundados e evaporadores de placas (Wang, 2001). Esse último é o mais comum em refrigeração comercial, por isso, é o único abordado (Trane, 1999).

2.3.4.1 Evaporador de placas

O evaporador de placas, Figura 15, é constituído por serpentinas que passam por placas alhetadas. O ar, que passa pelo exterior da serpentina, liberta calor para o fluido frigorífero que se encontra no seu interior. O fluido transita, assim, de líquido para vapor saturado (Trane, 1999).

A sua construção induz turbulência ao longo do percurso do ar. Essa turbulência promove a transferência de calor e previne a estratificação da corrente de ar que sai do evaporador (Trane, 1999).

De modo a manter uma distribuição uniforme da transferência de calor, é usado um distribuidor que divide uniformemente o fluido pelos vários tubos de igual diâmetro e comprimento (Trane, 1999).

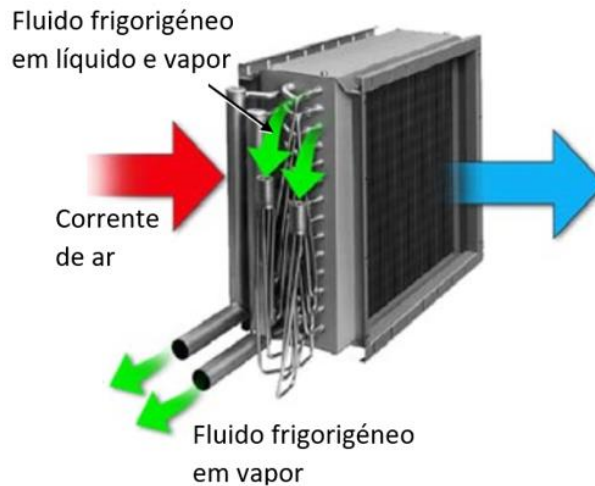


Figura 15. Evaporador de placas (Trane, 1999).

2.3.5 Fluido refrigerante

Nos sistemas de refrigeração, o fluido refrigerante é o meio que absorve calor de um espaço e o liberta para outro, normalmente através dos processos de evaporação e condensação, respetivamente (ASHRAE, 2017). A escolha do fluido pode afetar até 10% a eficiência do sistema (CIBSE, 2000).

As propriedades termodinâmicas, bem como o impacto ambiental e a segurança são aspetos a ter em conta aquando da seleção do fluido refrigerante a utilizar na instalação de frio (ASHRAE, 2017).

A carga de refrigeração do sistema é tanto maior, quanto maior for a entalpia latente de vaporização do fluido refrigerante. De notar que a carga de refrigeração deverá ser tão elevada quanto a necessidade (McQuiston, et al., 2005).

O desempenho do compressor é prejudicado pelo aumento da temperatura de condensação do fluido refrigerante. Esse aumento significa que o compressor deverá elevar a pressão do fluido de forma a ser atingida a temperatura de condensação requerida para existir transferência de calor no condensador entre o fluido e o meio exterior. Tal provoca o aumento de energia consumida pelo compressor. Por oposição, o aumento da temperatura de evaporação do fluido refrigerante favorece o desempenho do compressor. O efeito é devido à diminuição da diferença de temperaturas entre o fluido e o ar do expositor, que provoca a redução de energia necessária para o arrefecimento do ar (ASHRAE, 2017).

A libertação para a atmosfera de fluidos frigorigéneos, como clorofluorcarbonetos (CFC) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), contribui para a destruição da camada de ozono e para o aquecimento global. Para a medição desse impacto, são usados dois indicadores **(1)** potencial de destruição de ozono (*Ozone Depletion Potential – ODP*), um valor atribuído a cada fluido frigorigéneo relativo ao valor de R-11 e **(2)** potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential – GWP*) que compara a capacidade de reter energia radiante relativamente à do R-744 (ASHRAE, 2017).

A segurança de um fluido frigorigéneo é classificada quanto à inflamabilidade e à toxicidade do mesmo usando uma letra e um número, Figura 16.

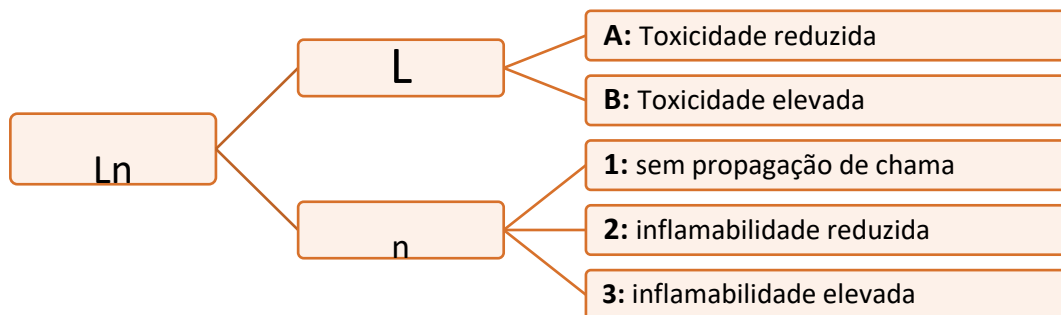


Figura 16. Classificação dos fluidos frigorigéneos quanto à toxicidade e inflamabilidade (ASHRAE, 2017).

Por exemplo, um fluido classificado com A3 é pouco tóxico, mas altamente inflamável. Essa classificação é apresentada na (ASHRAE, 2017).

Consultando a Tabela 2, é possível constatar que o fluido R-22 (HCFC) e o fluido R-134a, muito comum em refrigeração, têm um GWP quase 2000 vezes superior ao do R-744. Já o R-717, não contribui para o aquecimento global, apresentando um GWP de 0.

Tabela 2. Impacto ambiental e classificação quanto à segurança de fluidos frigorigéneos (adaptado de (ASHRAE, 2018)).

Fluido frigorigéneo	Aplicação	Temperatura a 101,3 kPa [°C]	Grupo de segurança	GWP ₁₀₀	ODP
R-22	Comercial e industrial	-40,8	A1	1700	0,055
R-134a	Doméstica, comercial e industrial	-26,1	A1	1300	0
R-717	Industrial	-33,3	B2	0	0
R-744	Comercial e industrial	-78,4	A1	1	0
R-404a	Comercial e industrial	-46,4	A1	3922	0

2.4 Tipologia de equipamentos de frio usados em lojas de retalho alimentar

Os equipamentos tipicamente usados na exposição de produtos refrigerados em lojas de retalho alimentar designam-se por expositores frigoríficos. Podem ser classificados como fechados, quando são equipados com porta, ou, pelo contrário, como abertos (Evans & Foster, 2015).

Num estudo realizado num supermercado na Nova Zelândia, onde foram instaladas portas em expositores abertos durante quatro meses – de junho a outubro de 2013 – foi registada uma redução de 42% no consumo elétrico (Robertson & Plugge, 2015).

Outra classificação desses equipamentos passa pela diferenciação tendo em conta a temperatura de exposição, isto é, média temperatura e baixa temperatura (Evans & Foster, 2015).

- **Média temperatura ou positivos:** os alimentos expostos são apenas refrigerados. Por esse motivo, a temperatura mantida no interior dos mesmos varia entre 0 e +10°C. Na Figura 17 e na Figura 18 estão ilustrados expositores comuns para essas temperaturas, nomeadamente, murais sem e com porta e vitrines;
- **Baixa temperatura ou negativos:** os alimentos expostos encontram-se congelados. Como tal, a temperatura de conservação é inferior a -18°C. Os expositores mais utilizados para estas temperaturas são ilhas com e sem porta e combinados, Figura 17 e Figura 18.

2.4.1 Temperaturas típicas na conservação de alimentos

A Tabela 3 apresenta temperaturas típicas usadas na conservação de alimentos em lojas de retalho alimentar retiradas de um estudo realizado na capital da Eslovénia, Ljubljana por (Likar & Jevšnik, 2004). Segundo o estudo, a carne é mantida entre 0 e 4°C, os laticínios entre 2 e 6°C, os gelados abaixo de -18°C e os ovos até 15°C.

Tabela 3. Valores típicos de temperaturas para a conservação de alimentos em lojas de retalho alimentar (retirado e adaptado de (Likar & Jevšnik, 2004)).

Produto alimentar	Temperatura requerida pelo produtor [°C]
Carne branca pré-embalada	De 0 a +4
Charcutaria pré-embalada	
Laticínios (Manteiga, logurtes, Queijo)	De +2 a +6
Gelados	Menos de -18
Ovos	Até +15

2.4.2 Expositores horizontais e verticais

Ambos os expositores horizontais e verticais podem ser abertos ou equipados com uma porta de vidro, dependendo, principalmente, da temperatura de operação e da função do expositor.

Nos expositores verticais, Figura 17, monitorizar o ar no lado da frente das prateleiras é importante para minimizar os ganhos de calor provenientes do exterior do expositor e, no caso de ser um expositor fechado com envidraçado, para reduzir a formação de condensado no mesmo (Evans & Foster, 2015).

Nos expositores horizontais, Figura 18, é comum observar-se ar condensado quer nas superfícies dos produtos, quer nas paredes do próprio expositor (Evans & Foster, 2015).

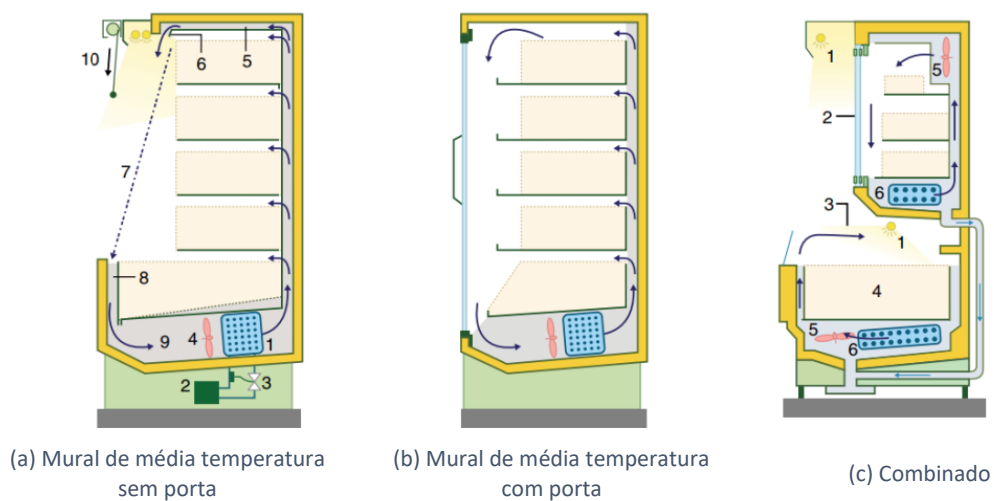


Figura 17. Expositores frigoríficos verticais (Evans & Foster, 2015).

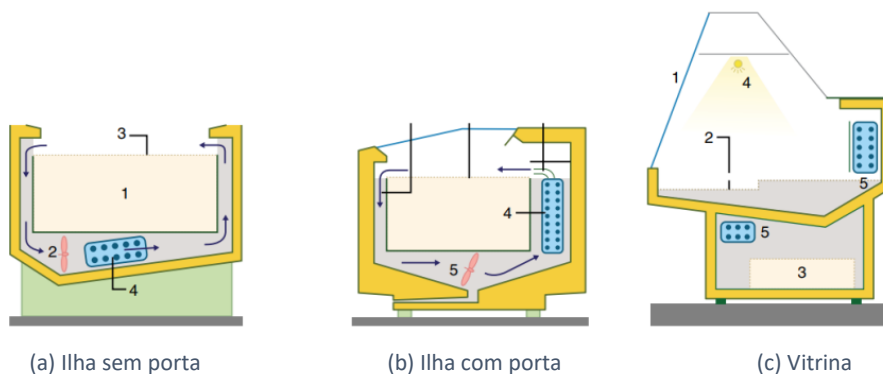


Figura 18. Expositores frigoríficos horizontais (Evans & Foster, 2015).

2.4.3 Funcionamento de um expositor

Analisando o expositor vertical aberto ilustrado na Figura 19, é possível perceber quais os equipamentos que o compõem e como o ar é movimentado no seu interior. O ar arrefecido, a determinada temperatura e humidade, entra no sentido descendente no expositor através de jatos (6), criando uma cortina de ar (7) que atua como barreira dificultando as trocas de calor com o ar exterior. Entra no espaço onde o evaporador se

encontra alojado (8 e 9), passa pelo ventilador (4) e atravessa o evaporador (1) trocando calor com o fluido refrigerante. Após essa troca, parte do ar é distribuído pelo expositor e o restante volta a passar pelos jatos (5 e 6) (Evans & Foster, 2015).

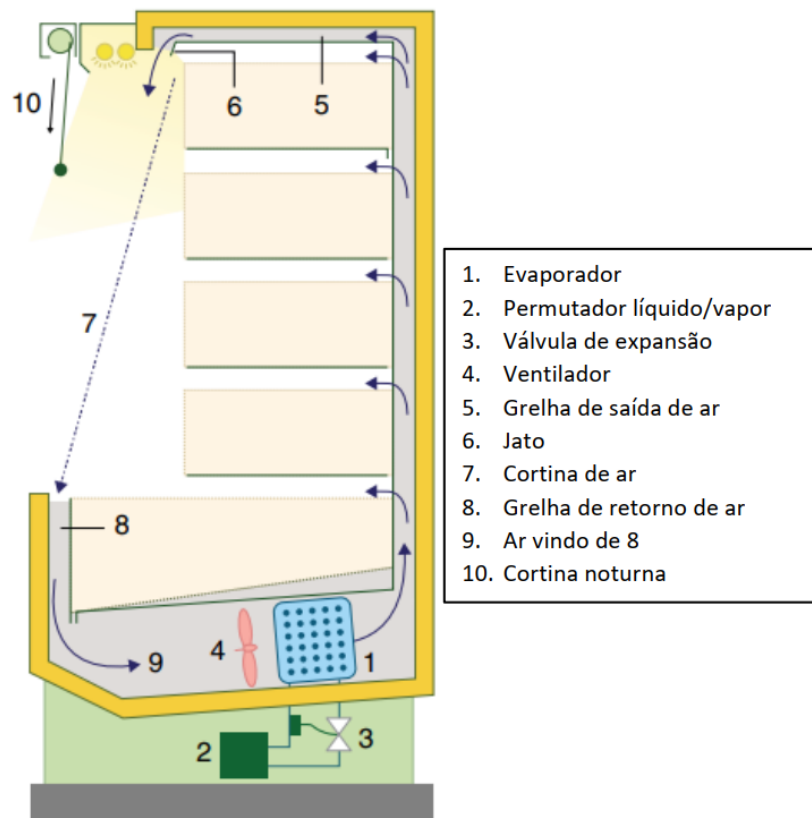


Figura 19. Funcionamento de um expositor aberto vertical (traduzido de (Evans & Foster, 2015)).

2.4.4 Desempenho do expositor e condições do ar ambiente da loja

Os expositores frigoríficos usados em lojas de retalho alimentar seguem os requisitos necessários para a construção, características e desempenho presentes na norma ISO 23953-2/2015 (ISO, 2015).

O desempenho dos expositores depende das condições do ar ambiente na loja, entre outras, a temperatura, o movimento do ar e a humidade relativa. A humidade, que depende da localização e do sistema de climatização da loja, é a característica que mais influencia esse desempenho, pois afeta a carga latente do ar. Quanto maior for a humidade, maior é a formação de condensado e/ou gelo (Evans & Foster, 2015).

2.4.5 Carga de refrigeração

Compreende-se por carga de refrigeração ou efeito de refrigeração como a taxa de calor a ser removida de um espaço de forma a ser mantido à temperatura desejada. Para tal, devem ser conhecidos os processos de transferência de calor – por condução, infiltração (convecção) e radiação – que ocorrem num expositor frigorífico e os componentes que os promovem (ASHRAE, 2018), (Evans & Foster, 2015)).

Esses processos de transferência de calor, Figura 20, podem ocorrer por:

- **Condução:** através da componente física dos componentes do expositor (ASHRAE, 2018);
- **Radiação:** devido às características das superfícies do expositor, nomeadamente, temperatura, emissividade, área e correspondente fator de forma (ASHRAE, 2018);
- **Infiltração:** maior contribuinte para a carga de refrigeração, deve-se à entrada indesejada no expositor de ar ambiente da loja a uma temperatura e a uma humidade superior às do ar refrigerado. Esse calor transporta-se de modo sensível e latente, sendo que o primeiro é consequência da diferença de temperatura e o segundo de humidade (ASHRAE, 2018).

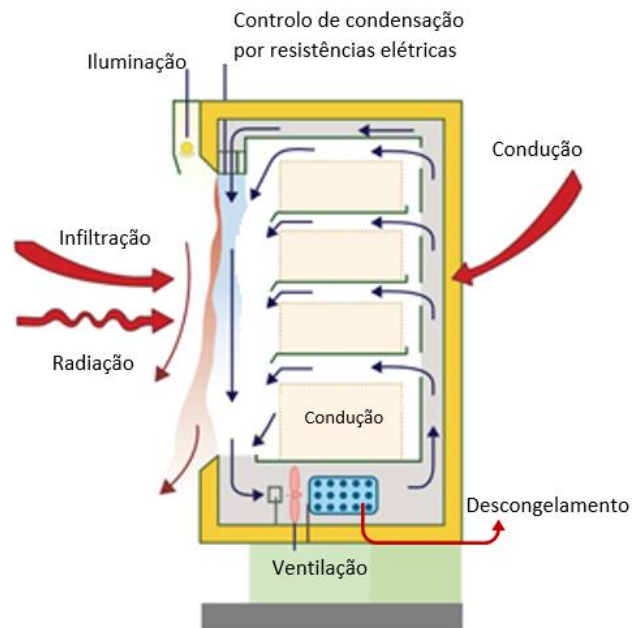


Figura 20. Ilustração de trocas de calor no expositor frigorígeno (traduzido de (Evans & Foster, 2015)).

Quanto aos equipamentos que contribuem para o aumento da carga de refrigeração, podem ser:

- **Iluminação:** os expositores são providos de lâmpadas fluorescentes e/ou LED, mais eficientes do que as primeiras, para que os clientes consigam ver os produtos expostos;
- **Motor do ventilador do evaporador:** de modo a promover a circulação de ar e, assim, aumentar as trocas de calor no evaporador, é usado um ventilador acionado por um motor elétrico que liberta calor;
- **Descongeladores:** à superfície do evaporador, onde ocorre a transferência de calor, pode ocorrer formação de gelo que atua como uma resistência térmica impedindo essa transferência de calor. Para a combater, é necessário recorrer a métodos de descongelamento com resistências elétricas ou com gás quente. No primeiro, o circuito de refrigeração é desligado, são ligadas resistências elétricas junto ao evaporador e o ventilador faz circular o ar à volta do mesmo aumentando, assim, a transferência de calor. No segundo, é aproveitado fluido frigorígeno no estado de vapor que, em vez de seguir para o condensador, é redirecionado para o evaporador descongelando o gelo (Evans & Foster, 2015);
- **Desembaciadores:** os expositores com porta de vidro são propensos à formação de condensado no vidro e, por esse motivo, requerem que sejam instalados aquecedores elétricos na estrutura da porta (ASHRAE, 2018);

- **Carga térmica do produto exposto:** o próprio produto alimentar liberta calor por transpiração e/ou pela diferença de temperaturas entre o produto e o expositor aquando da reposição (ASHRAE, 2018).

A Tabela 4 apresenta valores percentuais de ganhos de calor associados a processos e equipamentos mencionados acima.

Tabela 4. Valores percentuais das cargas térmicas adicionadas por equipamentos instalados em expositores a funcionar a temperatura baixa e a temperatura média (adaptado de (Carbon Trust, 2012)).

Equipamento	Baixa temperatura				Média temperatura		
	Porta de vidro	Ilha	Vitrine	Frescos	Laticínios	Carne	Charcutaria
Infiltração	23	24	23	77	78	80	50
Radiação	37	43	37	8	9	10	25
Condução	15	17	15	2	3	3	10
Ventiladores	5	5	5	5	5	5	5
Iluminação	6	0	6	8	5	2	10
Desembaciadores	4	4	4	0	0	0	0
Descongelaadores	10	7	10	0	0	0	0

Verifica-se, assim, que o que mais influencia a carga de refrigeração é a infiltração em expositores de temperatura média e a radiação em expositores de temperatura baixa.

2.4.6 Câmaras frigoríficas (*Walk-in*)

As lojas de retalho alimentar de média e grande escala destinam uma zona à parte da área de vendas dedicada ao armazenamento de produtos refrigerados e congelados, denominada de câmara frigorífica. Nessa câmara frigorífica, poderá haver separação em duas áreas – uma para temperaturas positivas e outra para negativas –, ou distribuição dos produtos em duas câmaras distintas aplicando o mesmo método de divisão (ASHRAE, 2018).

A humidade do ar dentro destas câmaras deve ser controlada de modo preciso para evitar o aparecimento de bactérias, quando a humidade apresenta valores mais elevados, ou para evitar a desumidificação, quando a humidade apresenta valores mais baixos. Para além disso, o ar deve ser continuamente circulado a baixa velocidade evitando a estagnação do mesmo (ASHRAE, 2018).

2.5 Ferramentas de análise energética

2.5.1 *Benchmarking* energético

O *benchmarking* é um estudo comparativo de aspectos dos melhores produtos, serviços ou processos realizados de modo sistemático e contínuo com vista a melhorar esse caso de estudo (Harrington & Harrington, 1996).

O *benchmarking* energético é uma avaliação do desempenho energético de um sistema que depende de três fatores: **(1) fatores de contexto** (clima, utilização e dimensão), condicionam o consumo, porém não são passíveis de alteração para efeito de eficiência energética; **(2) qualidade energética do ativo** (arquitetura, construção e sistemas energéticos) e **(3) qualidade energética de gestão** (operação e manutenção) são fatores que decorrem de decisões tomadas durante o projeto e/ou operação e manutenção e, por isso, podem ser alterados para efeito de eficiência energética (Edifícios Saudáveis Consultores, 2014).

Assim, a análise do desempenho baseia-se nos fatores (2) e (3) e pode ser feita a partir de quatro indicadores de *benchmarking*, Tabela 5 e Tabela 6.

Os indicadores podem tomar os seguintes valores:

- **Superior a 1:** o indicador em estudo toma um valor inferior ao do indicador de referência;
- **Igual a 1:** o indicador em estudo toma um valor igual ao indicador de referência;
- **Inferior a 1:** o indicador em estudo toma um valor superior ao do indicador de referência.

Tabela 5. Indicadores comparativos de *benchmarking* energético, Parte 1

Indicadores de <i>Benchmarking</i> energético	
Referência (2) e (3)	<p>Indica a qualidade da loja e dos sistemas energéticos instalados tal como a qualidade das opções de operação e manutenção</p> <hr/> $\frac{\text{consumo real do sistema de frio (faturas)}}{\text{reference target}^*}$ <p>* consumo teórico considerando apenas sistemas energéticos de referência e manutenção e operação em condições ótimas de eficiência</p>
Operação (3)	<p>Indica a qualidade energética da gestão corrente da loja</p> <hr/> $\frac{\text{consumo real do sistema de frio (faturas)}}{\text{operetional target}^*}$ <p>* consumo teórico considerando os sistemas energéticos instalados no caso de manutenção e operação em condições ótimas de eficiência</p>

Tabela 6. Indicadores comparativos de benchmarking energético, Parte 2

Indicadores de Benchmarking energético	
Ativo (2)	<p>Indica qualidade energética da loja (arquitetura e construção) e dos sistemas energéticos (iluminação, AVAC, etc.) nela instalados</p> <hr/> $\frac{\text{operational target}}{\text{reference target}}$ <p>quanto maior for a diferença entre os dois consumos, menor será a qualidade energética do ativo</p>
Expectável	<p>Indica a precisão do modelo de cálculo do simulador energético, vide 2.5.3.</p> <hr/> $\frac{\text{consumo real do sistema de frio (faturas)}}{\text{consumo expectável*}}$ <p>* consumo considerando as condições de operação</p> <p>Quanto maior for a diferença entre os dois consumos, menor será a precisão do modelo de cálculo</p>

2.5.2 IES-VE

O *Integrated Environmental Solution – Virtual Environment* (IES-VE) é um programa de simulação de desempenho energético de edifícios que permite simular as necessidades térmicas de um edifício segundo vários parâmetros energéticos, como orientação da sombra solar, espessura do isolamento, cargas térmicas do sistema de climatização, ganhos e perdas de calor, entre outros (IES, 2018).

2.5.3 CREPE

O simulador CREPE é uma ferramenta de cálculo que devolve o consumo elétrico expectável do sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar. Foi criado no Excel pela empresa ESC com o propósito de agilizar a avaliação da eficiência energética do sistema de frio.

Na Figura 21 são expostas as informações relativas ao sistema de frio que devem ser inseridas no CREPE, *inputs*, e o que resulta da simulação, os *outputs* (Edifícios Saudáveis Consultores, 2018).

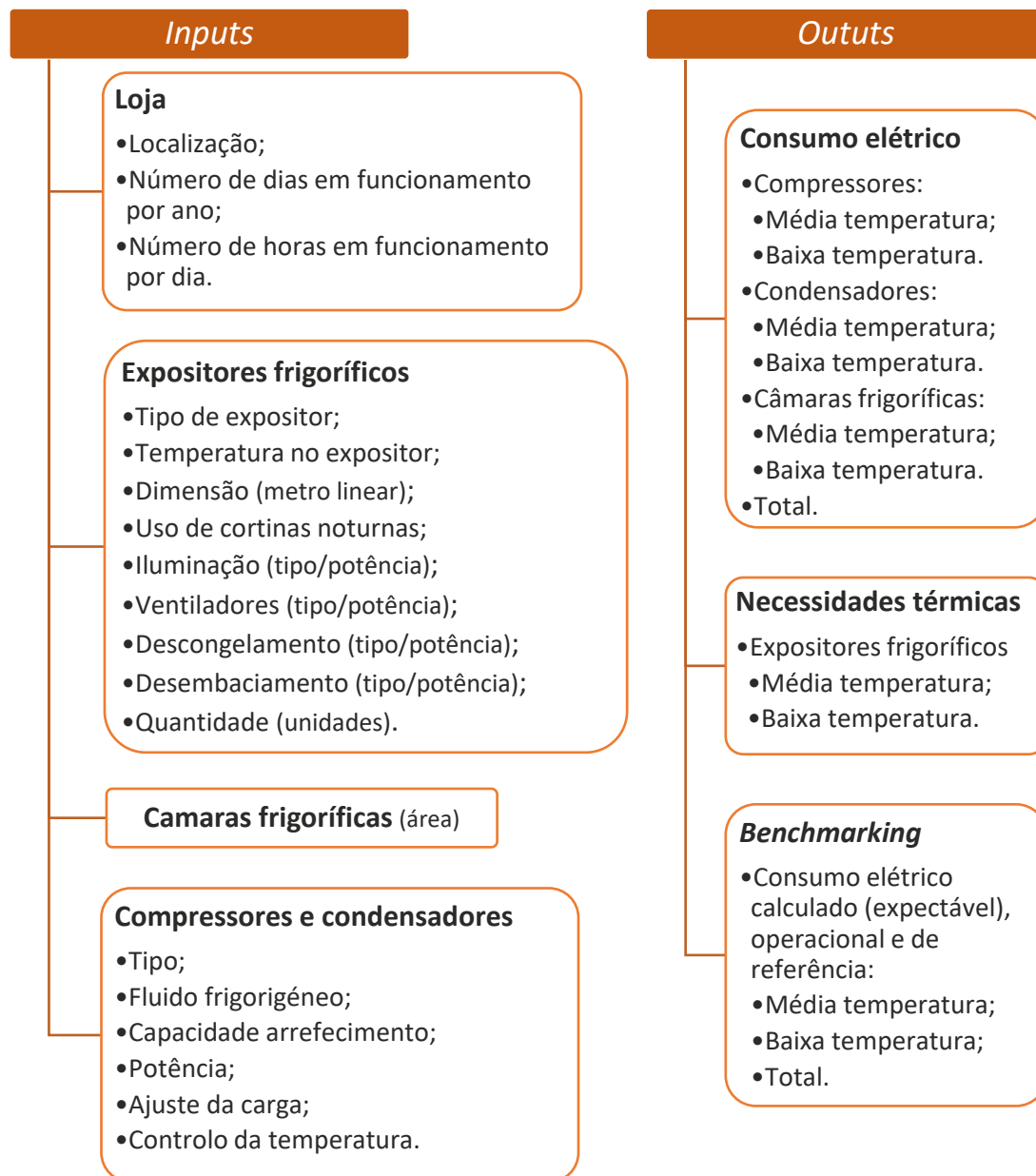


Figura 21. Esquema com os *inputs* e os *outputs* do CREPE.

O CREPE simula o sistema de refrigeração da loja para o período de um ano e calcula as necessidades térmicas dos expositores frigoríficos, bem como o consumo elétrico expectável do sistema. A simulação leva em conta condições o mais próximas da realidade quanto possível, conhecidas durante auditorias energéticas à loja em avaliação levadas a cabo pela empresa ESC.

O cálculo é efetuado de forma desagregada em sistema de média temperatura e em sistema de baixa temperatura. No final, para além de serem apresentados os valores anuais correspondentes a esses dois sistemas, é também apresentado o valor total do consumo.

A avaliação da eficiência do consumo real, no simulador, é realizada a três níveis a partir de indicadores de *benchmarking* energético – expectável, operacional e referência, vide 2.5.1.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Fator de correção à eficiência energética dos compressores*
- 3.2 Calibração do simulador CREPE*
- 3.3 Correção climática*
- 3.4 Casos de estudo*
- 3.5 Ferramenta de correção climática*
- 3.6 Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração*

3 DESENVOLVIMENTO

A principal motivação do trabalho atual passou por desenvolver uma ferramenta de cálculo capaz de corrigir, com o clima real, o consumo elétrico do sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar sendo esse consumo calculado por uma ferramenta de simulação energética criada previamente pela empresa ESC. Durante o trabalho foi também necessário otimizar o cálculo desse consumo.

A ferramenta de simulação energética, CREPE, calcula o consumo elétrico expectável de um sistema de refrigeração para o período de um ano com base num clima padrão médio. Esse clima padrão diz respeito à localização geográfica da loja em avaliação. Contudo, é distinto do clima real que varia de ano para ano. No sentido de perceber o impacto dessa diferença climática no consumo calculado, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta de correção climática.

Para o desenvolvimento da ferramenta de correção climática foi realizado um estudo a três lojas reais com o intuito de determinar o processo de correção climática a implementar na ferramenta. Ao longo do estudo a cada loja, o processo foi sendo melhorado e otimizado. A correção climática foi executada com dados climáticos em formatos diferentes, pois pretendia-se verificar se algum dos formatos devolvia resultados melhores ou se seriam semelhantes entre eles e, por isso, optar por um formato mais prático.

O simulador considerava, para efeitos de cálculo, a eficiência nominal dos compressores. Porém, a eficiência dos equipamentos decresce ao longo do tempo em que os mesmos se encontram em utilização. Assim, foi necessário corrigir o valor da eficiência dos compressores no cálculo do consumo elétrico expectável do simulador.

A metodologia adotada no presente trabalho a fim de responder às necessidades mencionadas divide-se em:

- **Penalização do COP dos compressores:** no simulador CREPE, aplicação de um fator de correção ao valor do COP dos compressores do sistema de média temperatura e do sistema de baixa temperatura de modo a estimar a perda de capacidade de compressão ao longo do tempo de funcionamento contabilizando a qualidade de manutenção;
- **Calibração do simulador CREPE:** etapa facultativa, que consiste em ajustar as necessidades térmicas dos expositores frigoríficos e as condições de temperatura e humidade absoluta do ar interior da loja no CREPE com o auxílio do programa de simulação energética de edifícios IES-VE;

- **Correção climática do consumo elétrico expectável:** correção do consumo elétrico do sistema de refrigeração calculado pelo CREPE aplicando o clima real correspondente à localização geográfica da estação meteorológica mais próxima da loja e respetivo período de avaliação;
- **Ferramenta de correção climática:** desenvolvimento de ferramenta de cálculo capaz de corrigir o consumo expectável do sistema de frio com o clima real utilizando o processo determinado durante a análise aos casos de estudo. Subsequente aplicação da ferramenta desenvolvida a uma loja real, identificada no trabalho como “Caso de aplicação – Loja IV”.

No final do trabalho realizado, sentiu-se a necessidade de reforçar o estudo do impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de frio resultante da correção climática nas quatro lojas reais com um estudo com diferentes cenários climáticos.

Os temas abordados no capítulo atual encontram-se ordenados do seguinte modo:

- Correção da eficiência dos compressores;
- Calibração da ferramenta de simulação energética CREPE;
- Correção climática do consumo elétrico expectável calculado pelo CREPE;
- Apresentação dos casos de estudo;
- Apresentação da ferramenta de correção climática desenvolvida e do caso de aplicação;
- Análise final ao impacto do clima no consumo elétrico do sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar.

3.1 Fator de correção à eficiência energética dos compressores

A eficiência energética dos equipamentos depende de vários fatores. Em particular, a eficiência do compressor, verificada através do valor do COP, varia consoante as temperaturas de operação e a quantidade ou carga de fluido frigorigéneo no compressor, isto é, o *Partial Load Ratio* (PLR). O PLR é alterado através de um variador de velocidade no compressor.

Na Figura 22 são apresentados dois gráficos que mostram essa variação. A Figura 22 (a) diz respeito à variação do COP com a temperatura de condensação e com o PLR. Já a Figura 22 (b) é referente à variação do COP com a temperatura de evaporação e com o PLR.

Os dados utilizados para a elaboração dos gráficos foram obtidos através do programa *Bitzer*. Programa esse de seleção de compressores da marca *Bitzer* que permite obter vários parâmetros de funcionamento dos compressores, como o COP e a carga de refrigeração, conhecendo determinadas condições de operação do sistema, como a temperatura de evaporação e o fluido frigorigéneo escolhido.

Para a recolha de dados, foi selecionado um compressor de parafuso com o fluido frigorigéneo R404a variando os parâmetros de temperatura e de PLR.

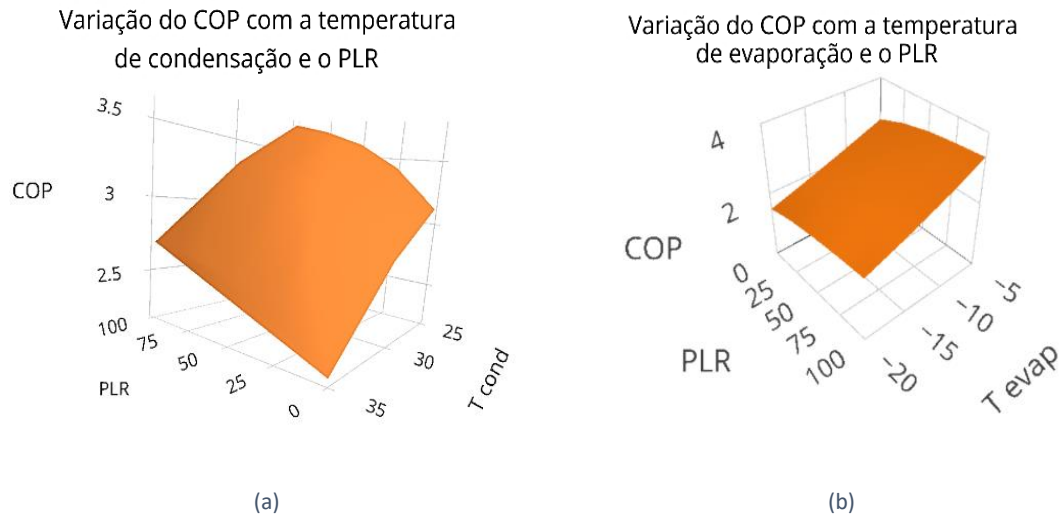


Figura 22. Evolução do COP do compressor de parafuso HSK6461-60-40P com R404a fazendo variar o PLR e (a) a temperatura de condensação; (b) a temperatura de evaporação (Bitzer S. A., s.d.).

A observação dos gráficos permite verificar que o desempenho do compressor é favorecido por:

- O aumento do PLR;
- O aumento da temperatura de evaporação;
- A diminuição da temperatura de condensação.

A eficiência energética dos compressores é, também, afetada pela idade dos mesmos, ou seja, pelo tempo em que se encontram em funcionamento. Fatores como o desgaste e a acumulação de detritos levam à perda de capacidade de compressão dos compressores e, como consequência, à diminuição da sua eficiência. A eficiência dos compressores é, pois, decrescente a partir da primeira utilização.

No sentido de otimizar o simulador CREPE, que considerava a eficiência nominal dos compressores, procedeu-se à penalização do COP dos mesmos relativa a cada ano em operação. Apesar de todos os equipamentos do sistema de frio serem afetados pela perda de eficiência energética, apenas se determinou esse efeito decrescente nos compressores. Tal deve-se ao facto de ser o equipamento que mais energia consome e que mais desgaste sofre.

A penalização foi estimada afetando a curva do COP dos compressores com (Hendron, 2006):

$$F_c = (1 - F_m)^a \quad (3.1)$$

Em que:

- F_c – fator de correção do COP dos compressores [-];
- F_m – fator de manutenção que varia entre 0,01 e 0,03 quando a manutenção dos compressores é realizada do modo mais adequado e quando o oposto acontece, respetivamente [-];
- a – tempo de operação dos compressores [anos].

Na Figura 23 encontra-se representada a evolução dos fatores de correção do COP dos compressores com o tempo de funcionamento para um limite de 20 anos. A curva representada com círculos corresponde ao fator de correção cuja manutenção dos compressores pode ser considerada adequada e, por isso, o fator de manutenção assume o valor de 0,01. A curva assinalada com triângulos é relativa ao fator de correção cuja manutenção é menos apropriada e, por isso, o fator de manutenção é igual a 0,03.

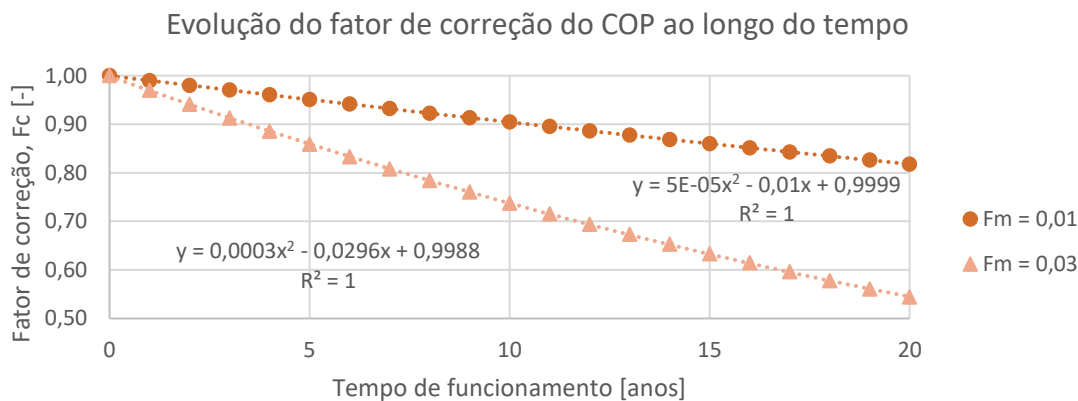


Figura 23. Evolução do fator de correção do COP dos compressores com o tempo de funcionamento assumindo (a) $F_m = 0,01$ e (b) $F_m = 0,03$.

A evolução decrescente do fator de correção do COP dos compressores, evidente pelo gráfico, é mais acentuada quando a qualidade da manutenção efetuada é menor. Por exemplo, ao fim de 20 anos de operação, um compressor apresenta uma eficiência pouco superior a metade da eficiência nominal com um plano de manutenção desadequado. Já no caso de ser adotado um bom plano de manutenção, esse efeito pode ser atenuado, pois o mesmo valor passa a ser superior a 80%.

3.2 Calibração do simulador CREPE

O simulador CREPE é capaz de calcular as condições médias do ar ambiente da loja em avaliação, utilizadas no cálculo das necessidades térmicas dos expositores frigoríficos. Contudo, o funcionamento do sistema de climatização da loja e o respetivo controlo podem ser conhecidos durante auditorias energéticas, realizadas pela empresa ESC. Assim, no sentido de aproximar as condições do ar e as necessidades térmicas dos expositores aos valores praticados no local, procede-se a um processo iterativo entre o CREPE e o simulador energético de edifícios IES-VE a fim de calibrar o CREPE. A ser realizado, o processo iterativo deve preceder ao cálculo do consumo elétrico expectável do sistema de refrigeração da loja.

Antes de iniciar o processo iterativo entre os dois simuladores, é fundamental perceber a influência dos expositores frigoríficos nas condições de temperatura e humidade do ar ambiente no interior da loja, representada no valor das necessidades térmicas dos mesmos.

As necessidades térmicas dos expositores frigoríficos podem ser divididas em ganhos internos e ganhos externos, como explanado em 2.4.5. Os primeiros são causados pelos equipamentos internos que compõem os móveis expositores, como o ventilador do evaporador e a resistência elétrica para desembaciar a porta de vidro. Já os segundos devem-se aos ganhos térmicos pela envolvente dos expositores que estão, por isso, interligados às condições do ar no interior da loja.

A Figura 24 apresenta o processo iterativo utilizado para a calibração do simulador CREPE com o simulador IES-VE, explicado a seguir e em 3.4.1.2.

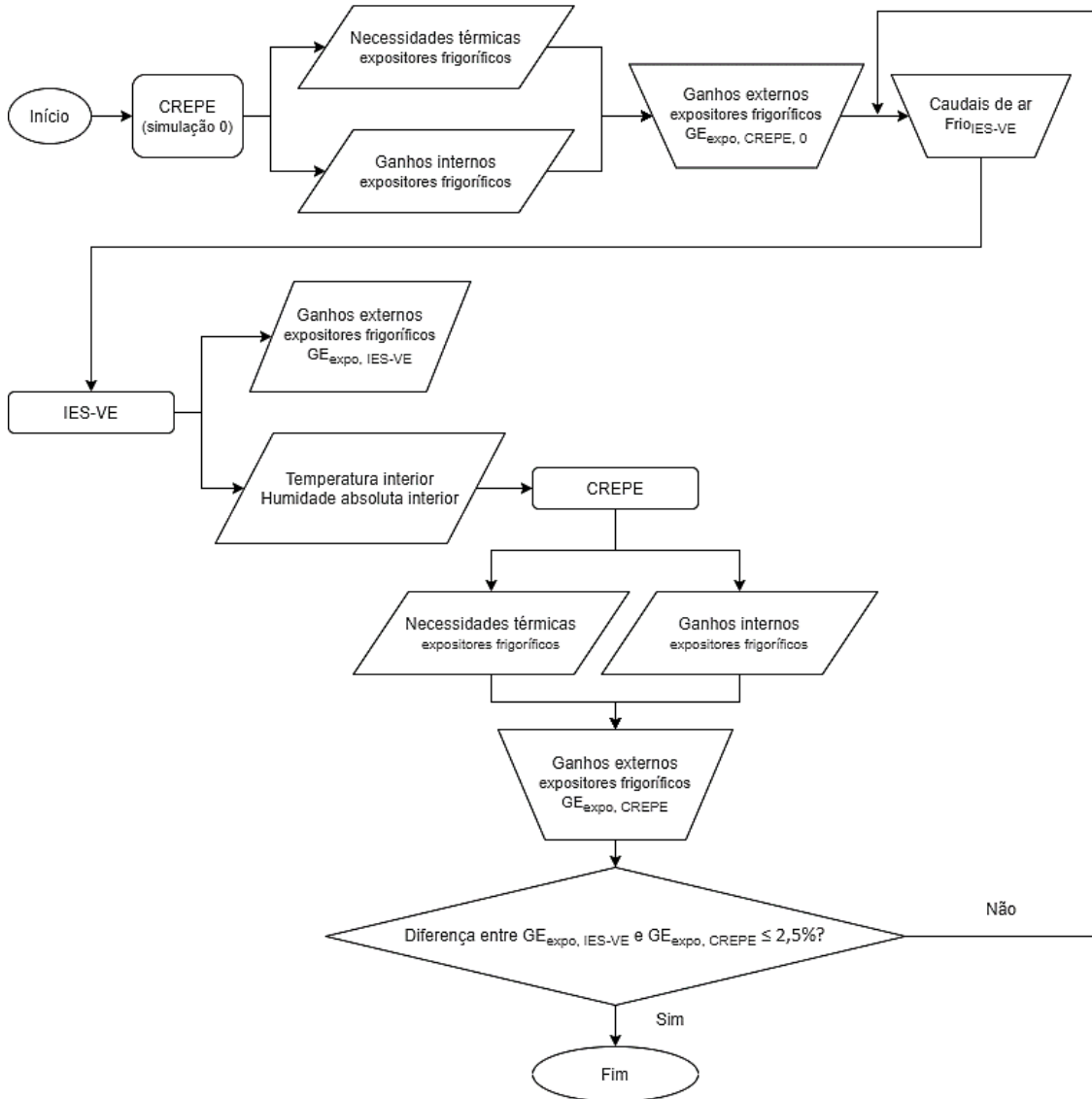


Figura 24. Processo iterativo para a calibração do simulador CREPE com o simulador IES-VE.

O processo iterativo entre os dois simuladores começa com uma primeira simulação, simulação 0, no CREPE do sistema de refrigeração utilizando as capacidades de modelação da ferramenta, isto é, com condições médias de temperatura e de humidade do ar no interior da loja. Da simulação resultam as necessidades térmicas dos expositores e os respetivos ganhos internos.

Recorrendo à equação

$$NT_{expo} = GE_{expo} + GI_{expo} \Leftrightarrow GE_{expo} = NT_{expo} - GI_{expo} \quad (3.2)$$

Onde:

- NT_{expo} – necessidades térmicas dos expositores frigoríficos [MWh];
- GE_{expo} – ganhos externos dos expositores frigoríficos [MWh];
- GI_{expo} – ganhos interno dos expositores frigoríficos [MWh].

são calculados os ganhos externos dos expositores, $GE_{expo-CREPE}$, quer do sistema de média temperatura, quer do sistema de baixa temperatura.

De seguida, é utilizado o programa IES-VE para simular o edifício da loja, incluindo a envolvente, os ganhos internos (nos quais se contabilizam os expositores frigoríficos, parte do sistema de frio instalado no interior da loja) e o sistema de climatização da loja.

No simulador IES-VE, a contabilização da influência dos expositores frigoríficos no ar interior da loja é um processo complexo, pois simulador não possui um *input* direto para estimar o efeito dos móveis expositores no ar da área de vendas. Logo, foi necessário encontrar uma solução para contabilizar esse efeito nos ganhos internos do edifício. A solução passou por criar um sistema energético na zona de vendas, doravante designado por $Frio_{IES-VE}$, de forma a simular os expositores frigoríficos instalados na área de vendas da loja.

O sistema energético $Frio_{IES-VE}$ é constituído por dois circuitos independentes a fim de representar o circuito de média temperatura, Figura 25, e o circuito de baixa temperatura. O primeiro é modelado a insuflar ar para a área de vendas à temperatura próxima da qual o ar é mantido no interior dos expositores de média temperatura. Enquanto no segundo, essa temperatura é equivalente à temperatura do ar no interior dos expositores de baixa temperatura. A primeira simulação no CREPE serve para estimar o caudal de ar que circula em cada circuito do sistema $Frio_{IES-VE}$ a inserir no IES-VE na primeira iteração. Nas iterações seguintes, os caudais são calculados e alterados no programa consoante o valor dos $GE_{expo-CREPE}$ resultante da iteração anterior.

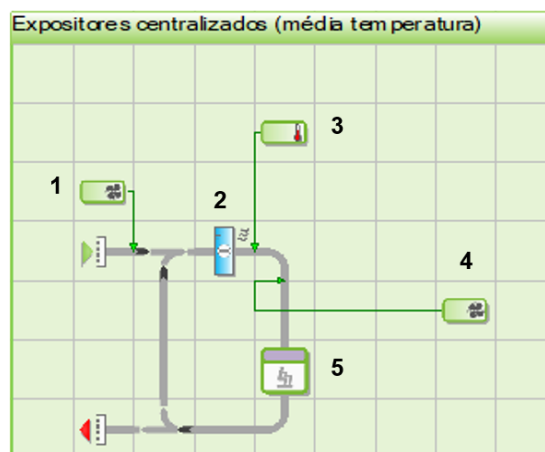


Figura 25. Esquema do sistema $Frio_{IES-VE}$ de média temperatura na área de vendas modelado no IES-VE.

Na Figura 25, os números indicados representam os seguintes componentes do sistema Frio_{IES-VE}:

1. **Controlador** – regula o caudal de ar admitido no circuito. No caso presente, esse caudal é nulo, uma vez que o caudal de fluido frigorífero do sistema de refrigeração é constante e, por isso, o circuito opera com recirculação de fluido;
2. **Bateria de arrefecimento** – controla a capacidade de refrigeração;
3. **Sensor** – deteta a que temperatura o ar se encontra. No circuito positivo essa temperatura é igual a +2° e no circuito negativo -20°C;
4. **Controlador** – regula o caudal de ar que circula em cada circuito criado. O caudal de ar calculado em cada iteração do processo é introduzido nesse controlador;
5. **Espaço** – representa o espaço a controlar – expositores frigoríferos.

Da simulação no IES-VE resultam os ganhos pela envolvente dos expositores, $GE_{\text{expo-IES-VE}}$, e as condições de temperatura e humidade absoluta no interior da loja. Apenas são considerados os ganhos pela envolvente dos expositores no IES-VE, visto serem esses os responsáveis pelas alterações nas condições do ar ambiente da loja. Enquanto os ganhos internos afetam unicamente o ar no interior dos expositores.

O CREPE é posteriormente executado com os valores de temperatura e humidade absoluta do ar no interior da loja que resultaram da simulação no IES-VE. O simulador devolve, assim, novos valores de necessidades térmicas e de ganhos internos dos expositores frigoríferos. A equação (3.2) é novamente utilizada para calcular os novos valores de $GE_{\text{expo-CREPE}}$.

Os ganhos externos dos expositores de média e de baixa temperatura obtidos pelos dois simuladores, $GE_{\text{expo-IES-VE}}$ e $GE_{\text{expo-CREPE}}$, são comparados e o processo repete-se até a diferença entre os resultados ser residual, isto é, cerca de 2,5%.

3.3 Correção climática

A temperatura exterior pode afetar diretamente o consumo elétrico de um sistema de refrigeração devido ao condensador. Se a instalação de frio estiver equipada com um condensador arrefecido a ar cujo controlo da temperatura de condensação é realizado de modo constante, tal não acontece. No entanto, se o controlo da temperatura de condensação for efetuado de modo flutuante, o consumo é afetado diretamente pela temperatura exterior, vide 2.3.2.3.

Com o intuito de perceber a influência da temperatura de condensação no desempenho dos compressores, foi realizado um estudo indicativo com dados obtidos através do programa *Bitzer*.

Foram selecionados três fluidos frigoríferos com diferentes propriedades e aplicações:

- **R-717**: comum em refrigeração industrial (Linde, 2019);
- **R-404a**: comum em refrigeração comercial (Linde, 2019);

- **R-134a**: comum em climatização, mas usado também em refrigeração de média temperatura (Linde, 2019).

Para cada fluido, foi escolhido um compressor de parafuso aberto de forma a garantir uma capacidade de arrefecimento idêntica para os três.

Para todos os pontos da Figura 26, a temperatura de evaporação foi mantida constante, em -15°C , enquanto a temperatura de condensação foi variada entre 20 e 35°C resultando no valor do COP para cada fluido.

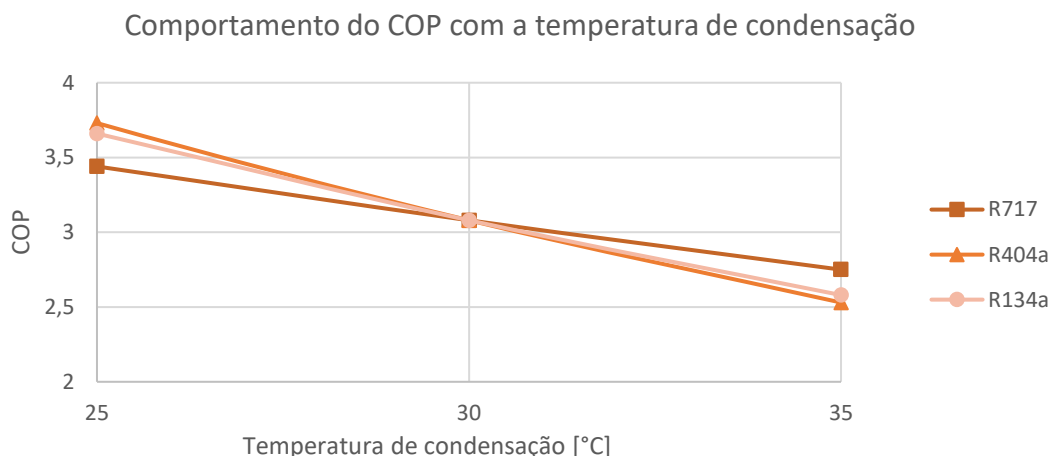


Figura 26. Representação gráfica da variação do COP consoante a temperatura de condensação.

Da análise do gráfico é perceptível que o aumento da temperatura de condensação leva à diminuição do COP do compressor. Nessa perspetiva, se o controlo da temperatura de condensação for flutuante, nos dias de maior calor, o desempenho do compressor é penalizado. O compressor tem, pois, de aumentar a pressão do fluido até a temperatura de condensação requerida ser atingida. Logo, o consumo elétrico do sistema de refrigeração é mais elevado.

No CREPE, o cálculo do consumo elétrico do sistema de refrigeração é realizado com recurso a um ficheiro climático, vindo do IES-VE, correspondente à localização da loja em avaliação. O ficheiro climático diz respeito a um clima padrão anual que contabiliza valores médios de temperatura exterior, em base horária, obtidos através de décadas de medição (Aguiar, 2013). A sua preferência em detrimento do clima real é justificada pelo facto de não ser possível encontrar o clima real em base horária para cada ano de avaliação e cada localização.

Visto que a temperatura exterior pode afetar o consumo elétrico do sistema de refrigeração de uma loja de retalho alimentar, foi proposta a correção climática do consumo expectável calculado pelo CREPE. Para o efeito, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta, complementar ao CREPE, capaz de corrigir o consumo expectável com o clima real para cada loja e período de avaliação. Para tal, foi realizado um estudo com lojas reais para analisar o processo de correção climática mais indicado para implementar na ferramenta de correção climática.

O processo de correção climática estudado passa por estabelecer relações entre o consumo expectável e o clima padrão. As relações são estabelecidas nos formatos:

- Temperatura diária
- Temperatura mensal
- GD diários
- GD mensais

Optou-se por realizar um estudo com diferentes formatos, uma vez que (1) não é possível recolher dados climáticos reais em base horária e (2) se ponderou perceber se análises com formatos climáticos distintos resultariam em valores semelhantes. As relações criadas permitem a correção do consumo com o clima real, vide 3.4.1.3. O clima real deve ser recolhido para o período de avaliação a partir da estação meteorológica, com dados climáticos completos, mais próxima da loja em avaliação. No final, são calculados os indicadores de *benchmarking* expectável, vide Tabela 6 em 2.5.1, com vista a perceber se o consumo corrigido é aproximado ao consumo real da instalação após a correção climática. O consumo real é obtido durante auditorias à loja.

3.4 Casos de estudo

O processo a inserir na ferramenta de correção climática para corrigir o consumo elétrico expectável com o clima real foi determinado a partir da análise a três lojas reais que serviram como casos de estudo. A seleção das lojas estudadas foi realizada de acordo com os critérios (1) auditada previamente pela empresa ESC; (2) sistema de refrigeração simulado no CREPE e (3) localização geográfica e climática distinta. Na Tabela 7 encontram-se alguns aspetos gerais das lojas selecionadas.

Tabela 7. Informações gerais relativas aos casos de estudo

Loja	Ano de inauguração	Período de estudo	Área de vendas [m ²]	Horas diárias de funcionamento
I - Porto	2008	2018	≈ 4000	14,5
II - Aveiro	2016	Abril 2018 a Abril 2019	≈ 2000	12,5
III - Leiria	2010	Abril 2016 a Abril 2017	≈ 6000	13,5

3.4.1 Caso de estudo – Loja I

A primeira loja analisada localiza-se no distrito do Porto. Foi construída num centro comercial de pequenas dimensões, no qual a frente da loja partilha uma galeria comercial com outras lojas de retalho mais pequenas. Na Tabela 8 é indicada a quantidade de cada tipo de móvel expositor instalado na área de vendas da loja I. Essa quantidade encontra-se tanto em número de unidades como em número de metros lineares, ml, uma grandeza comum em expositores frigoríficos que quantifica o

comprimento dos mesmos. Indica também a dimensão das câmaras frigoríficas, em metros quadrados.

Tabela 8. Tipo e quantidade de expositores e câmaras na Loja I

Expositores frigoríficos			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
Mural com porta	24 uni	Ilha com porta	58 uni
	76 ml		
Mural sem porta	15 uni	Ilha com porta	179 ml
	35 ml		
Vitrina	59 uni	Ilha com porta	179 ml
	141 ml		

Câmaras frigoríficas	
Média temperatura (produtos refrigerados)	Baixa temperatura (produtos congelados)
467 m ²	63 m ²

É perceptível que a quantidade de expositores positivos ultrapassa a quantidade de negativos. A loja do Porto está equipada com três tipos de móveis positivos: 59 vitrinas, 24 murais com porta e 15 murais sem porta. Já os móveis negativos são todos ilhas com porta, 58. Existe um contraste na dimensão das câmaras para os produtos refrigerados e para os produtos congelados sendo que os primeiros são armazenados em cerca de 467 m², enquanto os segundos em apenas 63 m².

A Tabela 9 informa acerca do fluido frigorigéneo em uso no sistema de refrigeração tal como das características gerais dos compressores e dos condensadores, localizados na central térmica da loja.

Tabela 9. Características do sistema de frio na central térmica da Loja I

		Média temperatura	Baixa temperatura
Compressor	Tipo	Parafuso	Estágios
	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
Condensador	Tipo	Arrefecido a ar	Arrefecido a ar
	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
Fluido frigorigéneo		R449a	R449a

No sistema de frio da loja I é utilizado o fluido frigorífero R449a em ambos os sistemas de média e de baixa temperatura. O controlo da temperatura tanto nos compressores de parafuso e de estágios como nos condensadores arrefecidos a ar é realizado de modo flutuante. O controlo de carga dos compressores é realizado com recurso a equipamentos de variação de velocidade. Nos ventiladores dos condensadores esse controlo é semelhante.

3.4.1.1 Penalização do COP dos compressores

A eficiência dos compressores do sistema de frio foi corrigida com o fator de correção de 0,86. Esse valor foi calculado, com a equação (3.1), tendo em conta a idade dos compressores, isto é, o tempo decorrido desde a inauguração da loja até ao período de estudo, 10 anos e, admitindo um fator de manutenção igual a 0,015.

Apesar de ser uma loja cuja manutenção é realizada por uma empresa com bastante experiência em sistemas de refrigeração, por razões de segurança, foi decidido considerar o valor apresentado como o fator de manutenção.

A Figura 27 representa a evolução no tempo do fator de correção quando F_m é igual a 0,015.

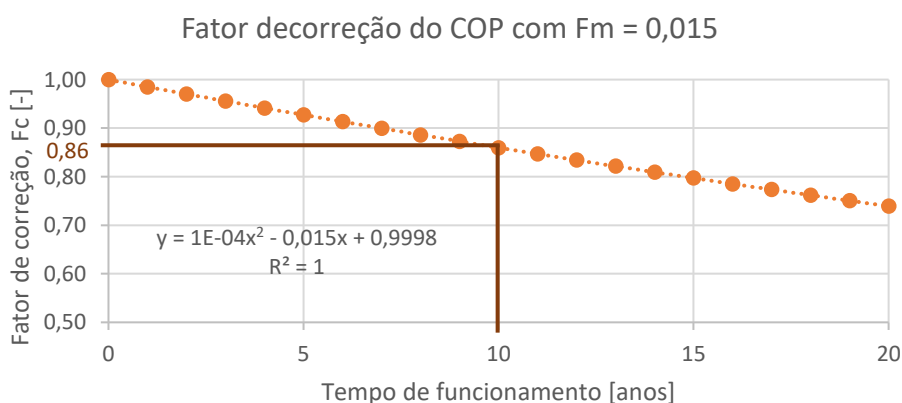


Figura 27. Representação gráfica da evolução do fator de correção do COP dos compressores com o tempo de funcionamento assumindo $F_m = 0,015$.

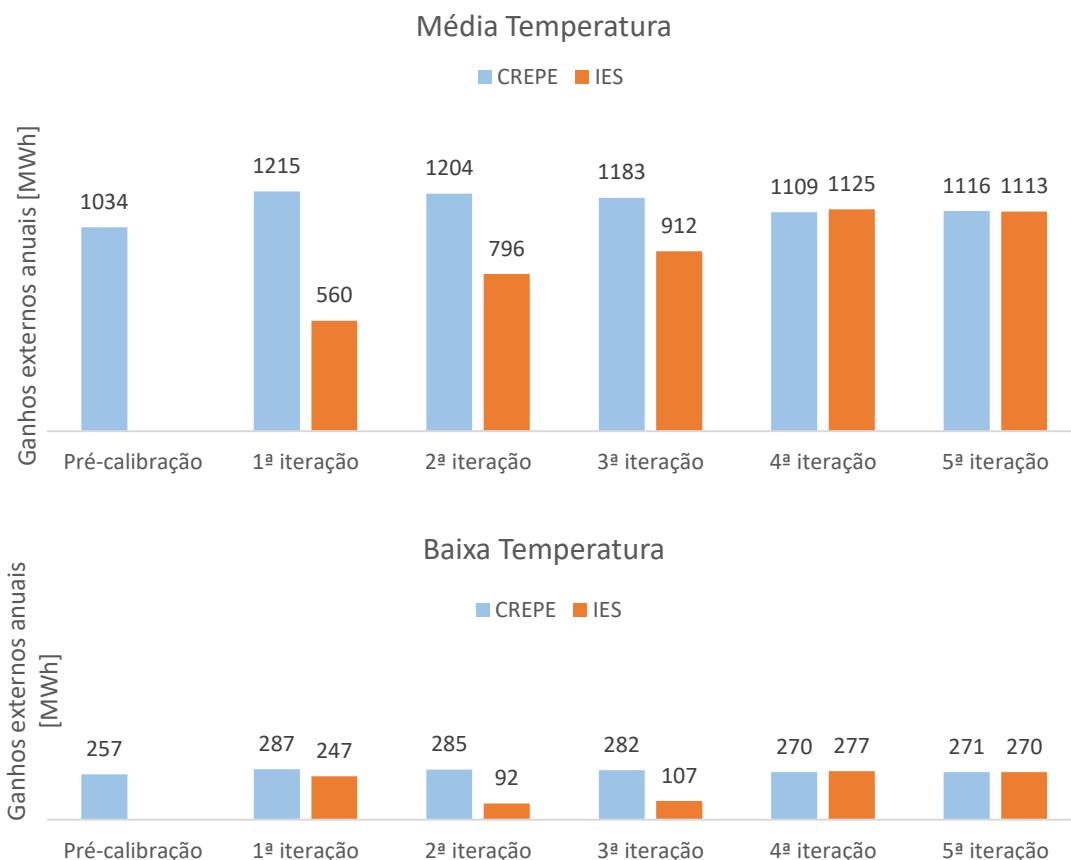
3.4.1.2 Calibração do CREPE

O sistema de climatização da loja é ligado meia hora antes da abertura da loja e desligado meia hora antes do seu encerramento. Durante os meses mais críticos de inverno e de verão, isto é, janeiro e agosto, é comum o sistema de climatização recorrer a quatro unidades de climatização e durante o resto do ano funcionar com apenas duas. No entanto, durante a auditoria realizada para a obtenção dos dados necessários à análise, duas delas encontravam-se avariadas. Foi, por isso, considerado o funcionamento anual de apenas duas das unidades de climatização na simulação no IES-VE.

O processo de calibração foi efetuado seguindo os seguintes passos:

1. Começou-se por executar o CREPE utilizando as capacidades de modelação do simulador e por obter os valores anuais de necessidades térmicas e ganhos internos dos expositores;
2. Com recurso à equação (3.2), calcularam-se os ganhos externos devidos à envolvente dos expositores $GE_{\text{expo, CREPE, 0}}$;
3. A partir desses ganhos externos $GE_{\text{expo, CREPE, 0}}$ foram calculados e inseridos no IES-VE os caudais de ar a passar nos circuitos de média e de baixa temperatura do sistema de Frio_{IES-VE} criado no programa;
4. No IES-VE, foi simulado o edifício resultando nas condições interiores da loja e nos ganhos externos dos expositores $GE_{\text{expo, IES-VE}}$;
5. O CREPE foi executado com as condições interiores do ar retiradas do IES-VE resultando em novos ganhos externos $GE_{\text{expo, CREPE}}$;
6. Os ganhos externos $GE_{\text{expo, IES-VE}}$ e $GE_{\text{expo, CREPE}}$ foram comparados e o processo foi repetido ajustando os caudais até o desvio entre os resultados ter atingido 0,25 e 0,43% nos circuitos de média e de baixa temperatura, respetivamente.

A Figura 28 apresenta os ganhos externos GE_{expo} , dos expositores frigoríficos devolvidos pelos dois programas ao longo do processo iterativo de calibração do CREPE.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 28. Ganhos externos GE_{expo} , obtidos durante o processo iterativo entre o CREPE e o IES-VE, Loja I.

3.4.1.3 Correção climática do consumo elétrico expectável

No CREPE, com as condições interiores da loja e as necessidades térmicas dos expositores calibradas, foi simulado o cálculo da energia elétrica consumida pelo sistema de refrigeração da loja I, desagregada em média temperatura, baixa temperatura e total.

A temperatura exterior e o respetivo consumo elétrico expectável foram retirados do simulador, ambos em base horária, Figura 29.

Dia _{ano}	Mês	Dia _{mês}	Horas	Text	Consumo elétrico		
					Média Temperatura	Baixa Temperatura	Total
1	Jan	1	1	7,06	55,51	152,52	208,03
	Jan	1	2	6,56	54,22	44,32	98,54
	Jan	1	3	6,16	53,58	44,08	97,66
	Jan	1	4	5,86	53,15	43,92	97,07
	Jan	1	5	5,56	52,86	43,81	96,67
	Jan	1	6	5,46	52,94	43,81	96,75
	Jan	1	7	5,36	55,35	48,94	104,29
	Jan	1	8	5,66	60,86	49,82	110,67
	Jan	1	9	6,46	62,81	50,42	113,23
	Jan	1	10	7,66	65,08	51,12	116,19

Figura 29. Dados do CREPE: temperatura exterior padrão, °C, e consumo elétrico calculado, kWh, Loja I.

Seguidamente, a temperatura exterior foi convertida em temperatura média diária e mensal, enquanto o consumo foi somado de forma a ser convertido nos mesmos formatos.

Na Figura 30 mostra-se a tabela com os valores de temperatura e consumo convertidos numa base diária prontos a serem correlacionados.

Dia _{ano}	Mês	Dia _{mês}	T _{exterior média padrão}	Consumo diário calculado		
				Média Temperatura	Baixa Temperatura	Total
1	Jan	1	8,3	1475,79	1281,13	2756,92
2	Jan	2	11,3	1539,14	1308,95	2848,09
3	Jan	3	12,1	1549,82	1313,33	2863,14
4	Jan	4	11,9	1559,83	1314,63	2874,46
5	Jan	5	9,9	1550,74	1313,65	2864,39
6	Jan	6	10,8	1551,25	1314,93	2866,18
7	Jan	7	10,4	1522,78	1301,94	2824,72
8	Jan	8	9,7	1517,74	1300,00	2817,75

Figura 30. Temperatura exterior padrão e consumo elétrico expectável em base diária, Loja I.

Nesses formatos, foram relacionados dando origem às seguintes funções:

- Consumo elétrico diário(temperatura exterior média diária padrão), Figura 31;
- Consumo elétrico mensal(temperatura exterior média mensal padrão).

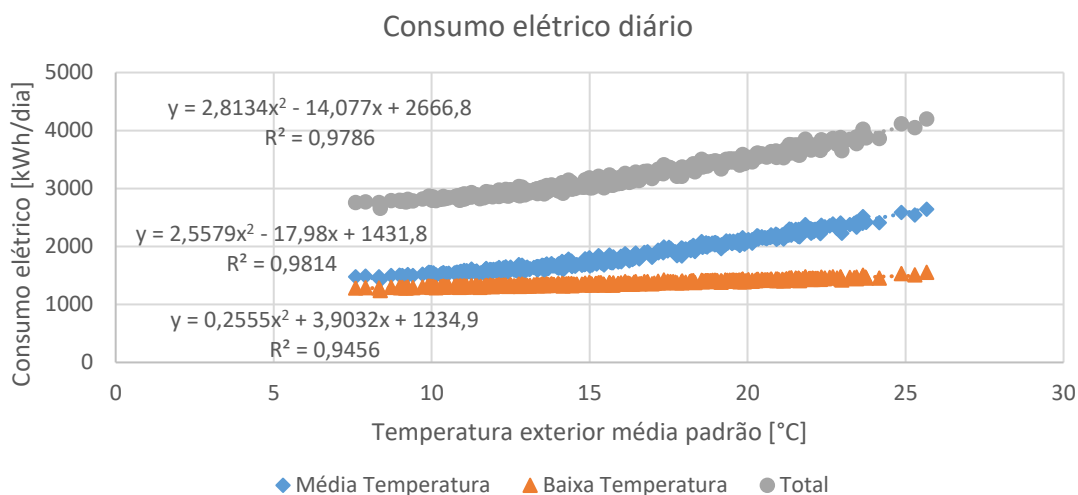


Figura 31. Correlações criadas entre o consumo elétrico diário e a temperatura exterior média diária padrão.

A temperatura exterior real foi recolhida a partir da estação meteorológica mais próxima da Loja I, em Pedras Rubras, no Porto. Essa informação climática foi substituída nas funções indicadas nos respetivos formatos resultando no consumo elétrico corrigido do sistema de refrigeração, Figura 32.

Dia _{ano}	Mês	Dia _{mês}	T _{exterior média real}	Consumo diário corrigido		
				Média Temperatura	Baixa Temperatura	Total
1	Jan	1	12,7	1616,02	1325,68	2941,80
2	Jan	2	14,2	1692,26	1341,84	3034,20
3	Jan	3	14,9	1731,78	1349,78	3081,66
4	Jan	4	14,1	1686,82	1340,73	3027,65
5	Jan	5	10,8	1535,97	1306,86	2842,92
6	Jan	6	5,9	1414,76	1266,82	2681,68
7	Jan	7	7,1	1433,09	1275,49	2708,68
8	Jan	8	7,1	1433,09	1275,49	2708,68

Figura 32. Consumo elétrico expectável corrigido com a temperatura real, Loja I.

No final, foi calculado o novo valor de *benchmarking* expectável, vide 2.5.1, para cada consumo e comparado com o devolvido pelo CREPE antes da correção climática, Figura 33.

	Consumo real [MWh]	Clima Padrão		Clima Real 2018	
		Consumo calculado [MWh]	Benchmarking pré correção	Consumo calculado corrigido [MWh]	Benchmarking pós-correção
Média Temperatura	663	677	0,98	647	1,03
Baixa Temperatura	491	500	0,98	494	0,99
Total	1154	1177	0,98	1141	1,01

Figura 33. Comparação entre os valores de benchmarking antes e depois da correção climática, Loja I.

O procedimento descrito foi repetido a partir da etapa onde são criadas as correlações entre o consumo e a temperatura a fim de realizar uma análise com o clima em GD.

Os dados climáticos em GD de arrefecimento foram recolhidos tendo em conta uma temperatura base definida após a análise das correlações.

3.4.2 Caso de estudo – Loja II

A segunda loja, a mais recente das três, situa-se no distrito de Aveiro. Foi construída num edifício independente e é a mais pequena. A sua zona de vendas está equipada com expositores de média e de baixa temperatura ligados à central térmica e com expositores de baixa temperatura autónomos, isto é, compostos pelo sistema de refrigeração completo. Logo, o consumo elétrico dos móveis autónomos não é afetado pelo clima, mas pelas condições do ar ambiente da loja. A maioria dos expositores é autónoma, cerca de 80%.

A Tabela 10 mostra as características gerais dos expositores que compõem a área de vendas da loja, isto é, os expositores de média temperatura e os de baixa temperatura ligados à central, identificados com (C) e autónomos, com (A).

Tabela 10. Tipo e quantidade de expositores frigoríficos na Loja II

Expositores frigoríficos			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
Mural com porta	10 uni 28 ml	Mural com porta (C)	2 uni 6 ml
Mural sem porta	4 uni 8 ml	Ilha com porta (C)	2 uni 4 ml
Vitrina	12 uni 26 ml	Ilha com porta (A)	18 uni 36 ml
Câmaras frigoríficas			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
90 m ²		18 m ²	

Na segunda loja do estudo, os produtos refrigerados são distribuídos por três tipos de móveis, todos eles ligados à central térmica: 10 murais com porta, quatro murais sem porta e 12 vitrinas. Os produtos congelados são também expostos em três tipos de móveis, dos quais dois murais com porta e duas ilhas com porta estão ligados à central e 18 ilhas com porta são móveis autónomos. Os primeiros são armazenados em câmaras frigoríficas de aproximadamente 90 m² e os segundos em câmaras de cerca de 18 m².

A Tabela 11 expõe as características gerais do sistema de frio na central térmica da loja estudada em Aveiro.

Tabela 11. Características do sistema de frio na central térmica da Loja II

		Média temperatura	Baixa temperatura
	Tipo	Alternativo	Estágios
Compressor	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
	Tipo	Arrefecido a ar	-
Condensador	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
Fluido frigorigéneo		R134a	R744 (CO ₂)

O sistema de frio centralizado da segunda loja distingue-se ainda mais dos sistemas das outras duas lojas estudadas pois ambos os circuitos centralizados se encontram unidos por um permutador de calor. No circuito de baixa temperatura, o permutador de calor atua como condensador, enquanto no circuito de média temperatura o mesmo funciona como um evaporador transferindo as necessidades térmicas do circuito de baixa temperatura para o de média temperatura. Assim, o sistema funciona em configuração cascata.

Em ambos os circuitos, o controlo da temperatura tanto nos compressores alternativos e de estágios como no condensador arrefecido a ar é realizado de modo flutuante e a carga parcial dos compressores e dos ventiladores do condensador é regulada recorrendo a variadores de velocidade.

No circuito de média temperatura é usado o fluido R134a, enquanto no circuito de baixa temperatura centralizado é utilizado o R744 (CO₂).

O procedimento de análise adotado na Loja II foi semelhante ao da Loja I. No entanto, devido à configuração da rede de frio, foi necessário realizar algumas alterações ao procedimento inicial, nomeadamente, na calibração entre os dois simuladores, CREPE e IES-VE, bem como na correção climática do consumo.

Relativamente à etapa da calibração, foi necessário criar três circuitos no IES-VE para a modelação do sistema energético Frio_{IES-VE}: (1) média temperatura, (2) baixa temperatura centralizados e (3) baixa temperatura autónomos.

Nos primeiros dois circuitos, (1) e (2), o método adotado foi equivalente ao anteriormente utilizado na loja I. Todavia, o mesmo não ocorreu no circuito (3), já que a influência dos expositores autónomos nas condições do ar ambiente da loja é distinta. Sendo completamente constituídos pelo sistema de refrigeração, considerou-se que o

calor removido ao ar ambiente da loja pelas necessidades térmicas era repostado pelo calor libertado no condensador. Presumiu-se, também, que o ar ambiente da loja apenas era afetado pelo calor libertado pelo motor do compressor instalado em cada móvel expositor. Assim, o termo de comparação entre os dois simuladores no circuito (3) deixou de ser o valor dos ganhos externos pela envolvente dos expositores GE_{expo} passando a ser o efeito do calor libertado pelos motores dos compressores dos expositores autónomos.

No que diz respeito à correção climática, essa apenas divergiu do procedimento inicial no sistema de baixa temperatura. Como o consumo da rede de frio autónoma não é afetado pelo clima, não fazia sentido relacioná-lo com o clima padrão. Assim, relacionou-se unicamente o consumo do sistema de baixa temperatura centralizado com o clima padrão sendo posteriormente corrigido. O consumo de ambos os sistemas de frio negativo foi depois somado de forma a obter o consumo total da rede de frio negativo bem como o consumo total da instalação.

3.4.3 Caso de estudo – Loja III

A terceira loja, situada em Leiria, encontra-se inserida num centro comercial. É considerada um hipermercado pelas suas dimensões.

Na Tabela 12 encontram-se identificados o tipo de móveis expositores e a respetiva quantidade.

Tabela 12. Tipo e quantidade de expositores frigoríficos na Loja III

Expositores frigoríficos			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
Mural com porta	5 uni 19 ml	Mural com porta	1 uni 4 ml
Mural sem porta	37 uni 118 ml	Ilha com porta	17 uni 61 ml
Vitrina	17 uni 46 ml	Ilha sem porta	20 uni 68 ml
		Combinado	8 uni 30 ml
Câmaras frigoríficas			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
300 m ²		160 m ²	

A maioria dos produtos refrigerados é disposta em 37 murais sem porta e os restantes em 17 vitrinas e cinco murais com porta sendo armazenada em 300 m². Os congelados são armazenados em 160 m² e expostos por quatro tipos de expositores diferentes: um mural com porta, 17 ilhas com porta, oito combinados e 20 ilhas sem porta.

Na Tabela 13 expõem-se as características dos equipamentos principais instalados na central térmica da loja III.

Tabela 13. Características do sistema de frio na central térmica da Loja III

		Média temperatura	Baixa temperatura
	Tipo	Parafuso	Alternativo
Compressor	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Constante	Constante
	Tipo	Arrefecido a ar	Arrefecido a ar
Condensador	Ajuste à carga	<i>On/Off</i>	<i>On/Off</i>
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
	Fluido frigorígeno	R404a	R404a

A temperatura nos compressores de parafuso e alternativos é mantida constante em ambos os circuitos, enquanto nos condensadores arrefecidos a ar o controlo é flutuante. O ajuste à carga é feito por meio de variadores de frequência no compressor e com controlo *on/off* nos ventiladores dos condensadores. Em ambos os circuitos do sistema de refrigeração o fluido frigorígeno usado é o R404a.

Ao comparar os três casos de estudo, é perceptível que o terceiro, em Leiria, apresenta uma instalação menos focado na eficiência energética, uma vez que a maioria dos expositores – positivos e negativos – não estão equipados com porta e, por isso, levam a crer que o consumo elétrico do sistema seja elevado. Para além disso, durante as auditorias energéticas à loja, foi possível perceber que era uma instalação com alguns problemas técnicos relacionados, em parte, com a manutenção, nomeadamente, fugas de fluido frigorígeno. Nessa lógica, o fator de manutenção utilizado na equação que devolve o fator de correção do COP dos compressores, (3.1), foi o máximo possível, ou seja, 0,03. Para o número de anos em funcionamento foi usado o mesmo procedimento, ou seja, a diferença entre a data da recolha de dados e a data de inauguração, seis anos.

A calibração entre os dois simuladores CREPE e IES-VE foi realizada previamente ao trabalho atual, pelo que não foi necessário executar essa etapa e, por isso, não é apresentada.

O processo de correção climática foi realizado seguindo o mesmo procedimento da análise à Loja I.

3.5 Ferramenta de correção climática

O desenvolvimento de uma ferramenta complementar ao CREPE para corrigir o consumo expectável com o clima real foi fundamental, uma vez que não é possível utilizar o clima real para o cálculo do consumo no próprio simulador. Para o cálculo do consumo expectável, o simulador necessita de dados climáticos horários. Porém, a recolha de dados climáticos reais em base horária não é praticável. Logo, foi necessário criar a ferramenta de correção climática.

Conhecido o processo mais indicado para a correção climática do consumo elétrico expectável, foi possível construir a ferramenta capaz de o aplicar. O Excel foi o programa escolhido para o desenvolvimento da mesma por ser um programa de cálculo de eleição a nível global.

Ao longo do estudo às três lojas reais, percebeu-se que poderia ser necessário ajustar as condições interiores da loja através de um processo iterativo entre o CREPE e o IES-VE. Para tal, desenhou-se uma folha de cálculo exclusivamente para auxiliar nesse processo. Nela são inseridos os valores devolvidos pelo CREPE e pelo IES-VE em cada iteração. Na primeira iteração os caudais de ar utilizados nos circuitos do sistema energético Frio_{IES-VE} devem ser introduzidos na mesma folha sendo calculados pela própria ferramenta nas iterações seguintes.

Para a correção climática é necessário introduzir os seguintes dados:

- Temperatura exterior padrão retirada do CREPE em base horária;
- Consumo elétrico expectável retirado do CREPE em base horária para os sistemas de refrigeração de média e de baixa temperatura;
- Clima real proveniente de estações meteorológicas em base diária quer em temperatura, quer em GD;
- Consumo elétrico real obtido durante auditorias energéticas por intermédio do sistema de monitorização do sistema de refrigeração da loja.

Os dados em formato horário provenientes do CREPE são posteriormente convertidos em base diária e mensal. Enquanto o clima real deve ser introduzido em formato diário sendo automaticamente transformado em formato mensal. A ferramenta efetua a correção climática ao consumo elétrico e calcula os valores de *benchmarking* expectável para os três consumos – média temperatura, baixa temperatura e total – para as quatro análises realizadas:

- Consumo elétrico diário corrigido(temperatura exterior média diária real);
- Consumo elétrico diário corrigido(GD real);
- Consumo elétrico mensal corrigido(temperatura exterior média mensal real);
- Consumo elétrico mensal corrigido(GD real).

No final são apresentadas representações gráficas que comparam os consumos antes e depois da correção climática com o consumo real do sistema de refrigeração da loja. O mesmo acontece com os indicadores de *benchmarking* expectável.

Destinou-se uma folha de cálculo para analisar as condições do ar no interior e no exterior da loja. Nessa folha é comparada a temperatura e a humidade absoluta no interior da loja antes e depois da calibração, no caso de ser realizada, bem como o clima padrão e o clima real. Para tal, os valores oriundos do CREPE devem ser inseridos numa outra folha específica da ferramenta.

Na Figura 34 apresenta-se a organização da ferramenta de correção climática.

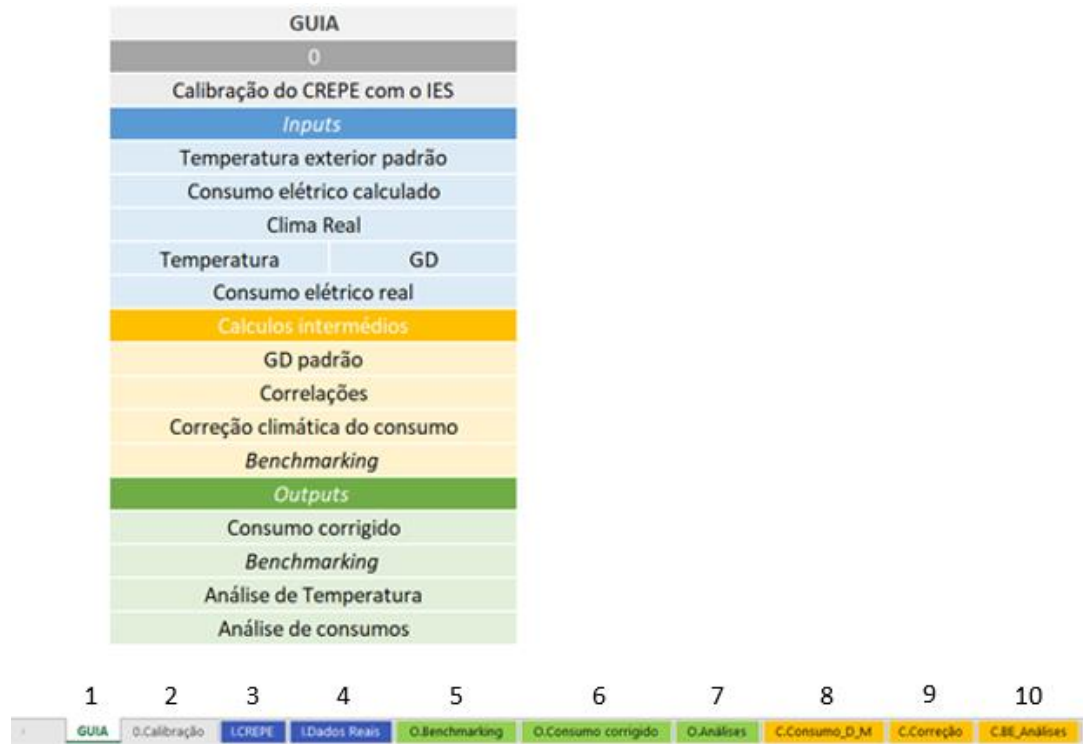


Figura 34. Apresentação da ferramenta de correção climática.

Os separadores numerados na parte inferior da imagem dizem respeito às folhas de cálculo que compõem a ferramenta:

1. **GUIA** – contém as informações necessárias para utilizar a ferramenta, designadamente, os dados que devem ser inseridos (*inputs*), os cálculos intermédios efetuados e o que resulta da sua utilização (*outputs*);
2. **0.Calibração** – folha de cálculo exclusiva para os cálculos necessários durante a calibração do CREPE com o IES-VE;
3. **1.CREPE** – onde são introduzidos os dados oriundos do CREPE, nomeadamente, a temperatura exterior padrão e o consumo elétrico expectável do sistema de refrigeração em base horária;
4. **1.Dados Reais** – folha reservada para os valores reais, em base diária, quer do consumo elétrico da rede, quer do clima (em temperatura e GD);
5. **0.Benchmarking** – apresenta os valores de *benchmarking* expectável calculados antes e depois da correção climática;
6. **0.Consumo corrigido** – mostra o consumo elétrico da rede de frio corrigido desagregado por sistema em cada dia e em cada mês;

7. **O.Análises** – exibe as análises mensais relativas às condições interiores da loja antes e depois da calibração e à temperatura exterior média padrão e real;
8. **C.Consumo_D_M** – relaciona o consumo e o clima nas bases diária e mensal e cria as funções correspondentes;
9. **C.Correção** – efetua a correção do consumo elétrico da rede de frio com o clima real em temperatura e GD;
10. **C.BE_Análises** – folha auxiliar destinada a cálculos intermédios que dão origem às análises presentes na folha O.Análises.

3.5.1 Caso de aplicação – Loja IV

Com o intuito de aplicar a ferramenta de correção climática foi selecionada uma loja de retalho alimentar real localizada no distrito do Porto, auditada pela empresa ESC e com simulação no CREPE. Essa loja integra um edifício independente e data de 1995. A Tabela 14 apresenta algumas informações gerais relativas à loja.

Tabela 14. Informações gerais relativas ao caso de aplicação

Loja	Ano de inauguração	Período de estudo	Área de vendas [m ²]	Horas diárias de funcionamento
Porto	1995	2015 a 2016	≈ 2300	13,5

Os dados reais, recolhidos em auditorias energéticas, dizem respeito ao período entre 15 de dezembro de 2015 e 14 de dezembro de 2016.

A Tabela 15 informa sobre o tipo e quantidade de expositores frigoríficos.

Tabela 15. Tipo e quantidade de expositores frigoríficos no caso de aplicação

Expositores frigoríficos			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
Mural sem porta	20 uni	Ilha com porta	18 uni
	56 ml		53 ml
Mural com porta	3 uni	Combinado	1 uni
	7 ml		2 ml
Vitrina	8 uni		
	18 ml		
Câmaras frigoríficas			
Média temperatura (produtos refrigerados)		Baixa temperatura (produtos congelados)	
75 m ²		15 m ²	

A loja está equipada com um total de 31 expositores frigoríficos de média temperatura, entre os quais, 20 são murais sem porta, 8 são vitrinas e 3 são murais com porta. Quanto aos expositores de baixa temperatura, são apenas 19 divididos em 18 ilhas com porta e um combinado. As câmaras frigoríficas destinam 75 m² para os produtos refrigerados e 15 m² para os produtos congelados.

A Tabela 16 indica características gerais do sistema de frio do caso de aplicação da ferramenta desenvolvida.

Tabela 16. Características do sistema de frio na central térmica do caso de aplicação

		Média temperatura	Baixa temperatura
Compressor	Tipo	Alternativo	Alternativo
	Ajuste à carga	2 escalões	2 escalões
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
Condensador	Tipo	Arrefecido a ar	Arrefecido a ar
	Ajuste à carga	VFD	VFD
	Controlo de temperatura	Flutuante	Flutuante
Fluido frigorigéneo		R404a	R404a

Os compressores instalados na central térmica da loja são alternativos quer na rede de frio de média temperatura, quer na rede de frio de baixa temperatura. A regulação da carga parcial de fluido frigorigéneo é realizada em escalões e o controlo de temperatura é flutuante.

Em ambas as redes de frio, são utilizados condensadores arrefecidos a ar cujo controlo dos ventiladores é efetuado com um variador de frequência. Tal como nos compressores, o controlo da temperatura nos condensadores é flutuante.

O fluido frigorigéneo em uso na instalação frigorífica é o R404a.

Previamente à aplicação da ferramenta de correção climática, foi necessário corrigir a eficiência dos compressores no CREPE, pois o simulador considerava a eficiência nominal. Para isso, foi utilizada a equação (3.1). Optou-se por assumir que a manutenção do sistema de refrigeração da loja seguia um plano ótimo e rigoroso e, por isso, adotou-se um fator de manutenção igual a 0,010. Até ao período de recolha de dados, não se conheciam renovações ao sistema de refrigeração, por isso, o tempo de funcionamento dos compressores considerado foi de 20 anos.

As condições do ar ambiente da loja e as necessidades térmicas dos expositores frigoríficos do CREPE não foram ajustadas com o software IES-VE, dado que esse ajuste foi realizado anteriormente ao presente trabalho.

Assim, simulou-se a rede de frio no CREPE já com a depreciação da eficiência dos compressores de forma a obter os consumos elétricos para serem posteriormente introduzidos e corrigidos pela ferramenta de correção climática.

Para além do consumo elétrico calculado pelo CREPE e do consumo elétrico real, foi necessário reunir os dados climáticos padrão, vindos do CREPE, e os reais, provenientes da estação meteorológica de Pedras Rubras, no Porto.

Essas informações foram depois introduzidas nas folhas **I.CREPE**, Figura 35, e **I.Dados Reais**, Figura 84 em anexo, da ferramenta de correção climática.

Consumo horário calculado						
Dia _{ano}	Mês	Dia _{mês}	Horas	Input	Input	Input
				Text	Consumos [kWh]	
					Média Temperatura	Baixa Temperatura
1	Jan	1	1	7,06	23,26	26,51
	Jan	1	2	6,56	22,81	15,51
	Jan	1	3	6,16	22,46	15,43
	Jan	1	4	5,86	22,16	15,35
	Jan	1	5	5,56	21,94	15,30
	Jan	1	6	5,46	22,14	15,34
	Jan	1	7	5,36	28,16	16,72
	Jan	1	8	5,66	29,93	16,94
	Jan	1	9	6,46	33,85	17,67
	Jan	1	10	7,66	34,22	17,76
	Jan	1	11	8,96	34,61	17,85
	Jan	1	12	10,16	31,66	17,33
	Jan	1	13	10,96	30,81	17,19
	Jan	1	14	11,26	30,87	17,21
	Jan	1	15	11,26	30,90	17,22

Figura 35. Folha da ferramenta para a introdução dos dados provenientes do CREPE.

Na folha **C.Consumo_D_M**, Figura 85 em anexo, a ferramenta relacionou o consumo elétrico calculado pelo CREPE com o clima padrão, quer em temperatura, quer em GD, dando origem às equações que definem essas relações.

As equações foram aplicadas na folha **C.Correção**, Figura 86 em anexo, de modo a corrigir o consumo calculado pelo CREPE com o clima real.

No final, a ferramenta apresentou comparações entre os resultados antes e depois da correção climática, nomeadamente, os indicadores de *benchmarking* expectável, **O.Benchmarking**, Figura 36, os consumos elétricos teóricos da rede de frio, **O.Consumo corrigido**, Figura 87 em anexo, e os dados climáticos, **O.Análises**, Figura 88 em anexo.



Figura 36. Folha da ferramenta para a apresentação da comparação entre consumos e entre indicadores de benchmarking expectável.

3.6 Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração

Com o propósito de reforçar o trabalho realizado com a correção climática quer nos casos de estudo, quer no caso de aplicação da ferramenta desenvolvida, procedeu-se à elaboração de uma análise complementar. A análise foi dividida em três partes.

A primeira parte da análise consistiu na comparação gráfica, ao longo do ano de avaliação, entre o consumo real e o consumo calculado pelo CREPE. Pretendia-se, pois, perceber se o cálculo do consumo no simulador se encontrava a ser afetado pelo clima. Para o efeito, foram utilizados os dados de três das quatro lojas analisadas: Loja I, Loja III e Loja IV.

A Loja II não foi abrangida na comparação, visto que, durante o período de recolha de dados, o sistema de monitorização da loja não registava consumos diários sendo os valores anuais os únicos de confiança.

Às comparações gráficas foram acrescentadas relações entre o consumo real e o clima real em temperatura, à semelhança das funções criadas durante a etapa de correção climática.

O objetivo da segunda parte da análise, mais teórica, prendia-se com a verificação da variação máxima do clima ao longo de um período definido e do seu impacto no consumo elétrico de um sistema de refrigeração. Para tal, foram recolhidos dados climáticos em GD mensais da estação meteorológica de Pedras Rubras, no Porto, para o período máximo possível, isto é, de 2013 a 2019.

Os dados climáticos recolhidos foram analisados de forma a selecionar os dois climas anuais com a máxima variação climática. De seguida, procedeu-se ao cálculo do consumo para os dois anos selecionados utilizando a ferramenta de correção climática com os dados referentes ao primeiro caso de estudo, a Loja I.

Na **terceira parte da análise**, também mais teórica do que a primeira, pretendia-se analisar o efeito da variação climática das estações do ano mais críticas – verão e inverno – no consumo elétrico do sistema de frio.

Partindo dos valores mensais de GD do ano de 2013, clima de referência, foram criados quatro cenários diferentes para essa análise, Tabela 17.

Tabela 17. Estações climáticas diferentes para comparação com clima de referência

Cenários climáticos diferentes			
Verão mais quente	Verão mais frio	Inverno mais quente	Inverno mais frio

Para o verão mais quente, foi considerado um aumento de 10% do número de GD correspondente aos meses de maio, junho, julho e agosto mantendo os valores reais dos restantes meses. Enquanto o verão mais frio sofreu uma redução de 10% no mesmo período. Para os cenários de inverno foi utilizado o mesmo método nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Caso de estudo – Loja I

4.2 Caso de estudo – Loja II

4.3 Caso de estudo – Loja III

4.4 Caso de aplicação – Loja IV

4.5 Análise global de resultados

4.6. Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração

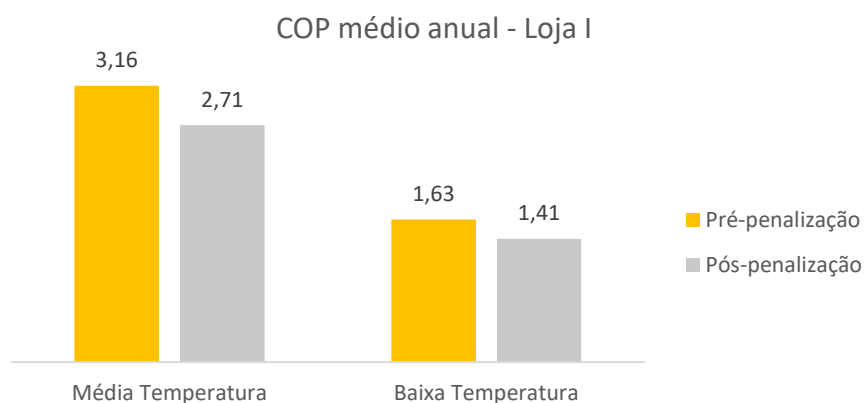
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao longo do presente capítulo são apresentados os resultados obtidos nos casos de estudo e no caso de aplicação da ferramenta de correção climática. No final de cada caso de estudo é exposta uma breve síntese desses resultados. De seguida, é elaborada uma análise global à correção climática, com ênfase nos indicadores de *benchmarking* e nos formatos climáticos. No último subcapítulo é exposta uma última análise relativamente ao impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de frio.

4.1 Caso de estudo – Loja I

4.1.1 Penalização do COP dos compressores

O fator de correção que garante a penalização do COP dos compressores pelo tempo de funcionamento é dependente da manutenção e do número de anos em operação. Pelos motivos já expostos, foi considerado um fator de manutenção igual a 0,015 e um período de funcionamento dos compressores de 10 anos resultando num fator de correção de aproximadamente 0,86. A Figura 37 apresenta os valores médios anuais do COP dos compressores do sistema de média temperatura, à esquerda, e do sistema de baixa temperatura, à direita. Nela são comparados os valores do COP antes da aplicação do fator de correção e os que resultaram dessa aplicação.

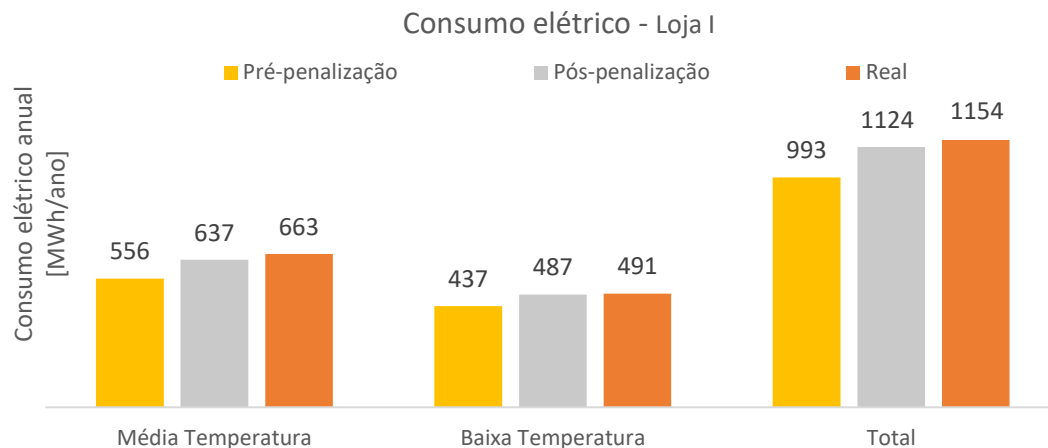


NOTA: Valores arredondados à centésima

Figura 37. Valores médios anuais do COP dos compressores na Loja I.

Pela imagem, verifica-se que a perda da capacidade de compressão dos compressores da loja I após 10 anos de funcionamento se traduziu numa redução do valor médio anual do COP de 14,0% em ambos os sistemas de média temperatura e de baixa temperatura.

Naturalmente, essa redução de capacidade afetou o consumo elétrico do sistema de refrigeração. Na Figura 38 é ilustrada a evolução do consumo elétrico do sistema de refrigeração com a penalização do COP: à esquerda, os resultados relativos ao circuito de média temperatura, no centro, os valores dizem respeito ao circuito de baixa temperatura e à direita, apresentam-se os consumos totais do sistema de refrigeração.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 38. Evolução do consumo elétrico anual do sistema de refrigeração da Loja I com a penalização do COP dos compressores.

Observando o gráfico, é possível notar que os consumos devolvidos pelo CREPE antes da correção do COP eram otimistas, isto é, eram valores muito inferiores aos realmente medidos na instalação. É igualmente comprovado que a redução da capacidade de compressão dos compressores leva ao aumento do consumo calculado, como esperado e, conseqüente aproximação à energia elétrica consumida na realidade pelo sistema de refrigeração.

A Figura 39 mostra os valores de *benchmarking* expectável para cada circuito e para o total calculados antes e depois da penalização que visam comparar os consumos calculados ao consumo real.



NOTA: Valores arredondados à centésima.

Figura 39. Indicadores de *benchmarking* expectável antes e depois da penalização do COP na Loja I.

Os valores calculados mantiveram-se acima da barreira unitária, o que significa que o consumo real da instalação permaneceu superior ao calculado pelo CREPE, coerente com o gráfico anterior, Figura 38.

Por conseguinte, o indicador de *benchmarking* que representa a relação entre o consumo elétrico total real da rede de frio e o calculado pelo CREPE reduziu de 1,162 para 1,027. No sistema de média temperatura essa redução foi maior, de 1,192 para 1,041 e no sistema de baixa temperatura reduziu de 1,124 para 1,008. Essas reduções representam a aproximação do consumo calculado ao consumo real da instalação.

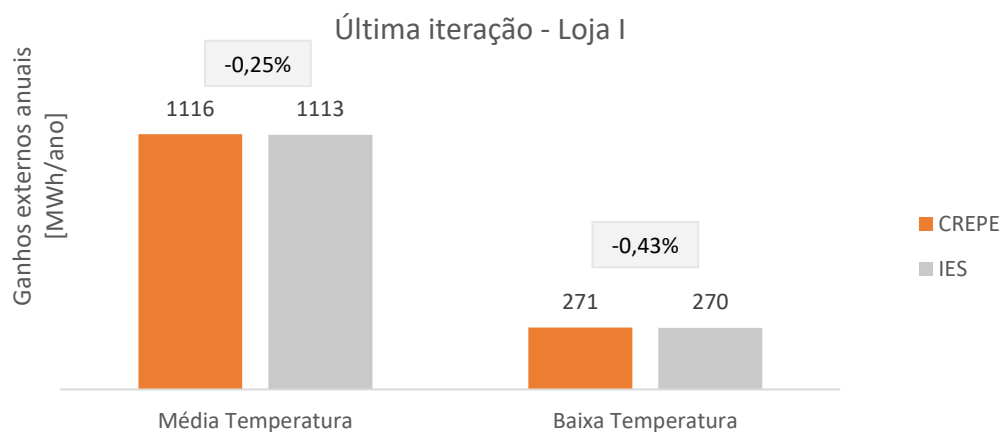
4.1.2 Calibração do CREPE

O modo de funcionamento do sistema de climatização que influencia as condições do ar no interior da loja foi conhecido durante auditorias realizadas na loja de forma a ser simulado no IES-VE. Foi esse o método utilizado para obter os valores de temperatura e humidade absoluta do ar interior da loja o mais próximo da realidade quanto possível.

A aplicação dos valores das condições do ar ambiente resultantes do IES-VE na ferramenta CREPE e a subsequente calibração das ferramentas serviu para obter necessidades térmicas dos expositores frigoríficos semelhantes às reais.

O ajuste das necessidades térmicas devidas à envolvente dos expositores GE_{expo} e das condições do ar no interior da loja terminou quando se atingiu uma diferença inferior a 1% entre os ganhos externos GE_{expo} resultantes das simulações nos dois programas.

A Figura 40 apresenta os valores dos ganhos externos GE_{expo} obtidos no final da calibração do CREPE. Mostra, também, o desvio entre os valores resultantes das simulações nos dois programas.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 40. Valores dos ganhos externos GE_{expo} devolvidos pelo CREPE e pelo IES-VE no final do processo iterativo na Loja I.

Na última iteração, com recurso à equação (3.2), a simulação no CREPE devolveu o valor aproximado de 1116 MWh/ano correspondente aos ganhos externos GE_{expo} do sistema de média temperatura, na imagem à esquerda. Já o resultado equivalente obtido a partir do IES-VE foi de 1113 MWh/ano. Logo, o desvio registado foi de -0,25%. Para o sistema

de baixa temperatura, os resultados obtidos foram aproximadamente 271 e 270 MWh/ano a partir do CREPE e do IES-VE, respetivamente, o que representa uma diferença de -0,43%.

Realizou-se uma comparação entre as condições de temperatura e humidade absoluta do ar interior da loja calculadas pelo CREPE antes da calibração e pelo IES-VE depois da calibração, presente na Figura 41. Essa comparação encontra-se numa base mensal a fim de facilitar a sua análise.

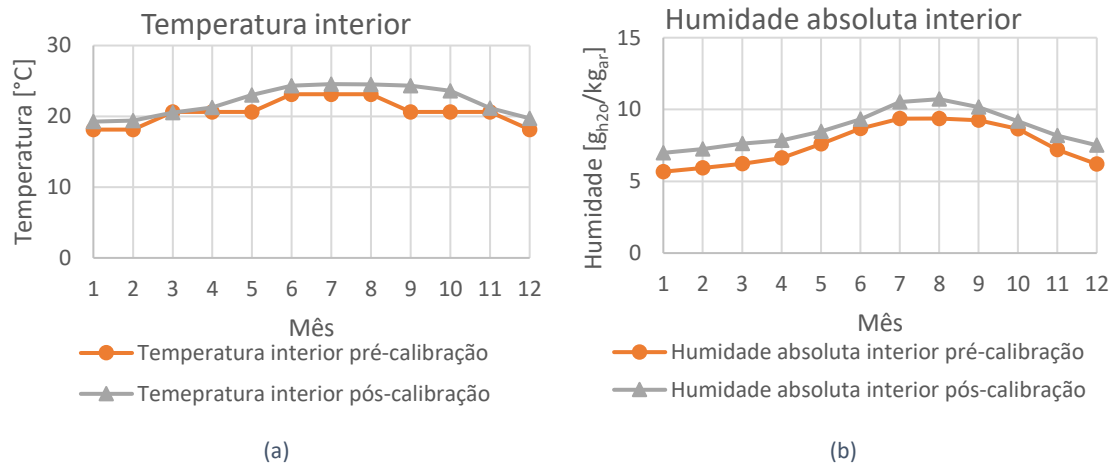
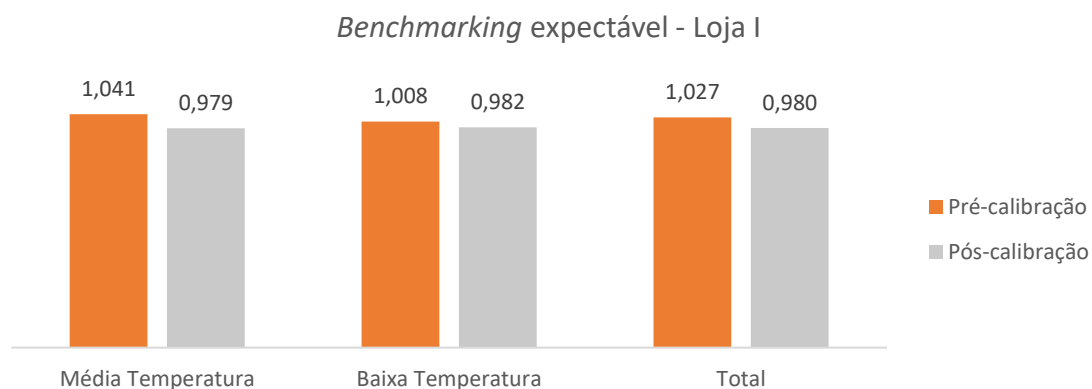


Figura 41. Comparação entre as condições interiores do ar antes e depois da calibração na Loja I.

Previamente à calibração, o CREPE executava a simulação fazendo variar a temperatura do ar ambiente de 17 a 25°C e a humidade absoluta de 1 a 10 g_{h2o}/kg_{ar} ao longo do ano. Quer a temperatura, quer a humidade do ar no interior da loja sofreram um aumento com o ajuste entre o CREPE e o IES-VE. Esse ajuste veio alterar a variação para os valores de 17,1 a 25,5°C e 4,4 a 16,7 g_{h2o}/kg_{ar}, o que revela que no que toca à temperatura, o CREPE já apresentava valores próximos da simulação do IES-VE.

Após a calibração do CREPE, calcularam-se os valores de *benchmarking* expectável de modo a conhecer o efeito da calibração no consumo elétrico expectável. A Figura 42 compara os indicadores de *benchmarking* antes e depois da calibração para os três consumos.



NOTA: Valores arredondados à centésima.

Figura 42. Indicadores de *benchmarking* expectável antes e depois da calibração do CREPE na Loja I.

Com a calibração do CREPE pretendeu-se aproximar o mais possível as condições no CREPE às condições reais em loja e, conseqüentemente, aproximar o consumo calculado ao consumo real da instalação. O ajuste provocou necessidades térmicas mais elevadas do que as inicialmente devolvidas pelo CREPE levando ao aumento do consumo elétrico da instalação. De facto, verificou-se que o consumo calculado passou a ser superior ao real, visto que os valores de *benchmarking* ultrapassaram a barreira unitária no sentido decrescente.

Antes da calibração, o CREPE apresentava os indicadores de *benchmarking* de 1,041 no consumo do sistema de média temperatura, de 1,008 no consumo do sistema de baixa temperatura e de 1,027 no consumo total. A calibração nivelou esses desvios para 0,980, aproximadamente, em todos os casos.

4.1.3 Correção climática

A correção climática foi realizada em formato diário e mensal. Esperava-se comparar os resultados de maneira a perceber se seria viável realizar uma análise de confiança com um número inferior de dados.

A principal motivação para realizar análises com temperatura e com GD passou por perceber se seria possível obter melhores resultados com apenas um desses indicadores climáticos a fim de aligeirar futuras análises optando por apenas um desses indicadores.

Na terceira fase da análise obtiveram-se as relações entre o consumo elétrico do sistema de refrigeração calculado pelo CREPE e o clima padrão. Na Figura 43, com temperatura, e na Figura 44, com GD, apresentam-se as representações gráficas dessas relações em base diária.

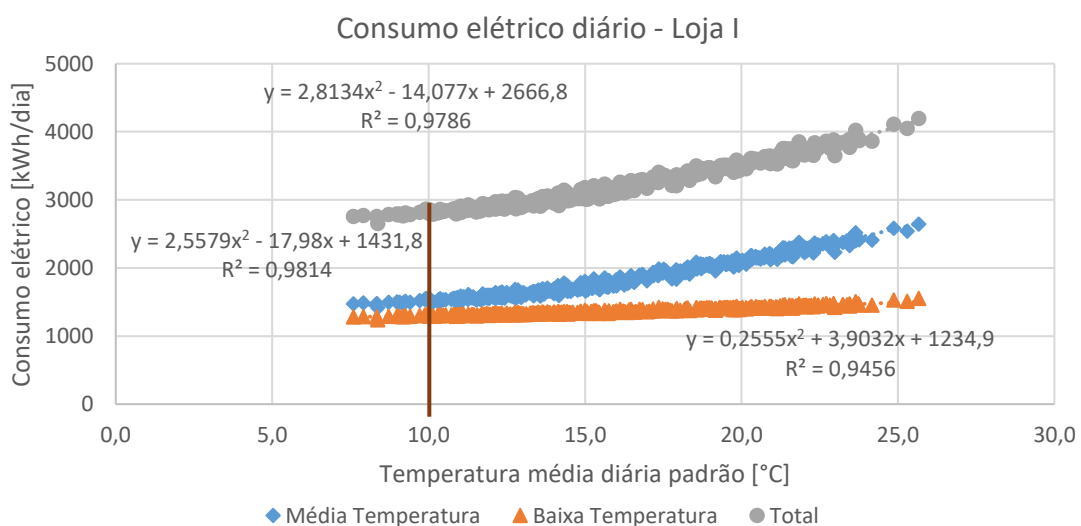


Figura 43. Curvas obtidas com a relação diária entre o consumo elétrico e clima padrão em temperatura na Loja I.

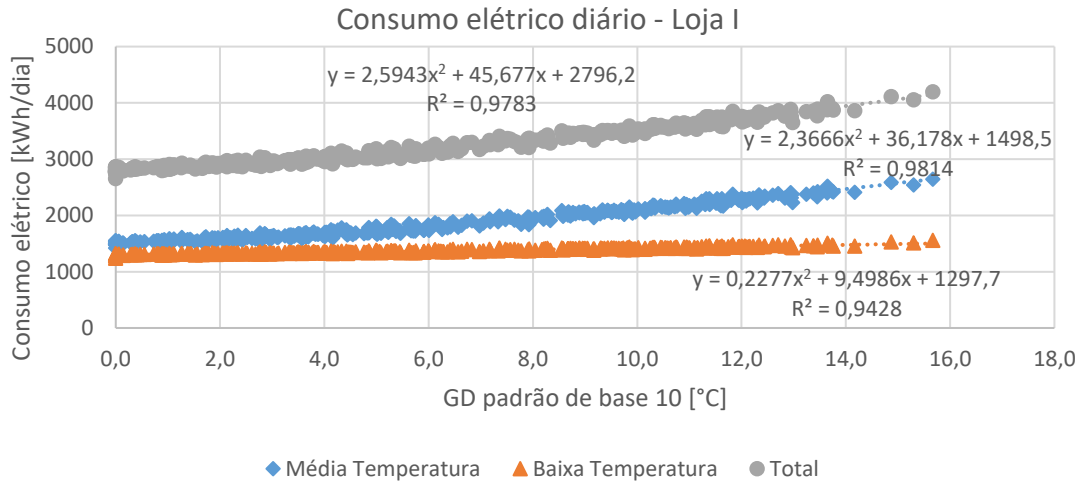


Figura 44. Curvas obtidas com a relação diária entre o consumo elétrico e o clima padrão em GD na Loja I.

Da análise com a temperatura, Figura 43, ficou claro que o consumo elétrico do sistema de baixa temperatura pouco variou com a temperatura, contrariamente ao consumo do sistema de média temperatura. Portanto, previa-se que o impacto da correção climática no primeiro consumo fosse inferior ao impacto no segundo.

Dessa análise, foi possível determinar a temperatura mínima a partir da qual o consumo do sistema de frio começa a ser afetado pelo clima. Tal foi observado no aumento do declive das curvas que representam o consumo total e o consumo de média temperatura acima de 10°C , assinalado na Figura 43. Por essa razão, a temperatura base de arrefecimento utilizada para a recolha dos dados climáticos em GD foi de 10°C .

Na Figura 45 encontram-se os gráficos onde se comparam os dados climáticos padrão, inicialmente utilizados, e os reais, usados na correção climática, em temperatura, (a) e em GD, (b), numa base mensal.

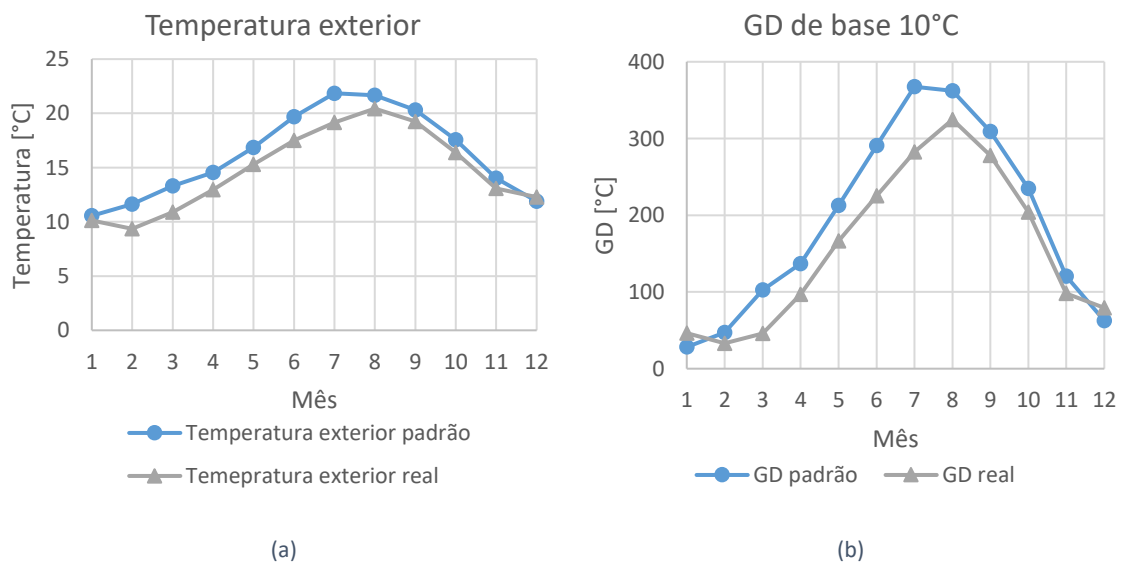
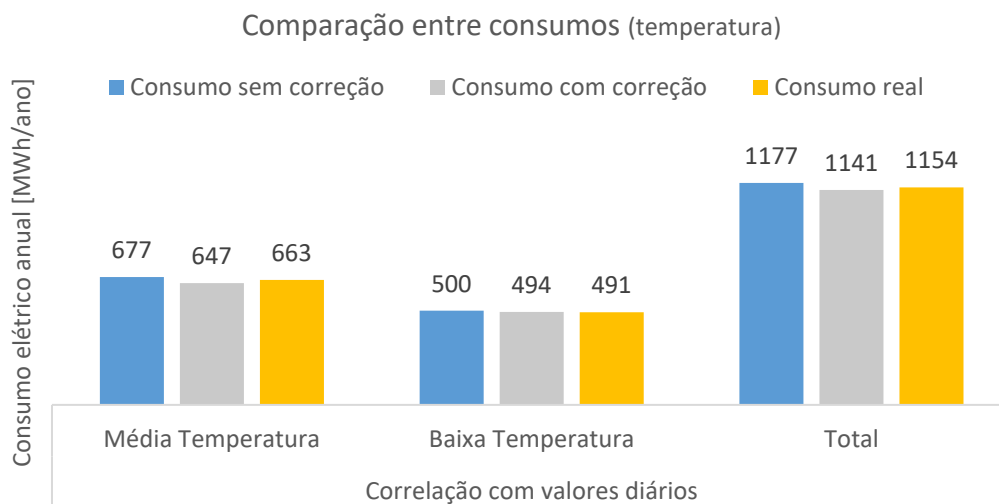


Figura 45. Comparação em base mensal entre o clima padrão e o clima real em (a) temperatura e (b) GD, Loja I.

Supôs-se que a correção climática levaria à diminuição do consumo elétrico calculado, pois ao estudar os gráficos da Figura 45 observou-se que o clima real foi mais frio do que o padrão.

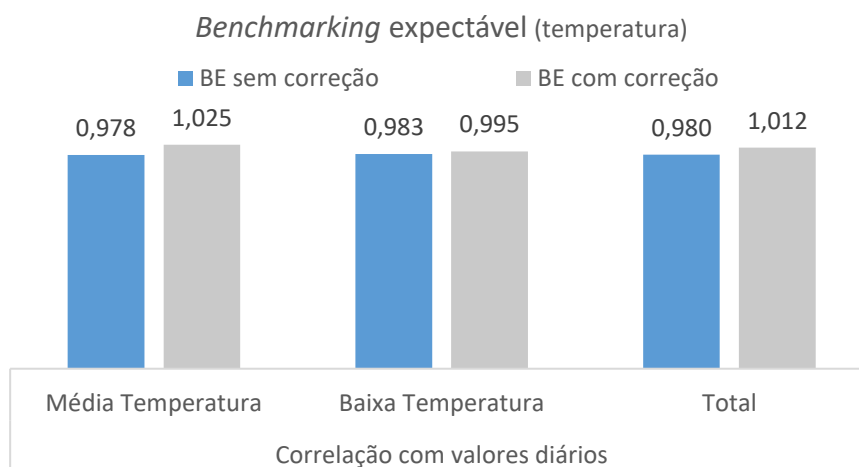
Da mesma forma, constatou-se que o clima padrão em (a) é mais próximo do clima de 2018 do que em (b). Ao analisar a diferença entre os dados climáticos em temperatura, observou-se um desvio médio de 9,4%. Enquanto que com GD essa diferença atingiu 27,1%. Os climas distanciaram-se mais em fevereiro, com 19,7%, na análise com temperatura e em janeiro com 65,1% na análise com GD. Pela mesma ordem, o oposto ocorreu em dezembro com 3,0% e em setembro com 10,1%.

Na Figura 46 e na Figura 47 são comparados os consumos elétricos anuais do sistema de refrigeração e os indicadores de *benchmarking* expectável resultantes da análise diária com temperatura.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 46. Comparação entre consumos obtidos na análise diária com temperatura com a correção climática na Loja I.



NOTA: Valores arredondados à milésima.

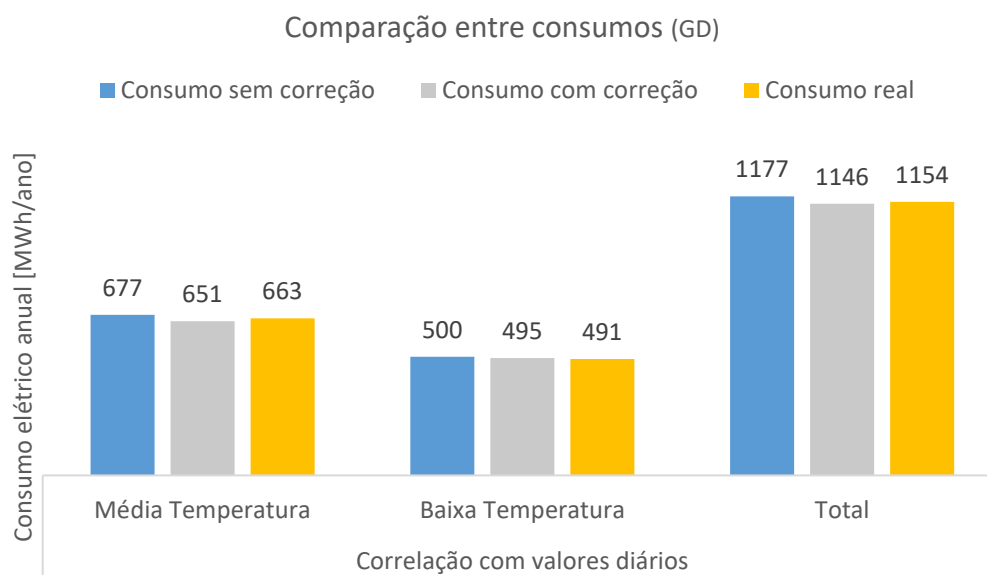
Figura 47. Indicadores de *benchmarking* obtidos na análise diária com temperatura com a correção climática na Loja I.

Como previsto após a comparação entre o clima padrão e real, a correção climática provocou o decréscimo do consumo elétrico expectável, Figura 46. O gráfico que o segue, comprova essa afirmação, pois os indicadores de *benchmarking* expectável aumentaram após a correção chegando a ultrapassar o valor de 1 no consumo do sistema de média temperatura e no consumo total.

No sistema de média temperatura, observou-se um ligeiro afastamento entre o consumo corrigido e o consumo real face ao valor calculado pelo CREPE, pois o valor de *benchmarking* passou de 0,978 para 1,025. Esse foi o sistema mais afetado pelo clima, visto ser o que mais energia elétrica consome e o mais influenciado pelas variações climáticas. Semelhante foi a redução no indicador correspondente ao consumo total da rede de frio, pois o valor de 0,980 passou para 1,012.

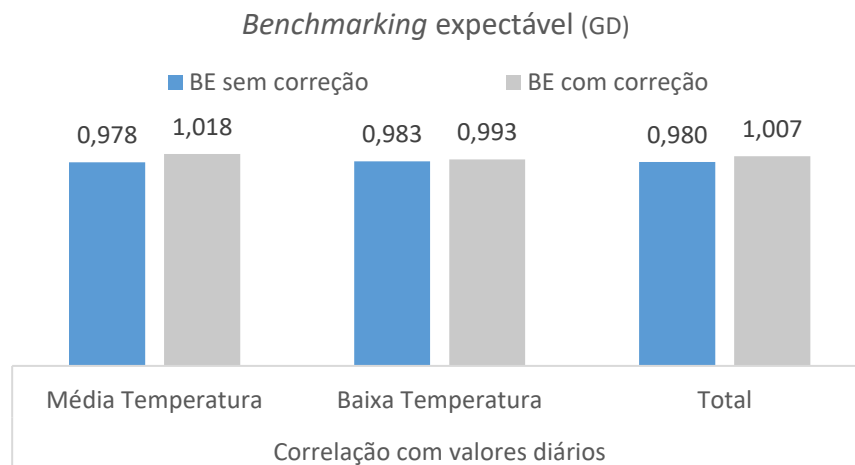
Pelo contrário, foi no consumo da rede de frio negativo que a aplicação do clima real provocou menos impacto, como previsto após a análise das curvas das correlações. Porém, foi suficiente para o aproximar do valor real, pois o indicador de 0,983 aproximou-se da unidade, resultando no valor de 0,995 com a correção climática.

A Figura 48 e a Figura 49, idênticas às duas anteriores, referem-se à análise diária com GD.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 48. Comparação entre consumos obtidos na análise diária com GD com a correção climática na Loja I.



NOTA: Valores arredondados à milésima.

Figura 49. Indicadores de *benchmarking* resultantes da análise diária com GD com a correção climática na Loja I.

Na análise realizada com GD, o consumo calculado foi sempre aproximado ao consumo real após a correção climática. Tal como com temperatura, foi no sistema de média temperatura que a redução da diferença entre consumo real e o expectável se mostrou mais significativa, passando de 0,978 para 1,018.

O consumo do sistema de baixa temperatura continuou a ser o menos influenciado pelo clima, uma vez que o indicador de *benchmarking* passou de 0,983 para 0,993 após a correção climática.

À semelhança da análise com temperatura, o indicador que compara os valores real e expectável do consumo total do sistema manteve-se a mediar os indicadores de *benchmarking* expectável apresentados pelos sistemas positivo e negativo, pois passou de 0,980 para 1,007, o que significa um decréscimo do consumo expectável para além do consumo real.

Numa perspetiva geral, os gráficos apresentados mostram que os indicadores de *benchmarking* resultantes das análises com temperatura e com GD são muito semelhantes, sendo apenas possível verificar essa diferença com três casas decimais.

4.1.4 Síntese de resultados

Como pretendido, através das três fases de análise realizadas na primeira loja foi possível aproximar o consumo calculado ao consumo real, registado pelo sistema de gestão da loja.

Na primeira fase, a depreciação da eficiência dos compressores, que se encontravam em funcionamento há 10 anos, registou um decréscimo médio do desvio entre os consumos real e calculado de cerca de 13% resultando num indicador médio de *benchmarking* aproximadamente igual a 1,03.

A calibração entre os dois programas de simulação dinâmica, CREPE e IES-VE, resultou no indicador médio de *benchmarking* de, aproximadamente, 0,98, o que representa um desvio de apenas 2% face ao consumo real.

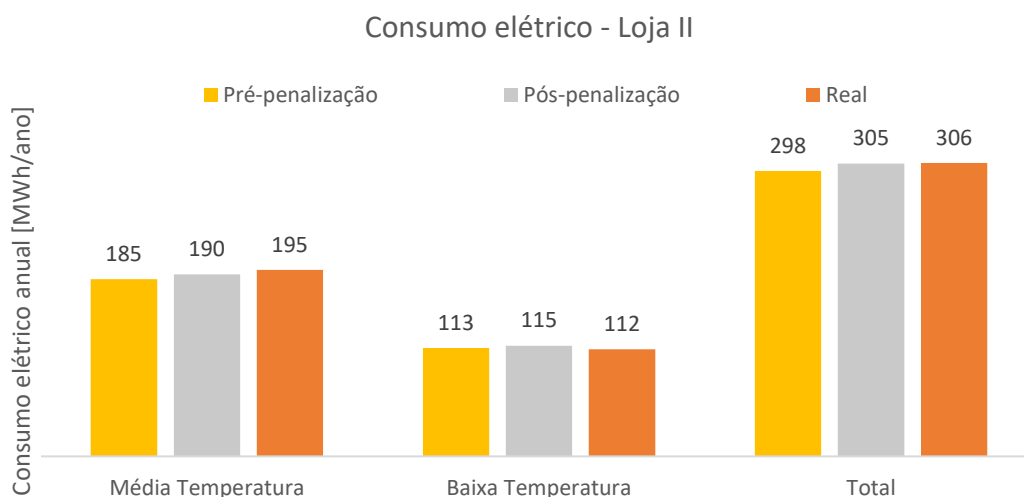
Na terceira fase de análise, a correção climática do consumo devolvido pelo CREPE registou consumos corrigidos inferiores aos reais com um desfasamento médio de 1%.

4.2 Caso de estudo – Loja II

4.2.1 Penalização do COP dos compressores

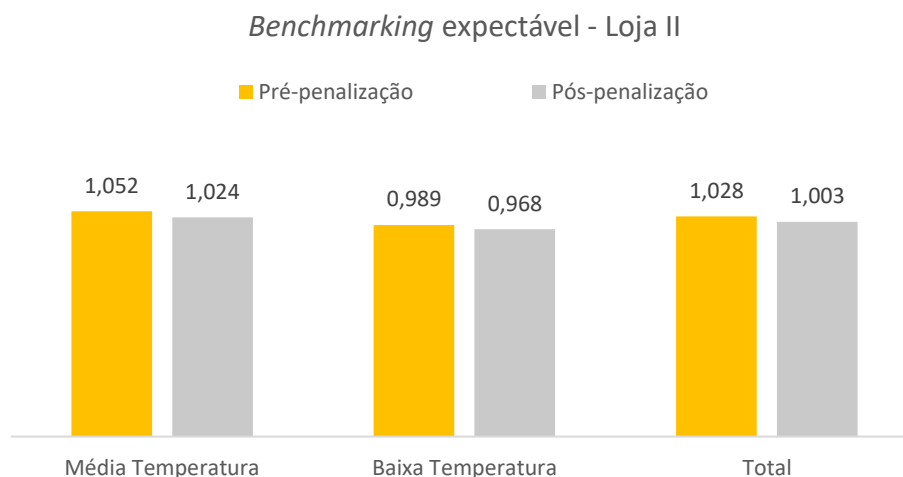
Os dados recolhidos nas auditorias realizadas pela empresa ESC durante o período compreendido entre abril de 2018 e abril de 2019 serviram de base para a realização do estudo à Loja II. O plano de manutenção foi um desses dados. Pelos mesmos motivos assumidos na análise da loja anterior, foi considerado o valor de 0,015 como fator de manutenção. Já o tempo de funcionamento dos compressores foi significativamente inferior ao da loja I. Por ter sido inaugurada em 2016, é a que apresenta um menor tempo em operação, apenas dois anos. A equação (3.1) foi utilizada para calcular o fator de correção de 0,97 a aplicar no valor do COP dos compressores do sistema de refrigeração da Loja II.

O resultado da correção no valor médio anual do COP dos compressores pode ser verificado na Figura 70 em anexo. A pequena redução verificada em todos os casos é resultado do curto período de funcionamento da dos compressores. Mesmo pequena, essa redução teve impacto no consumo expectável do sistema de frio e na consequente aproximação ao consumo real. A Figura 50 e a Figura 51 mostram esse impacto através dos consumos anuais e dos indicadores de *benchmarking* expectável, respetivamente.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 50. Evolução do consumo elétrico anual do sistema de refrigeração da Loja II com a penalização do COP dos compressores.



NOTA: Valores arredondados à centésima.

Figura 51. Indicadores de *benchmarking* expectável antes e depois da penalização do COP na Loja II.

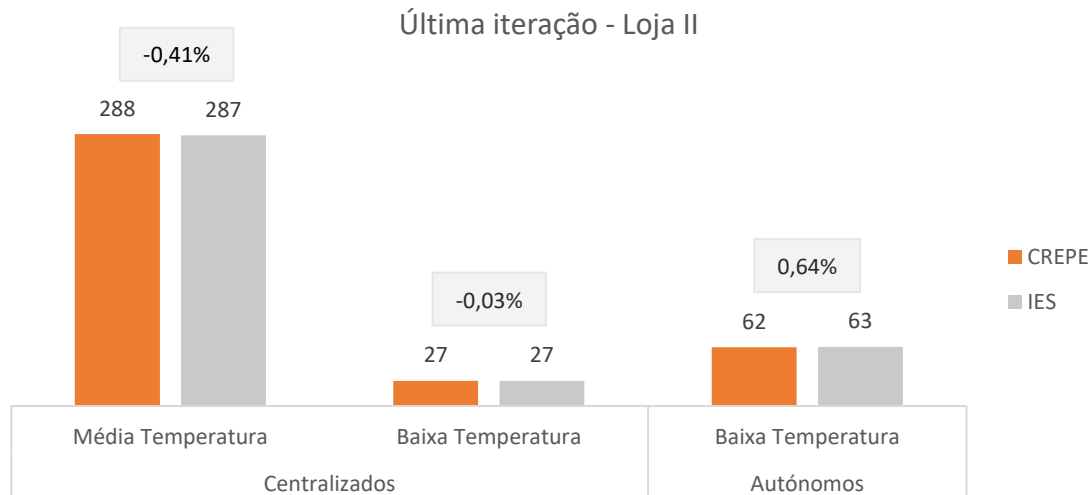
É apenas no sistema de baixa temperatura onde a penalização da eficiência dos compressores afasta o consumo calculado do real, pois o valor de 0,989 pré-penalização passa a 0,968 com a correção do COP. Tal deve-se ao facto de o consumo calculado anteriormente à penalização ser já superior ao consumo real. De forma expectável, após a aplicação dessa penalização o consumo calculado aumentou afastando-se do real.

Nos outros dois casos – média temperatura e total – esses valores calculados pelo CREPE eram inferiores aos consumos reais registados pelo sistema de monitorização da loja. Com efeito, após a correção da eficiência dos compressores, obtiveram-se valores superiores que auxiliaram na redução do desfasamento entre os consumos real e calculado. No sistema de média temperatura, a penalização do COP deu origem à redução no indicador de *benchmarking* de 1,052 para 1,024. Enquanto o consumo total calculado foi o que mais se assemelhou com o valor real, obtendo-se um indicador de *benchmarking* aproximadamente igual à unidade.

4.2.2 Calibração do CREPE

O processo de calibração do CREPE no sistema de frio da Loja II distingue-se do processo realizado na primeira loja, uma vez que a loja atual apresenta uma rede de frio autónoma que não existe na Loja I. Por esse motivo, os resultados comparados no final de cada iteração são diferentes, como previamente explicado em 3.4.2.

Os resultados obtidos através das duas ferramentas na última iteração do processo de calibração encontram-se no gráfico da Figura 52. À esquerda e ao centro estão indicados os valores relativos aos ganhos pela envolvente dos expositores frigoríficos de média e de baixa temperatura ligados à central térmica e à direita são apresentados os valores relativos ao efeito do calor libertado pelo motor dos compressores dos expositores frigoríficos autónomos.



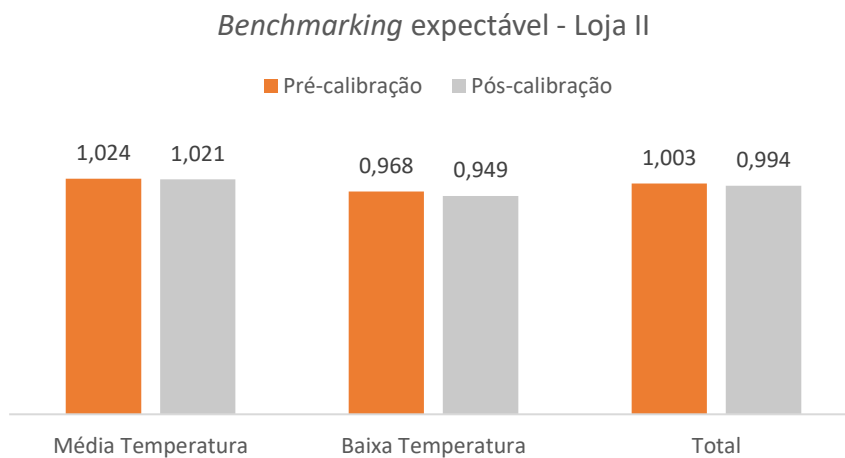
NOTA: Valores arredondados à unidade, em MWh/ano.

Figura 52. Valores obtidos pelo CREPE e o IES-VE no final do processo iterativo na Loja II.

A última iteração resultou nos desvios entre o IES-VE e o CREPE indicados no gráfico da Figura 52, ou seja, -0,41%, -0,03% e 0,64%. Os dois primeiros referem-se aos ganhos pela envolvente dos expositores centralizados GE_{expo} . Enquanto o último corresponde ao efeito do calor libertado pelo motor do compressor de cada expositor autónomo, uma vez que o calor removido pela envolvente dos expositores é rejeitado pelos condensadores para o ar ambiente da loja. Ao comparar os valores inicialmente devolvidos pelo CREPE com os resultantes da última iteração, notou-se que os primeiros eram já muito próximos dos valores calibrados.

À semelhança da análise anterior, realizou-se uma comparação entre as condições de temperatura e humidade absoluta do ar interior da loja antes e depois da calibração, cujas representações gráficas podem ser consultadas em anexo na Figura 71.

Com o propósito de conhecer o efeito da calibração no consumo elétrico expectável, calcularam-se os valores de *benchmarking* expectável para cada consumo, Figura 53.



NOTA: Valores arredondados à centésima.

Figura 53. Indicadores de *benchmarking* expectável antes e depois da calibração do CREPE na Loja II.

De uma forma geral, o ajuste realizado entre o CREPE e o IES-VE que serviu para aproximar as condições do ar no interior da loja introduzidas no CREPE às condições reais afetou o consumo calculado pelo CREPE afastando-o ligeiramente do consumo real.

O indicador de *benchmarking* expectável relativo ao consumo do sistema de média temperatura manteve-se próximo de 1,02 após a calibração da ferramenta. O consumo total da rede de frio sofreu um aumento face ao anteriormente calculado pelo CREPE registado na diminuição do indicador de *benchmarking* de 1,003 para 0,994.

Já o indicador que compara os consumos do sistema de baixa temperatura decresceu de 0,968 para 0,949, o que representa o aumento do consumo calculado após a calibração. Esse foi o consumo mais afetado pela segunda etapa do estudo, visto que a maioria dos expositores negativos é autónoma e, por isso, a sua temperatura de condensação depende da temperatura no interior da loja que se fez variar durante o processo de calibração.

Os indicadores de *benchmarking* expectável variaram pouco com a calibração do CREPE, uma vez que os valores devolvidos pelo simulador antes e depois se mantiveram semelhantes.

4.2.3 Correção climática

As curvas que relacionam o consumo elétrico calculado pelo CREPE e o clima padrão podem ser observadas na Figura 54 e, em anexo, da Figura 73 à Figura 75.

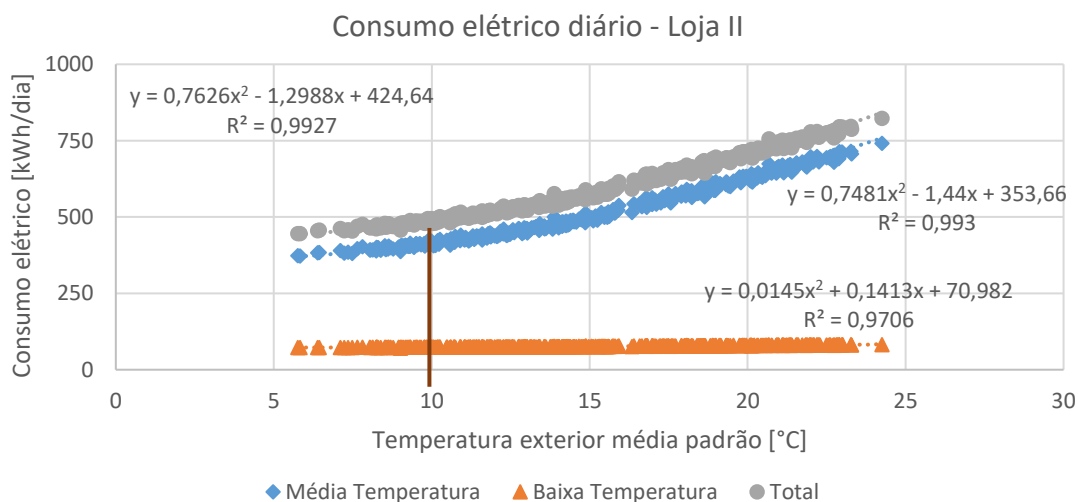


Figura 54. Curvas obtidas com a relação entre o consumo elétrico e o clima padrão em temperatura na Loja II.

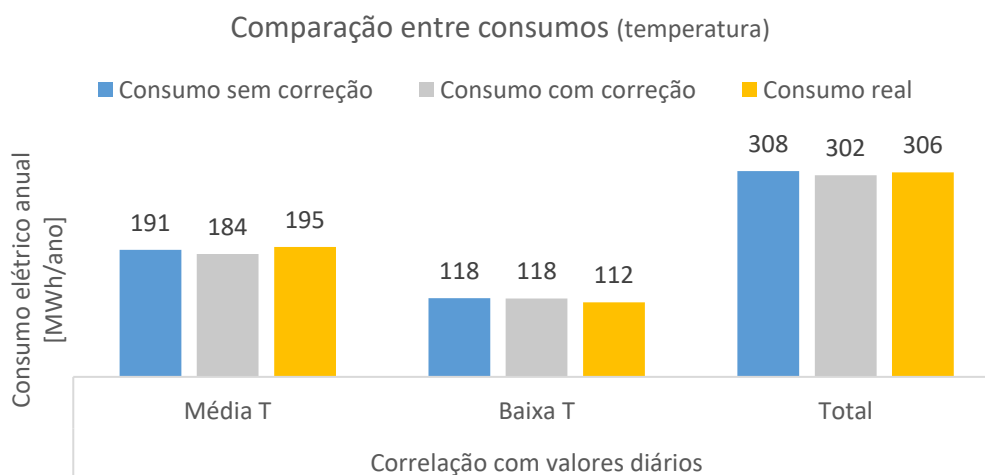
Com a análise do gráfico da Figura 54, foi possível verificar o impacto extremamente baixo da variação climática no consumo do sistema de baixa temperatura centralizado, variando entre 71 e 82 MWh/dia, aproximadamente. Tal deve-se à composição do sistema de baixa temperatura ser maioritariamente autónoma e, por isso, afetada pelo ar ambiente no interior da loja sendo apenas a restante minoria afetada pelo ar exterior.

Assim, apenas o consumo correspondente a essa minoria, representado nos gráficos, foi relacionado com o clima.

Por oposição o consumo equivalente ao sistema de média temperatura e o consumo total, apresentaram uma variação total de cerca de 369 e 378 MWh/dia, respetivamente. Nesses dois casos, verificou-se um ligeiro incremento no declive já antes da temperatura atingir 10°C. A partir dessa temperatura, assinalada na Figura 54, o incremento é cada vez maior, o que indica que acima desse valor o consumo é cada vez mais influenciado pela temperatura. Por esse motivo, tomou-se o valor de 10°C como a temperatura base de arrefecimento na determinação dos dados climáticos em GD.

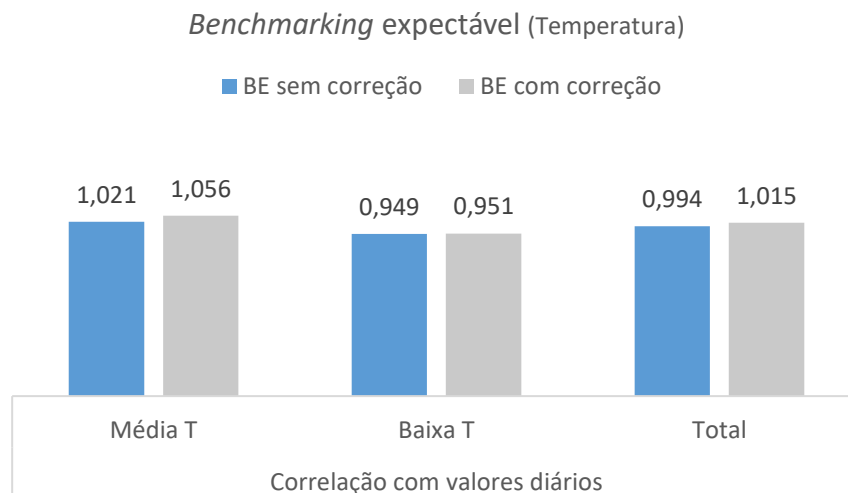
Realizou-se uma comparação entre o clima padrão e o clima real com valores mensais de temperatura e de GD cuja representação gráfica se encontra na Figura 72 em anexo. No período de estudo, registou-se um clima maioritariamente mais frio do que o clima padrão, o que sugere a redução no consumo expectável após a correção climática. Tal como na análise anterior, observou-se um maior desvio mensal entre os valores padrão e os reais quando o clima se encontrava em GD, uma vez que se verificou um desvio médio a nível mensal de 55,1%, enquanto na análise com temperatura esse valor foi de 6,2%. Janeiro foi o mês de maior distanciamento entre padrão e real, quer em temperatura, com 11,8%, quer em GD, com 296,4%. Pelo contrário, os valores registaram-se mais próximos em outubro com GD, 5,3% e em novembro com temperatura, 1,0%.

A correção dos consumos elétricos devolvidos pelo CREPE com o clima real em temperatura deu origem aos gráficos da Figura 55 e da Figura 56. A primeira diz respeito ao consumo e a segunda aos indicadores de *benchmarking* expectável.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 55. Comparação entre consumos da análise diária com temperatura com a correção climática na Loja II.



NOTA: Valores arredondados à milésima.

Figura 56. Indicadores de *benchmarking* expectável obtidos na análise diária com temperatura com a correção climática na Loja II.

O impacto da variação do clima no consumo do sistema de baixa temperatura foi praticamente nulo, uma vez que a correção climática apenas elevou o indicador de *benchmarking* de 0,949 para 0,951 mantendo-se no valor anual de aproximadamente 118 MWh.

O consumo do sistema de média temperatura afastou-se do consumo real com a correção climática, representado no aumento do indicador de 1,021 para 1,056.

O consumo total corrigido também se afastou do consumo real. No entanto, a diferença entre ambos continua a ser pequena, pois o indicador de *benchmarking* passou de 0,994 a 1,015.

4.2.4 Síntese de resultados

Por ser uma loja recente, com apenas dois anos de funcionamento, o decréscimo do desvio entre os consumos real e calculado provocada pela penalização do COP dos compressores verificou-se reduzido, apenas 2% (valor médio), devolvendo um indicador médio de *benchmarking* igual à unidade.

A segunda fase de análise, a calibração do CREPE com o IES-VE, produziu valores de *benchmarking* que mostram o afastamento do consumo calculado face ao consumo real. No entanto, esse afastamento foi ligeiro, já que o indicador médio foi aproximadamente igual a 0,99.

A terceira e última fase de análise, a correção climática do consumo elétrico do sistema de refrigeração calculado pelo CREPE, resultou num afastamento mais elevado desse consumo relativamente ao consumo real da instalação. Porém, o indicador médio de *benchmarking* registado foi de cerca de 1,01.

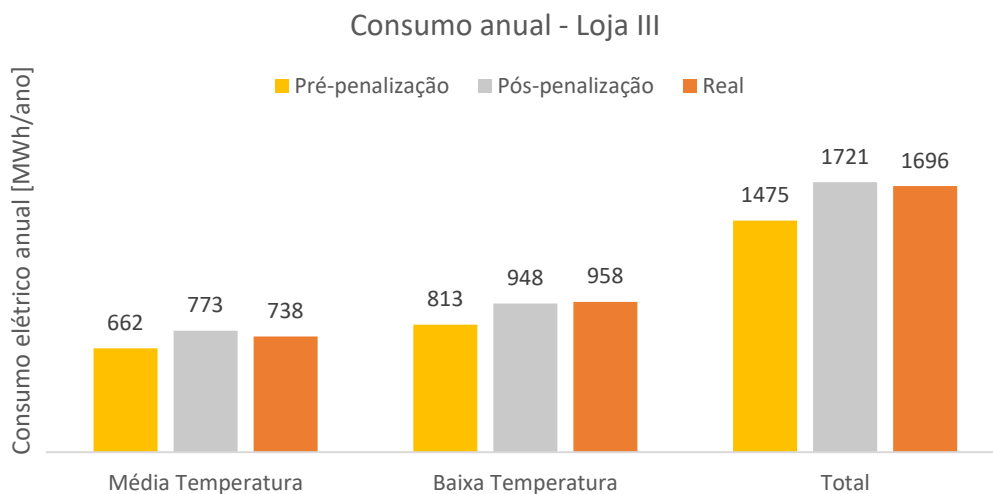
4.3 Caso de estudo – Loja III

4.3.1 Penalização do COP dos compressores

A eficiência dos compressores do sistema de frio da terceira loja estudada foi fortemente prejudicada pela fraca qualidade de manutenção do sistema de frio evidenciada pelas elevadas fugas de fluido frigorífero. Por esse motivo, o fator de correção correspondente a seis anos de funcionamento com manutenção desadequada tomou o valor de aproximadamente 0,83, equação (3.1).

Os valores médios anuais do COP dos compressores instalados nos circuitos positivo e negativo podem ser consultados em anexo na Figura 76. Após a aplicação do fator que penaliza a eficiência dos compressores, registou-se uma redução no valor anual médio do COP de cerca de 16,7% em ambos os circuitos do sistema de frio.

Na Figura 57 são comparados os consumos antes e depois da correção do COP para o sistema de média temperatura, à esquerda, o sistema de baixa temperatura, no centro e o sistema completo, à direita.



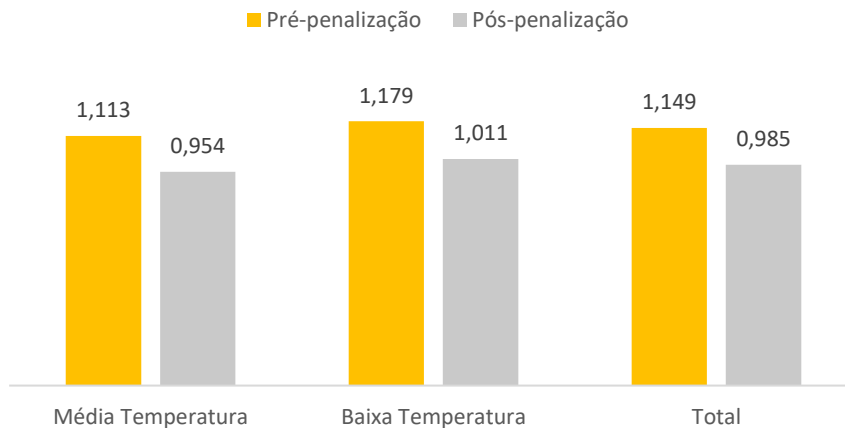
NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 57. Evolução do consumo elétrico anual do sistema de refrigeração da Loja III com a penalização do COP dos compressores.

É perceptível pelo gráfico o aumento expressivo do consumo calculado pelo CREPE após a penalização da eficiência dos compressores. Esse aumento levou a que o consumo do sistema de média temperatura e o consumo total ultrapassassem o consumo real equivalente. O consumo relativo ao sistema de baixa temperatura manteve-se abaixo, mas mais próximo do real.

Os indicadores de *benchmarking* expectável apresentados na Figura 58 ilustram de um modo mais simples o efeito no consumo provocado pelo decréscimo da eficiência dos compressores.

Benchmarking expectável - Loja III



NOTA: Valores arredondados à milésima.

Figura 58. Indicadores de *benchmarking* expectável antes e depois da penalização do COP na Loja III.

Tal como com os consumos, a partir dos indicadores de *benchmarking* expectável é possível perceber que a correção da eficiência promoveu a aproximação dos consumos calculados aos consumos reais.

O sistema de frio negativo foi o mais afetado pela correção do COP, visto que o indicador que compara o valor real e o valor expectável do consumo desse sistema decresceu de 1,179 para 1,011, aproximando-se da unidade.

Os indicadores correspondentes ao sistema de frio positivo e ao total passaram a barreira unitária no sentido decrescente após a penalização que, de forma coerente com o gráfico anterior, representam consumos calculados superiores aos respetivos consumos reais. No sistema positivo, o indicador de *benchmarking* diminuiu de 1,113 para 0,954. Já no total, o valor de 1,149 passou a 0,985 com a depreciação da eficiência dos compressores.

4.3.2 Correção climática

A simulação da instalação de frio no CREPE, com a calibração prévia ao trabalho realizado das condições do ar ambiente da loja e das necessidades térmicas dos móveis expositores, devolveu os consumos elétricos da rede de frio positivo, da rede de frio negativo e o consumo elétrico total. Esses valores foram relacionados com a temperatura padrão e com os GD padrão de forma a dar origem às curvas presentes na Figura 59 e, em anexo, da Figura 78 à Figura 80.

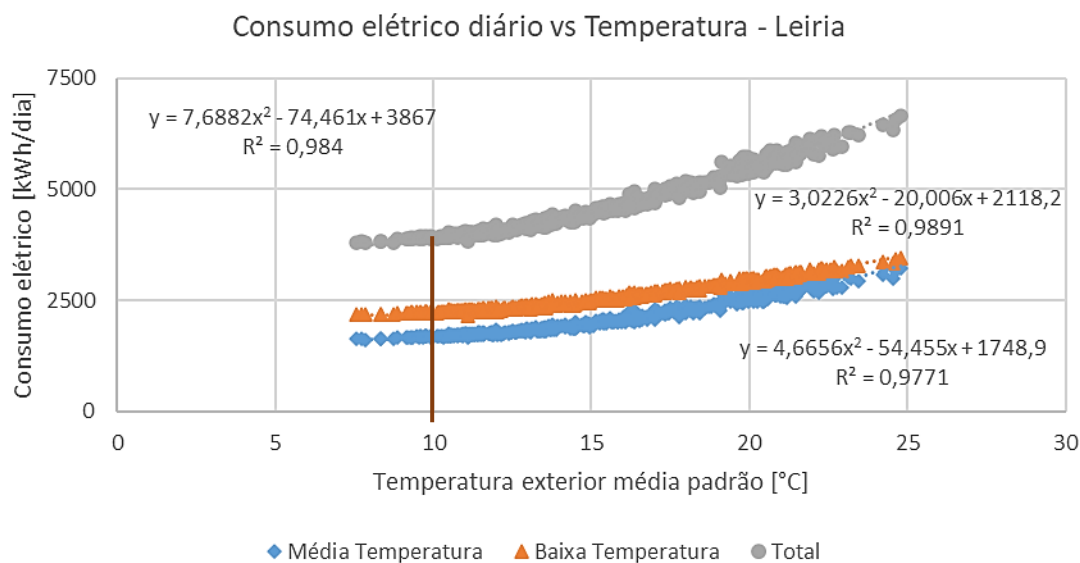


Figura 59. Curvas obtidas com a relação diária entre o consumo elétrico e o clima padrão em temperatura na Loja III.

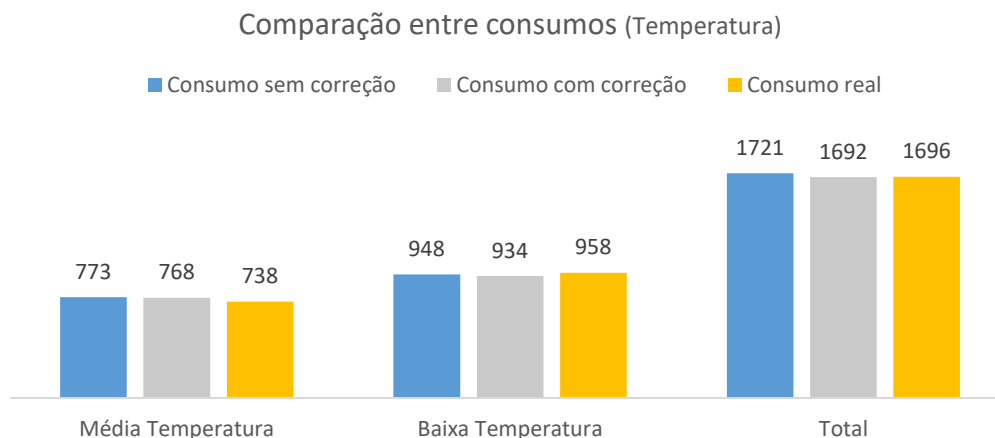
Na terceira loja estudada, observando o gráfico da Figura 59, verificou-se que a curva correspondente ao consumo do circuito negativo se situa acima da curva que representa o consumo do circuito positivo. Tornou-se também evidente que a distância entre ambas as curvas é reduzida aproximando-se gradualmente a partir de 20°C. O efeito deve-se ao facto de a loja estar equipada com quantidades semelhantes de expositores frigoríficos de média e de baixa temperatura, assim como elevadas quantidades de expositores negativos sem porta.

Ao contrário das lojas anteriores, foi constatada a influência climática em todos os consumos, uma vez que as três curvas evoluem no sentido crescente com o aumento da temperatura.

Tal como nas duas lojas anteriores, foi assumido o valor de 10°C como a temperatura base de arrefecimento que serviu para determinar os valores de GD padrão e reais. Pois tornou-se evidente que o consumo elétrico começou a ser afetado pela temperatura a partir desse valor, assinalado na Figura 59.

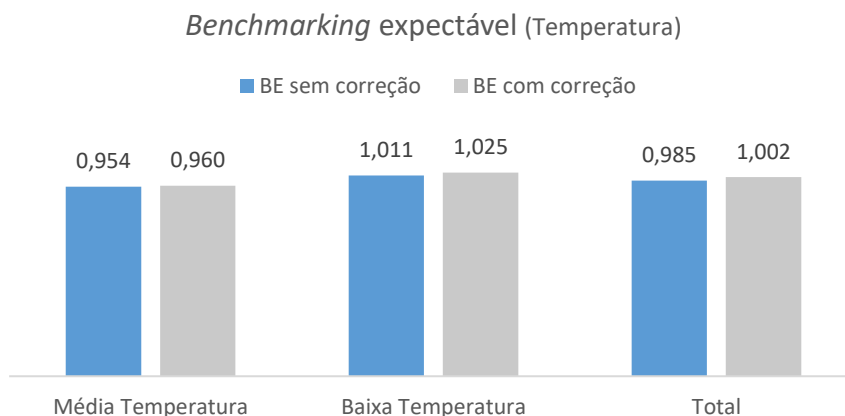
A comparação entre os dados climáticos mensais em temperatura e em GD pode ser consultada em anexo na Figura 77. O clima real recolhido foi, na sua maioria, mais frio do que o clima padrão. Tal remete para uma redução no consumo com a correção climática. Da comparação entre os dados climáticos padrão e reais em GD obteve-se um desvio médio mensal de 17,1%. Observou-se um verão claramente mais frio e um inverno ligeiramente mais quente. Da comparação com temperatura resultou um desvio médio mensal de 5,9% tendo sido verificado um verão ligeiramente mais frio e um inverno muito próximo do inverno padrão.

Na Figura 60 e na Figura 61, são comparados os consumos e os indicadores de *benchmarking* expectável, respetivamente.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 60. Comparação entre consumos obtidos na análise diária com temperatura com a Fase 3 na Loja III.



NOTA: Valores arredondados à milésima.

Figura 61. Indicadores de *benchmarking* obtidos na análise diária com temperatura com a Fase 3 na Loja III.

Observando os gráficos, nota-se que a correção climática veio aproximar o consumo calculado ao consumo real no sistema de média temperatura e no total. Tal é verificado no aumento dos valores de *benchmarking* expectável de 0,954 para 0,960 e de 0,985 para 1,002, respetivamente.

No sistema de baixa temperatura o consumo calculado pelo CREPE com o clima padrão era inferior ao real e, por isso, a correção com o clima real mais frio reduziu esse consumo provocando o seu afastamento face ao real. Ainda que pequeno, esse afastamento é evidente pelo valor do indicador de *benchmarking* antes e depois da correção climática, respetivamente, 1,011 e 1,025.

4.3.3 Síntese de resultados

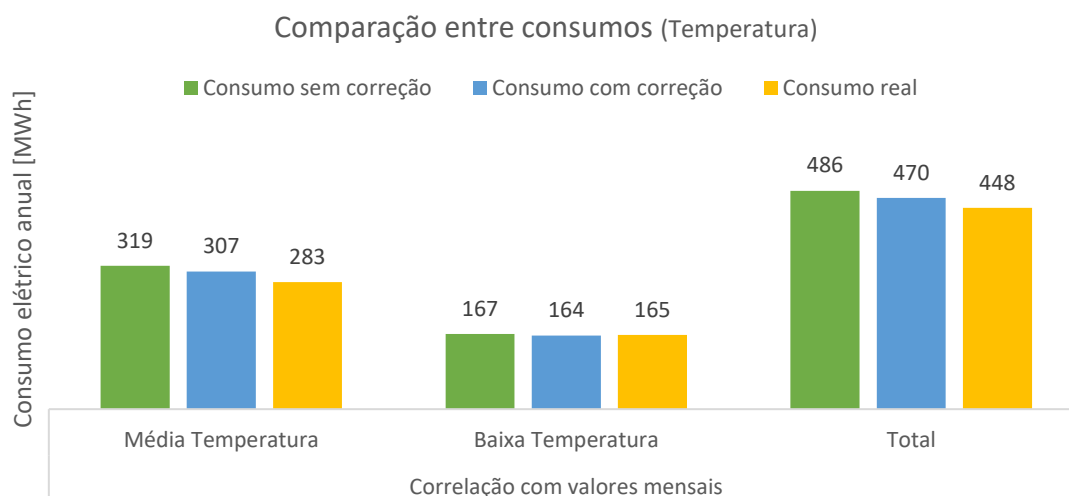
A correção da eficiência dos compressores, devolveu indicadores de *benchmarking* expectável que apontam para a diminuição do desfasamento entre o consumo calculado e o consumo real. Essa diminuição foi registada através do decréscimo do valor médio desses indicadores de 1,147 para 0,983.

A correção do consumo com o clima real resultou em consumos mais favoráveis, já que, de forma geral, levou à aproximação do consumo corrigido ao consumo real. O valor médio dos indicadores de *benchmarking* expectável tomou o valor de 0,996, o que significa que o consumo médio calculado foi mais elevado do que o real.

4.4 Caso de aplicação – Loja IV

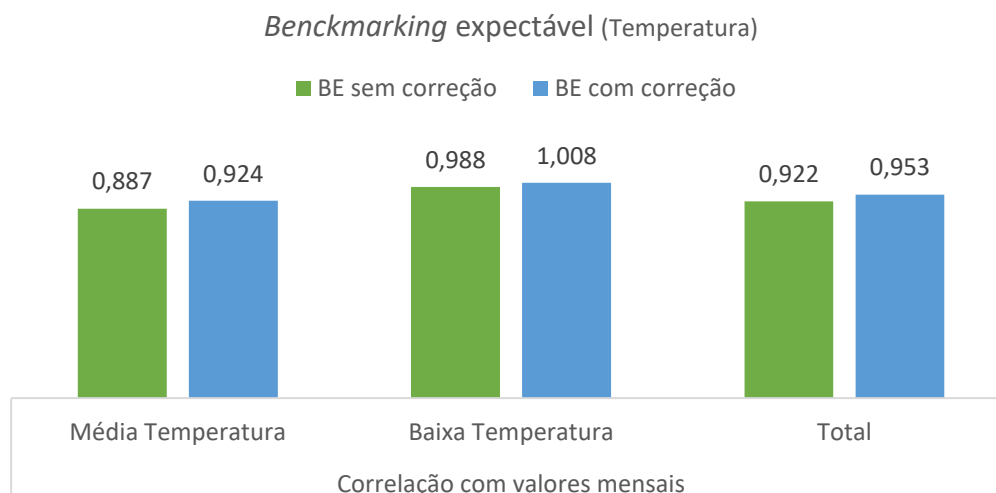
A quarta loja apresentada serviu como caso de aplicação da ferramenta de correção climática. A simulação da rede de frio da loja no CREPE sem a correção da eficiência dos compressores resultava em consumos distantes dos reais, mais notável no sistema de baixa temperatura cujo indicador de *benchmarking* era de 1,140. A penalização do COP dos compressores reduziu esse valor para 0,988. No entanto, no sistema de média temperatura, a penalização prejudicou o desfasamento entre os consumos, notável no decréscimo do indicador correspondente de 1,044 para 0,887. Já o consumo total expectável manteve a distância ao consumo real antes e depois dessa correção, isto é, de 1,078 passou a 0,922. Os valores relativos à correção da eficiência dos compressores podem ser consultados em anexo da Figura 81 à Figura 83.

Corrigida a eficiência dos compressores no simulador, foi possível utilizar a ferramenta desenvolvida de modo a avaliar o impacto da correção climática no consumo expectável. A Figura 62 e a Figura 63 remetem para a comparação entre os consumos e respetivos indicadores de *benchmarking* expectável que resultaram da utilização da ferramenta, por essa ordem. Os restantes resultados encontram-se em anexo, Figura 89 a Figura 91.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 62. Comparação entre consumos obtidos com a ferramenta de correção climática na Loja IV.



NOTA: Valores arredondados à milésima.

Figura 63. Indicadores de *benchmarking* expectável obtidos com a ferramenta de correção climática na Loja IV.

As curvas que resultaram da relação entre o consumo elétrico devolvido pelo CREPE e o clima padrão, na Figura 85 em anexo, mostraram uma baixa influência climática no consumo do sistema de baixa temperatura. Por oposição, o consumo do sistema de média temperatura e o consumo total apresentaram uma forte variação com o clima, pois ambas as curvas começaram a inclinar progressivamente quando a temperatura atingiu 10°C. A partir da observação dessas curvas foi possível antever que a correção climática pouco afetaria o consumo no sistema de baixa temperatura sendo mais significativa nos outros dois casos.

A ferramenta de correção climática devolveu comparações gráficas entre o clima padrão e o clima real em temperatura e em GD representadas na Figura 88 em anexo. Dessas comparações, resultou a conclusão de que o clima real equivalente ao período de análise foi mais frio do que o clima padrão, o que fez prever uma redução nos consumos corrigidos pela ferramenta. O desvio médio mensal entre a temperatura exterior padrão e a real foi de 9,89%, enquanto o respetivo desvio verificado na análise com GD foi de 39,63%.

Os gráficos da Figura 63 referem-se aos resultados da análise mensal com temperatura. Em todos os casos, a correção climática aproximou o consumo elétrico ao consumo real da rede de frio. O melhor indicador foi obtido no consumo do sistema de baixa temperatura, com 1,008. Pelo contrário, o indicador menos bom observou-se no consumo do sistema de média temperatura, com 0,924. Já no consumo total, o valor de *benchmarking* resultante foi de 0,953.

Comprovou-se, assim, a previsão realizada após a análise das curvas das relações, uma vez que o indicador relativo ao consumo da rede de frio negativo apenas aumentou 0,019 face ao valor anterior à correção. Enquanto o indicador correspondente ao consumo da rede de frio positivo aumentou 0,037 e 0,031 foi o aumento registado no valor de *benchmarking* do consumo total da instalação de frio.

Apesar de semelhantes, os resultados das restantes análises, isto é, as análises diárias com temperatura e GD e a análise mensal com GD, Figura 89 a Figura 91 em anexo, não se verificaram melhores do que os apresentados na Figura 63, sendo que o indicador de *benchmarking* mais afastado da unidade foi observado na análise diária com temperatura relativo ao consumo do sistema de média temperatura com o valor de 0,914. O que reforça a ideia de que as análises com bases climáticas diferentes devolvem resultados aproximados que justificam a escolha de apenas um tipo de análise em futuras avaliações mais expeditas.

4.5 Análise global de resultados

O subcapítulo atual é destinado à análise dos resultados de *benchmarking* expectável obtidos com a correção climática nos casos de estudo e no caso de aplicação da ferramenta desenvolvida.

Expõe-se uma análise de sensibilidade dos indicadores de *benchmarking* expectável relativamente aos dados climáticos, isto é, temperatura diária e mensal, assim como GD diários e mensais.

É apresentada uma breve reflexão acerca dos formatos climáticos mais indicados para a avaliação e são manifestadas possíveis razões para os desvios que resultaram da correção climática.

4.5.1 Indicadores de *benchmarking* expectável

A Tabela 18 apresenta os indicadores de *benchmarking* expectável que resultaram da simulação do sistema de frio de cada loja avaliada no CREPE durante trabalho atual.

Tabela 18. Indicadores de *benchmarking* expectável obtidos pelo CREPE antes da correção climática

Indicadores de <i>benchmarking</i> expectável sem correção climática				
Sistema	Casos de estudo			Caso de aplicação
	I	II	III	IV
Média temperatura	0,978	1,021	0,954	0,887
Baixa temperatura	0,983	0,949	1,011	0,988
Total	0,980	0,994	0,985	0,922

Os indicadores de *benchmarking* expectável variavam, antes da correção climática, de 0,887 a 1,021 sendo que o indicador mais próximo da unidade assumiu o valor de 0,996. A maioria dos indicadores era inferior a 1, ou seja, 10 dos 12 valores indicados na Tabela 18, o que significa que os consumos calculados pelo CREPE tomavam valores superiores aos reais.

Os indicadores de *benchmarking* expectável que resultaram da correção climática realizada com os diferentes dados climáticos estão reunidos na Tabela 19 e na Tabela 20 de forma a poderem ser comparados.

Tabela 19. Indicadores de *benchmarking* expectável obtidos na correção climática com temperatura

		Temperatura			
		Casos de estudo			Caso de aplicação
Sistema	Análise	I	II	III	IV
Média temperatura	Diária	1,025	1,056	0,960	0,914
	Mensal	1,034	1,061	0,982	0,924
Baixa temperatura	Diária	0,995	0,951	1,025	1,003
	Mensal	0,999	0,951	1,030	1,008
Total	Diária	1,012	1,015	1,002	0,945
	Mensal	1,019	1,018	1,009	0,953

Tabela 20. Indicadores de *benchmarking* expectável obtidos na correção climática com GD

		GD			
		Casos de estudo			Caso de aplicação
Sistema	Análise	I	II	III	IV
Média temperatura	Diária	1,018	1,042	0,973	0,915
	Mensal	1,023	1,043	0,977	0,922
Baixa temperatura	Diária	0,993	0,950	1,022	1,003
	Mensal	0,995	0,950	1,025	1,007
Total	Diária	1,007	1,006	1,000	0,945
	Mensal	1,011	1,007	1,004	0,951

À primeira vista, foi possível observar que as análises devolveram indicadores de *benchmarking* expectável variados, isto é, tanto superiores à unidade, como inferiores. Os indicadores superiores a 1 representam consumos corrigidos inferiores aos consumos reais equivalentes. Os indicadores inferiores a 1 representam o oposto.

Focando no sistema de média temperatura, verificou-se uma variação entre 0,915 e 1,061 entre os valores de *benchmarking* expectável sendo o primeiro observado na análise diária com GD na loja IV e o segundo na análise mensal com temperatura na loja II. O indicador mais próximo da unidade foi obtido na análise mensal com temperatura na loja III, 0,982 e na análise diária com GD na loja I, 1,018.

Ao contrário do sistema de média temperatura, no de baixa temperatura foram observados indicadores de *benchmarking* inferiores à unidade nas lojas I e II e superiores nas lojas III e IV. Registou-se uma variação de 0,950, nas duas análises com GD na loja II, a 1,030, na análise mensal com temperatura na loja III. O indicador mais próximo de 1 observou-se na análise mensal com temperatura na loja I, 0,999.

Os indicadores de *benchmarking* expectável relativos ao consumo total do sistema de refrigeração variaram entre 0,945, nas análises diárias com GD e com temperatura na loja IV e 1,019, na análise mensal com temperatura na loja I. Foi na análise diária com GD da loja III onde se registou o desvio mínimo entre o consumo calculado e o consumo real com 1,000.

4.5.2 Análise de sensibilidade dos indicadores de *benchmarking* expectável aos dados climáticos

No início do estudo, ponderou-se se seria possível obter resultados semelhantes usando dados climáticos em formatos diferentes. Perante os resultados da Tabela 19 e da Tabela 20 essa semelhança foi verificada.

No entanto, de forma a conhecer melhor a magnitude da proximidade de resultados, resolveu-se comparar os resultados obtidos com a análise diária aos resultados da análise mensal. Para tal, foram calculados os desvios entre os indicadores diários de *benchmarking* e os indicadores mensais, Tabela 21 e Tabela 22.

Do mesmo modo, foram comparados os valores que resultaram das análises com GD e com temperatura, Tabela 23.

Tabela 21. Desvios entre os indicadores mensais relativamente aos indicadores diários com temperatura

Sistema	Análise	Temperatura			
		Casos de estudo			Caso de aplicação
		I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]
Média temperatura	Diária vs Mensal	0,9	0,5	2,3	1,1
Baixa temperatura	Diária vs Mensal	0,4	0,0	0,5	0,5
Total	Diária vs Mensal	0,7	0,3	0,7	0,8

Tabela 22. Desvios entre os indicadores mensais relativamente aos indicadores diários com GD

Sistema	Análise	GD			
		Casos de estudo			Caso de aplicação
		I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]
Média temperatura	Diária vs Mensal	0,5	0,1	0,4	0,8
Baixa temperatura	Diária vs Mensal	0,2	0,0	0,3	0,4
Total	Diária vs Mensal	0,4	0,1	0,4	0,6

A partir da Tabela 21 e da Tabela 22 foi possível comprovar que a proximidade de resultados obtidos nas análises com bases de dados diários e mensais é de tal forma reduzida que o desvio máximo entre os indicadores de *benchmarking* expectável atingiu apenas 2,3%. Esse valor foi observado no sistema de média temperatura da loja III.

Os desvios positivos indicam que os valores de *benchmarking* expectável obtidos através da análise mensal foram superiores aos que resultaram da análise diária. Quando esses indicadores assumem valores acima de 1, os desvios apontam para o afastamento entre o consumo corrigido e o consumo real, enquanto o oposto ocorre para indicadores abaixo de 1.

A análise mensal resultou em indicadores de *benchmarking* mais próximos dos obtidos com a análise diária quando o clima se encontrava em GD, nunca ultrapassando 0,8%. Tal pode ser devido ao facto de a temperatura exterior mensal utilizada ser um valor médio calculado a partir das temperaturas diárias, enquanto que o valor mensal de GD foi calculado somando os valores diários de GD desse mês, conseguindo desse modo agregar mais informação climática.

Tabela 23. Desvios entre os indicadores climáticos temperatura e GD

Sistema	Análise	Temperatura vs GD			
		Casos de estudo			Caso de aplicação
		I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]
Média temperatura	Diária	0,7	1,3	- 1,3	-0,1
	Mensal	1,1	1,7	0,5	0,2
Baixa temperatura	Diária	0,2	0,1	0,3	0,0
	Mensal	0,4	0,1	0,5	0,1
Total	Diária	0,5	0,9	0,2	0,0
	Mensal	0,8	1,1	0,5	0,2

Observando a Tabela 23, foi possível constatar a proximidade entre os resultados obtidos nas análises realizadas com bases de dados climáticos diferentes, pois o desvio máximo foi igual a 1,7%. Esse desvio foi verificado na análise mensal do sistema de média temperatura da loja II.

À semelhança da tabela anterior, os desvios positivos mostram que os indicadores de *benchmarking* obtidos na análise com temperatura foram mais elevados do que os obtidos no estudo com GD.

Constatou-se também que as análises com GD devolveram consumos mais elevados do que as análises com temperatura. Tal deve-se às funções criadas com as relações entre o consumo calculado pelo CREPE e o clima padrão, pois as funções com GD elevaram o consumo corrigido. Para indicadores de *benchmarking* expectável superiores a 1, isto é, quando o consumo calculado pelo CREPE é inferior ao consumo real, a correção climática com GD ajudou na aproximação de ambos. O oposto foi observado para indicadores inferiores a 1.

Ainda que ligeiro, a correção climática provocou o decréscimo do desvio máximo entre o consumo calculado e o consumo real, visto que esse valor de 11,3% (0,887) diminuiu para 8,5% (0,915) após a correção. É de notar, também, que 33 dos 48 indicadores de *benchmarking* expectável resultantes das análises realizadas apontam para a aproximação entre o consumo corrigido e o consumo real respetivo, o que corresponde a uma taxa de sucesso de 68,8%. Logo, é possível afirmar, com alguma certeza, que a correção do consumo calculado pelo CREPE com o clima real pode reduzir o desfazamento entre os consumos e, desse modo, melhorar os indicadores de *benchmarking* expectável.

As análises mostram que a proximidade entre os resultados obtidos com os diferentes dados climáticos permite perceber que é possível optar por apenas um formato climático sem comprometer os resultados. Nesse sentido, verificou-se que análises com valores mensais de GD podem ser considerados os mais indicados para futuras avaliações, visto que não se perde precisão significativa face aos dados diários e com temperatura. Para além disso, a disponibilidade de dados climáticos em GD é maior do que em temperatura.

Perante os resultados, foi importante perceber a razão dos desvios encontrados no estudo. Assim, seguem-se alguns fatores que podem ter influenciado os resultados relativos aos casos de estudo e de aplicação:

- **Sistema de climatização da loja:** Apesar do conhecimento prévio do modo de funcionamento do sistema de climatização da loja através de fontes credíveis, como as auditorias energéticas, o mesmo pode não ser exatamente igual ao sistema modelado no programa IES-VE. No sistema modelado, os equipamentos são considerados perfeitos, o que os torna mais eficazes. Consequentemente, na simulação, as condições interiores do ar são mantidas de acordo com condições ótimas de operação. Isso leva a desvios entre as necessidades térmicas reais e as

definidas pelo CREPE para o sistema de refrigeração, que, por sua vez, influencia o consumo. **Lojas:** I e II;

- **Expositores frigoríficos instalados (1):** As fichas técnicas de alguns dos modelos de expositores frigoríficos instalados na loja foram pedidas aos proprietários da mesma. Porém, não foi possível obtê-las. Por esse motivo, foi necessário selecionar equipamentos semelhantes para a simulação no CREPE. Essa aproximação teve impacto sobre o consumo calculado, pois os equipamentos são equivalentes, mas não iguais, logo podem existir diferenças em algumas das características como o consumo elétrico e potência frigorífica. **Loja:** I;
- **Expositores frigoríficos instalados (2):** o desenho técnico da distribuição dos expositores frigoríficos, bem como as informações técnicas dos mesmos, que servem de apoio na identificação e posterior introdução no CREPE, não eram coerentes. Por esse motivo, não foi possível determinar ao certo o número e o tipo de expositores realmente instalados na área de vendas da loja. Para colmatar essa falha de informação e com o conhecimento do número total de expositores frigoríficos positivos e negativos em metros lineares, foi determinada a quantidade em falta e selecionado um tipo de expositor a introduzir no simulador. Essa modificação levou a discrepâncias evidentes entre o consumo calculado e o real, em especial no sistema de baixa temperatura. **Loja:** III;
- **Eficiência de equipamentos:** o CREPE estava programado a simular o sistema de frio da loja considerando eficiências nominais, explicado em 3.1. Durante o presente trabalho apenas foi penalizada a eficiência dos compressores por serem os que mais contribuem para o consumo elétrico do sistema de refrigeração, que mostrou uma clara aproximação entre os consumos calculados e reais. Ora, existem outros equipamentos na instalação que perdem capacidade ao longo do tempo, mas cuja eficiência é também considerada nominal. É de notar que o fator de correção adotado na penalização do COP dos compressores é somente uma estimativa do declínio da eficiência ao longo do tempo. Já que para conhecer o verdadeiro COP seria necessário efetuar testes aos compressores instalados em cada loja. **Lojas:** I, II, III e IV.

Em específico para o caso de aplicação, a Loja IV, seguem-se possíveis motivos que podem justificar os resultados:

- **Falta de informação:** Por ser uma loja antiga (1995), a informação disponível de interesse para a simulação no CREPE era limitada, como algumas características dos expositores frigoríficos e as curvas de desempenho dos compressores. Assim, a informação em falta teve de ser assumida. Essa falha implica uma simulação um pouco mais desfasada com a realidade;
- **Dados reais:** Os dados reais recolhidos durante as auditorias energéticas não eram atuais, visto terem decorrido quase cinco anos desde essa recolha até à análise do presente trabalho;
- **Sistema de monitorização da loja:** Durante o período de recolha de dados, o relatório do sistema de gestão técnica centralizada da loja, responsável pela

monitorização do sistema de refrigeração, apresentava algumas falhas no que diz respeito à captação de informação relativa às câmaras frigoríficas;

- **Penalização do COP dos compressores:** Como não se conheciam intervenções de renovação e/ou atualização de equipamentos da instalação de frio, o valor considerado como o tempo de funcionamento dos compressores (20 anos) pode ter sido demasiado elevado provocando uma penalização do COP superior à real;
- **Calibração do CREPE:** Apesar do ajuste das condições do ar ambiente da loja e das necessidades térmicas dos expositores ter sido efetuada previamente ao trabalho atual, esse ajuste pode ter tido efeito nos resultados obtidos com a correção climática.

4.6 Impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração

Embora ajudasse a aproximar o consumo calculado ao consumo real, a correção climática provou ter pouco impacto no consumo elétrico dos sistemas de frio analisados, tanto nos casos de estudo, como no caso de aplicação da ferramenta desenvolvida. Apresenta-se, assim, os resultados da análise realizada que complementa o estudo com a correção climática nas quatro lojas reais.

Na primeira parte da análise, o consumo real e o consumo calculado foram comparados durante o período anual de avaliação a fim de verificar se o cálculo do consumo no simulador era afetado pelo clima.

A Figura 64 representa a evolução dos consumos de média temperatura do sistema de refrigeração da loja I. As restantes evoluções encontram-se em anexo da Figura 92 à Figura 94.

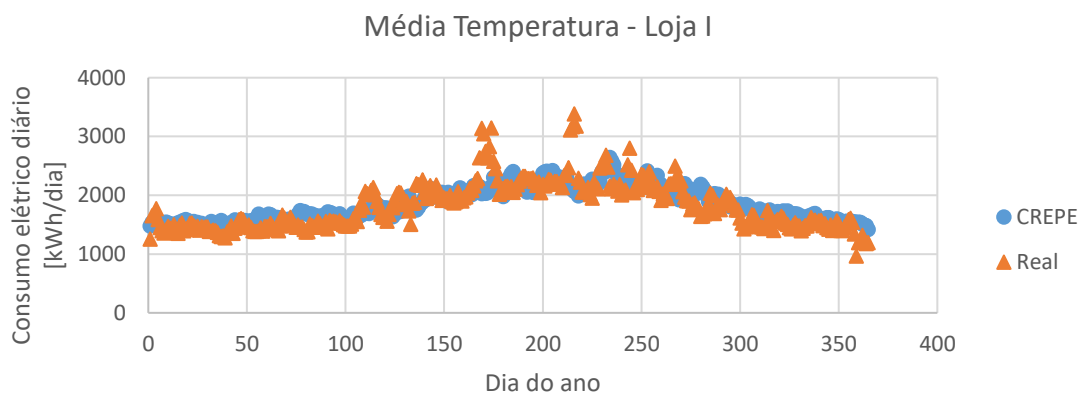


Figura 64. Evolução do consumo calculado pelo CREPE e do consumo real ao longo do ano relativo ao sistema de média temperatura da Loja I.

De facto, a semelhança entre os consumos reais e os consumos calculados pelo simulador CREPE, que resultaram de climas diferentes, foi verificada em todas as comparações gráficas. Perante os gráficos, foi possível observar valores calculados pelo CREPE mais limitados e próximos do que os reais que apresentam maior amplitude. A

semelhança comprovou, assim, que o cálculo do consumo no simulador é afetado pelo clima.

As representações gráficas da relação entre o consumo real e o clima real em temperatura diária criadas à semelhança das funções utilizadas na correção climática podem ser consultadas em anexo na Figura 95. A similaridade entre as curvas reais e as curvas equivalentes utilizadas na correção climática do consumo calculado pelo CREPE foi igualmente verificada. Tal como nas evoluções, os valores reais apresentaram-se ligeiramente mais dispersos do que os teóricos.

Os dados climáticos mensais em GD foram recolhidos, para a segunda parte da análise, a partir da estação meteorológica de Pedras Rubras, no Porto, para o período de 2013 a 2019. Esses dados climáticos encontram-se representados graficamente na Figura 96 em anexo juntamente com o clima padrão correspondente à zona climática do Porto.

Ao comparar o clima padrão e o clima relativo ao ano mais antigo, 2013, representada na Figura 97 em anexo, observou-se que o clima de 2013 foi mais frio do que o clima padrão em todos os meses à exceção de janeiro. A maior diferença foi registada em dezembro, pois o clima de 2013 foi mais frio 46,8% face ao clima padrão.

Do mesmo modo, os dados climáticos recolhidos foram comparados relativamente ao clima de 2013 a fim de obter a maior variação climática. Essa variação foi observada com o clima de 2019 obtendo-se um desvio médio absoluto de 56,1%.

Assim, esses foram os climas selecionados para analisar o impacto dos mesmos no consumo elétrico do sistema de frio, ilustrados na Figura 65.

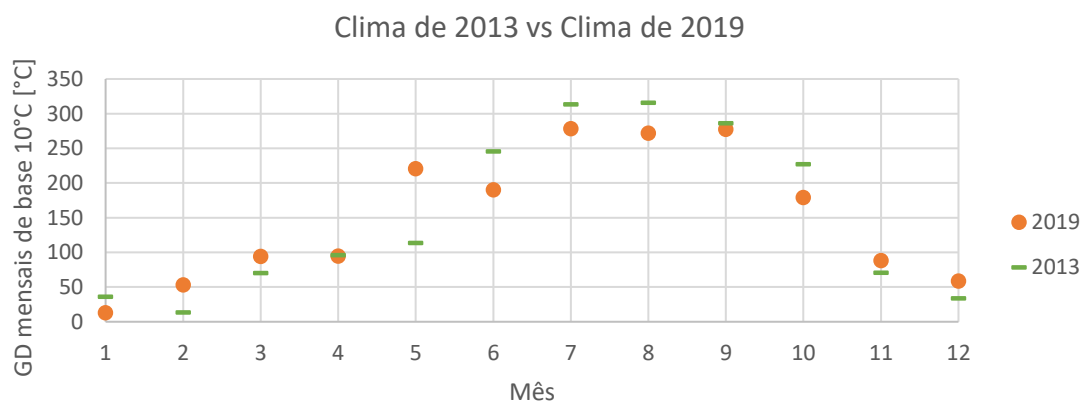
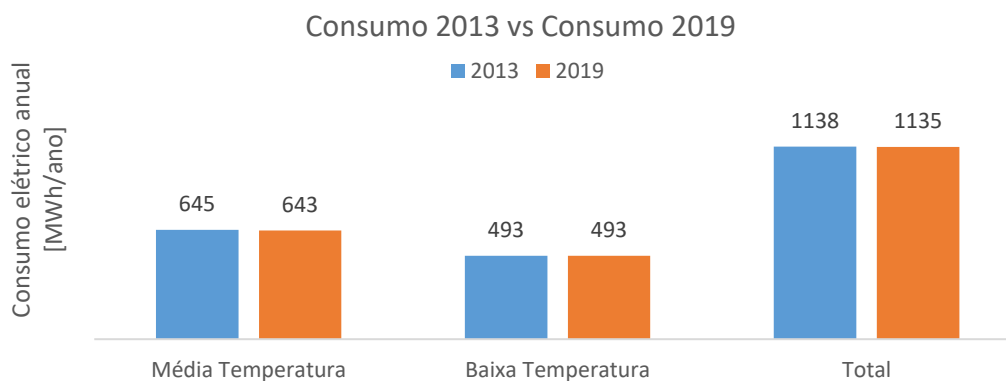


Figura 65. Comparação entre o clima de 2013 e o clima de 2019.

A representação gráfica dos climas mostra, na generalidade, um verão mais quente e um inverno mais frio em 2013 do que em 2019.

O consumo elétrico expectável anual para os climas selecionados é exibido na Figura 66. Foi calculado pela ferramenta de correção climática com os dados referentes à Loja I.

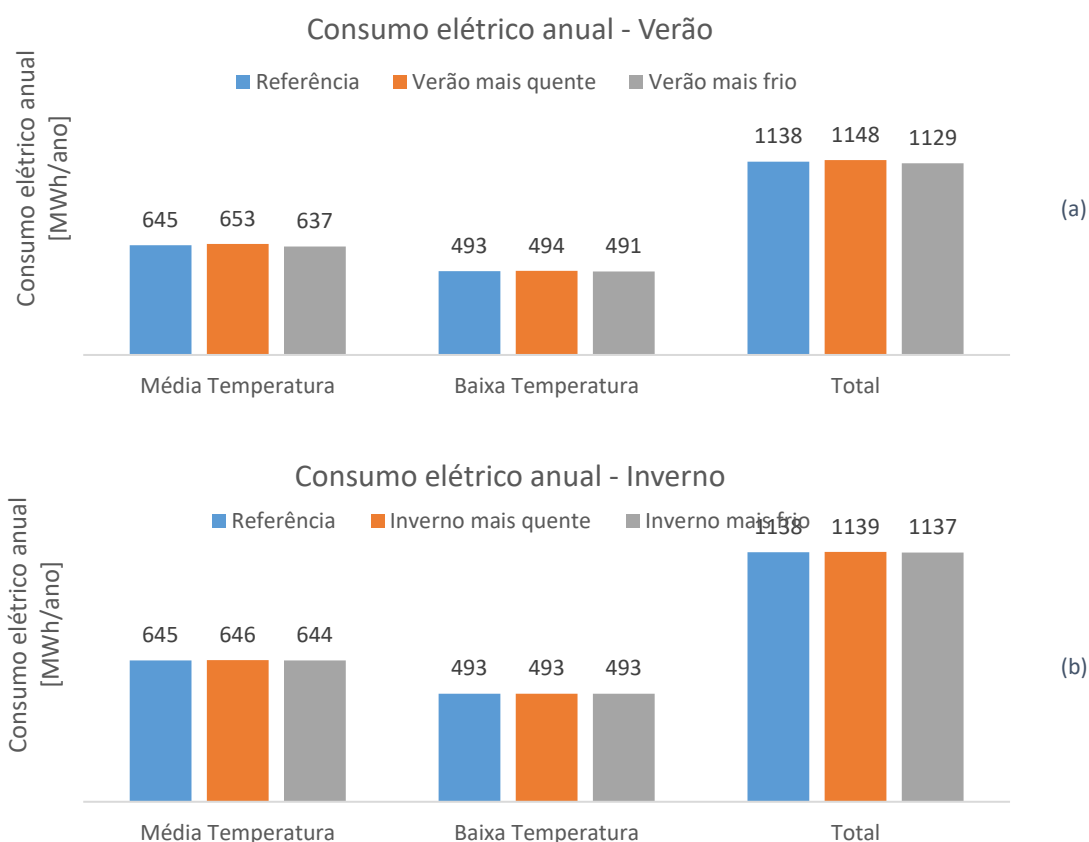


NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 66. Comparação entre consumos anuais com climas diferentes.

Apesar da disparidade no clima, a ferramenta devolveu consumos muito parecidos, pois o maior desvio entre os consumos anuais foi de -0,42% verificado no sistema de média temperatura. A diferença entre o consumo total de cada ano foi a segunda maior, com -0,23%. No sistema de baixa temperatura, essa diferença foi mínima, apenas 0,01%.

Os resultados da terceira parte da análise, isto é, da variação do consumo elétrico de um sistema de frio nos quatro cenários climáticos podem ser consultados na Figura 67. Os consumos são comparados ao consumo obtido com o clima de referência (2013). A Figura 67 (a) remete para os cenários de verão e a Figura 67 (b) para cenários de inverno.



NOTA: Valores arredondados à unidade.

Figura 67. Comparação entre o consumo anual com o clima de referência e o consumo anual de (a) verões e (b) invernos diferentes.

A análise resultou em consumos anuais muito semelhantes, em específico, nos cenários de inverno onde a diferença entre o consumo do ano de referência, 2013, e o do ano teórico não ultrapassou 0,13%. No caso do verão, o máximo desvio foi encontrado no consumo relativo ao sistema de média temperatura, 1,25%.

A análise complementar apresentada reforça, assim, que a diferença entre o clima padrão e o clima real provoca uma alteração no consumo elétrico expectável de magnitude reduzida.

CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

As lojas de retalho alimentar recorrem a sistemas de refrigeração para preservar a qualidade dos produtos perecíveis que dispõem aos seus clientes. Contudo, o sistema de refrigeração é responsável por cerca de metade do consumo elétrico da loja e, por isso, deve ser monitorizado e otimizado quando possível. A realização de auditorias energéticas na frequência necessária é uma forma de conhecer o comportamento do sistema e verificar se esse é, de facto, o melhor comportamento.

O trabalho realizado consistiu na otimização de um simulador energético criado pela empresa ESC previamente ao trabalho atual, o CREPE. O simulador CREPE é utilizado em avaliações de eficiência energética de sistemas de refrigeração ao calcular o consumo elétrico expectável do sistema de refrigeração da loja de retalho alimentar. No entanto, o simulador carecia de duas otimizações.

A primeira otimização prendia-se com a correção climática do consumo elétrico expectável do sistema de frio aplicando o clima real correspondente ao período de avaliação e à localização geográfica da loja na qual o sistema de frio se encontra instalado. O simulador recorre, como base para os cálculos, ao clima padrão médio relativo à localização geográfica da loja, que difere do clima real.

Assim, foi desenvolvida uma ferramenta para a correção climática do consumo calculado pelo CREPE. O processo de correção climática utilizado na ferramenta desenvolvida, foi determinado com base no estudo realizado a três lojas reais. O processo adotado consistiu na obtenção do consumo elétrico expectável e do clima padrão utilizado no cálculo de modo a serem correlacionados. Aplicando a correlação obtida ao clima real foi possível corrigir o consumo. A correção climática foi realizada com dados climáticos em temperatura diária, temperatura mensal, GD diários e GD mensais com vista a perceber se seria possível obter resultados semelhantes com um menor número de dados. Uma vez concluída, a ferramenta de correção climática desenvolvida foi aplicada a uma loja real com o intuito de a testar e de aproximar o consumo expectável ao consumo real da instalação de frio. A correção climática serviu também para estudar o impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de frio.

A segunda otimização dizia respeito ao cálculo do consumo, nomeadamente, à eficiência dos compressores. O simulador considerava a eficiência nominal dos compressores do sistema de frio. Contudo, a eficiência energética dos equipamentos diminui com o tempo de utilização. Logo, foi necessário corrigir o valor da eficiência dos compressores no simulador.

O estudo realizado permitiu tirar as seguintes conclusões:

1. Os dados climáticos utilizados na correção climática do consumo elétrico expectável resultaram em indicadores de *benchmarking* expectável muito semelhantes em todas as lojas selecionadas. Tal foi verificado na análise de sensibilidade dos indicadores de *benchmarking* expectável aos dados climáticos, em 4.5.2. Da comparação entre os indicadores obtidos com dados climáticos diários e mensais foi registado o desvio máximo de 2,3%, aproximadamente. Já na comparação entre os indicadores das análises com temperatura e os indicadores das análises com GD foi verificado o desvio máximo de 1,7%, aproximadamente. Nessa perspetiva, considerou-se que dados climáticos mensais em GD reúnem as melhores condições de análise no que diz respeito à recolha de dados, ao seu tratamento e aos resultados. Uma vez que (1) são dados de fácil obtenção devido à sua disponibilidade, (2) como são mensais, o seu tratamento é mais célere e (3) a perda de informação não é significativa, pois os resultados são semelhantes aos obtidos com as análises diárias e com temperatura;
2. De forma geral, a correção climática cumpriu o seu propósito nos casos analisados, isto é, aproximar o consumo expectável ao consumo real, pois obteve-se uma taxa de sucesso de cerca de 68,8%. No entanto, verificou-se um impacto pouco expressivo do clima no consumo, quer nos casos de estudo e de aplicação, quer na análise complementar realizada. Já que, nas lojas reais analisadas, o desvio máximo obtido no CREPE entre o consumo expectável e o real foi aproximadamente igual a 11,3% diminuindo para cerca de 8,5% após a aplicação do clima real. Na análise complementar obteve-se um desvio máximo absoluto de cerca de 1,25% entre o consumo anual dos quatro cenários climáticos diferentes e o consumo anual do clima de referência;
3. As diferenças entre o consumo calculado pelo simulador CREPE e o consumo real do sistema de refrigeração podem levar a que a correção climática não tenha o efeito desejado e que, por isso, se tenha obtido uma taxa de insucesso de 31,2%, aproximadamente. Por exemplo, a correção climática de consumos calculados pelo CREPE inferiores aos reais pode provocar o afastamento dos mesmos, no caso de o clima real ser mais frio. Assim, a razão para a aplicação do clima real ser insuficiente na melhoria do consumo expectável diz respeito a incertezas nos cálculos do simulador, notável no impacto reduzido da correção climática;
4. Constatou-se que as instalações de frio podem influenciar as correlações entre o consumo elétrico do sistema de refrigeração e o clima. Em lojas menos eficientes, em particular, a Loja III com expositores frigoríficos maioritariamente sem porta, observou-se uma maior influência climática no consumo a partir das correlações criadas, Figura 59;
5. O fator utilizado na correção da eficiência dos compressores foi validado através das lojas testadas. Essa correção levou, pois, à aproximação entre o consumo expectável e o consumo real nos três casos de estudo e no caso de aplicação da ferramenta de correção climática.

BIBLIOGRAFIA

6 Bibliografia

Aguiar, R., 2013. *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios*, Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

ASHRAE, 2017. *2017 ASHRAE Handbook - Fundamentals SI*. ASHRAE.

ASHRAE, 2018. *2018 ASHRAE Handbook - Refrigeration SI*. ASHRAE.

Bitzer S. A., s.d. *Bitzer Software*. [Online]

Available at:

<https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1577917643375&mod=HS>

[Acedido em 17 12 2019].

Carbon Trust, 2011. *Refrigeration Systems - Guide to key energy saving opportunities*. Carbon Trust.

Carbon Trust, 2012. *Refrigeration Road Map*. Carbon Trust.

Çengel, Y. A. & Boles, M. A., 2013. *Termodinâmica*. AMGH EDITORA LTDA..

Çengel, Y. A. & Boles, M. A., 2015. *Thermodynamics: An Engineering Approach, 8th Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc..

CIBSE, 2000. *Good Practice Guide 208 - Energy Efficient Refrigeration Technology - The Fundamentals*.

CIBSE, 2004. *Energy efficiency in buildings: Guide F*. 2ª ed. Page Bros. (Norwich) Ltd..

CIBSE, 2016. *Guide B3: Air Conditioning and Refrigeration*. The Chartered Institution of Building Services Engineers London.

Danfoss, 2007. *Application Handbook - Automatic Controls for Industrial Refrigeration Systems*.

Danfoss, 2009. *Application Handbook - Food Retail CO2 Refrigeration Systems*.

Danfoss, 2009. *Case Studies of VFD Applications Screw and Reciprocating Ammonia Compressors*.

Danfoss, 2014. *Manual de Aplicação - Aplicações da Amónia e do CO2 na Refrigeração Industrial*.

Danfoss, 2019. *Danfoss*. [Online]

Available at: <http://www.danfoss.com>

[Acedido em 02 10 2019].

- Dossat, R. J., 1961. *Principles of Refrigeration*. John Wiley & Sons, Inc..
- Edifícios Saudáveis Consultores, 2014. *Nota Técnica: Energy Benchmarking*. Porto.
- Edifícios Saudáveis Consultores, 2015.
<https://www.edificiossaudaveis.pt/pt.php#/company>. [Online]
Available at: <https://www.edificiossaudaveis.pt/pt.php#/company>
[Acedido em 08 Janeiro 2020].
- Edifícios Saudáveis Consultores, 2018. *CREPE*.
- Emerson Climate Technologies, 2013. *Implementation of Low Condensing Refrigeration*.
- Eurostat, 2018.
- Evans, J. A., 2008. *Frozen Food Science and Technology*. Blackwell Publishing Ltd.
- Evans, J. A. & Foster, A., 2015. *Sustainable Retail Refrigeration*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Harrington, H. J. & Harrington, J. S., 1996. *High Performance Benchmarking: 20 Steps to Success*. McGraw-Hill.
- Hendron, R., 2006. *Building America Performance Analysis Procedures for Existing Homes*, Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- IES, 2018. *IES*. [Online]
Available at: <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>
[Acedido em 19 11 2019].
- Incropera, F. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S. & Dewitt, D. P., 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition*. John Wiley & Sons.
- ISO, 2015. *ISO 23953-2/2015 Refrigerated Display Cabinets*.
- Likar, K. & Jevšnik, M., 2004. Cold chain maintaining in food trade. *Elsevier*.
- Linde, 2019. *Linde*. [Online]
Available at: [https://www.linde-gas.pt/en/products and supply/refrigerants/hfc refrigerants/r134a/index.html](https://www.linde-gas.pt/en/products_and_supply/refrigerants/hfc_refrigerants/r134a/index.html)
[Acedido em 27 12 2019].
- Linde, 2019. *Linde*. [Online]
Available at: [http://www.linde-gas.com/en/products and supply/refrigerants/hfc refrigerants/r404a/index.html](http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/hfc_refrigerants/r404a/index.html)
[Acedido em 27 12 2019].
- Linde, 2019. *Linde*. [Online]
Available at: [https://www.linde-gas.pt/en/products and supply/refrigerants/natural refrigerants/r717 ammonia/index.html](https://www.linde-gas.pt/en/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/r717_ammonia/index.html)
[Acedido em 27 12 2019].

- McQuiston, F. C., Parker, J. D. & Splitter, J. D., 2005. *Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, 6th Edition*. John Wiley & Sons.
- Nummer, B. A., 2002. *National Center for Home Food Preservation*. [Online] Available at: https://nchfp.uga.edu/publications/nchfp/factsheets/food_pres_hist.html [Acedido em 08 Janeiro 2020].
- Prasad, M., 2009. *Refrigeration and Air Conditioning*. 2ª ed. New Age Publishers .
- Robertson, G. & Plugge, F., 2015. *Trial Retrofit of Doors on Open Refrigerated Display Cabinets*.
- Stoecker, W. F. & Jones, J. W., 1983. *Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Edition*. McGraw-Hill, Inc..
- Trane, 1999. *Refrigeration System Components*. American Standard Inc..
- Trane, 2011. *Refrigeration Compressors*. Trane.
- Trane, 2014. *Reference Guide - Semi-hermetic Cast Iron Compressors*. TRANE.
- Wang, S. K., 2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2nd Edition*. McGraw-Hill Companies, Inc..

ANEXOS

- 7.1. Resultados da análise ao caso de estudo Loja I*
- 7.2. Resultados da análise ao caso de estudo Loja II*
- 7.3. Resultados da análise ao caso de estudo Loja III*
- 7.4. Resultados da penalização do COP no caso de aplicação Loja IV*
- 7.5. Aplicação da ferramenta climática numa loja real*
- 7.6. Análise do impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração*

7 Anexos

7.1 Resultados da análise ao caso de estudo Loja I

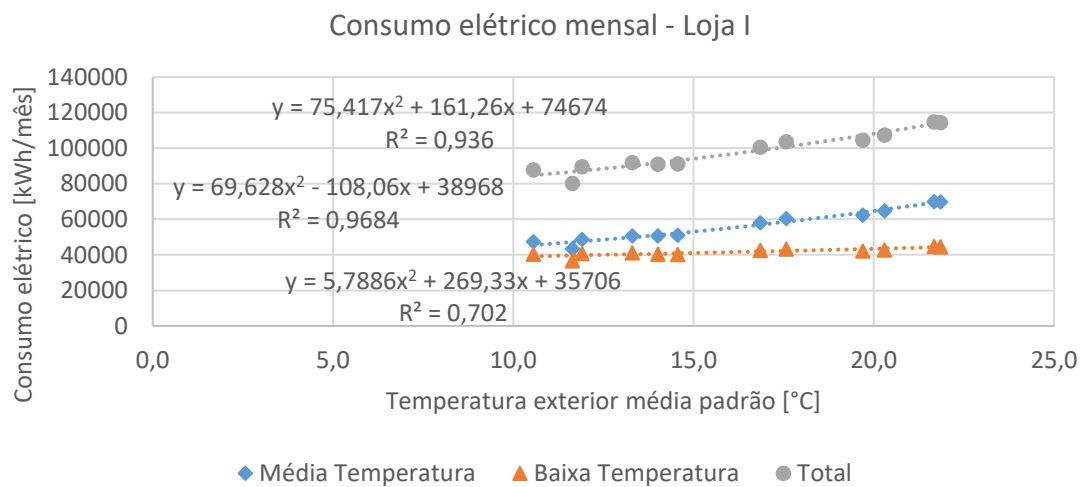


Figura 68. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em temperatura na Loja I.

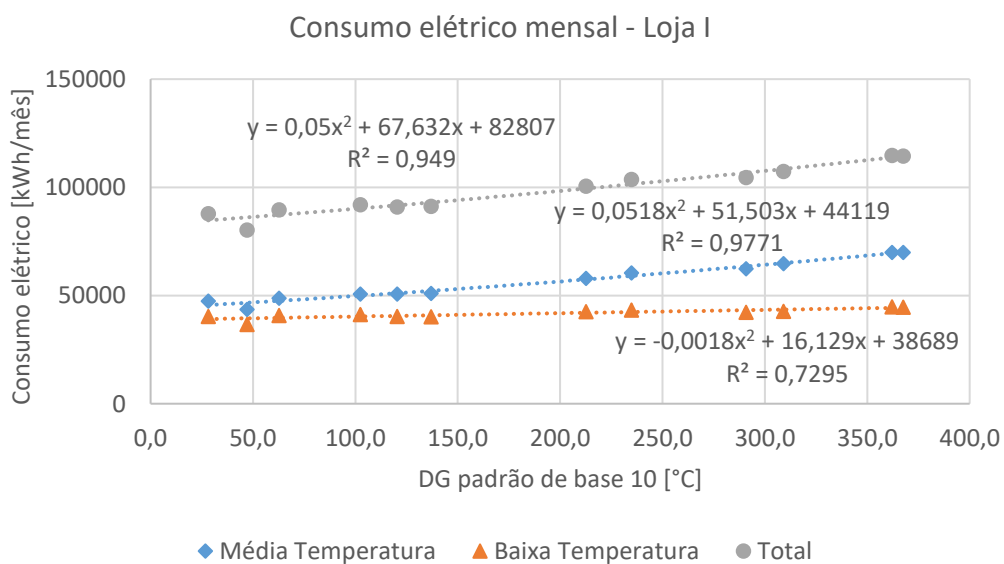
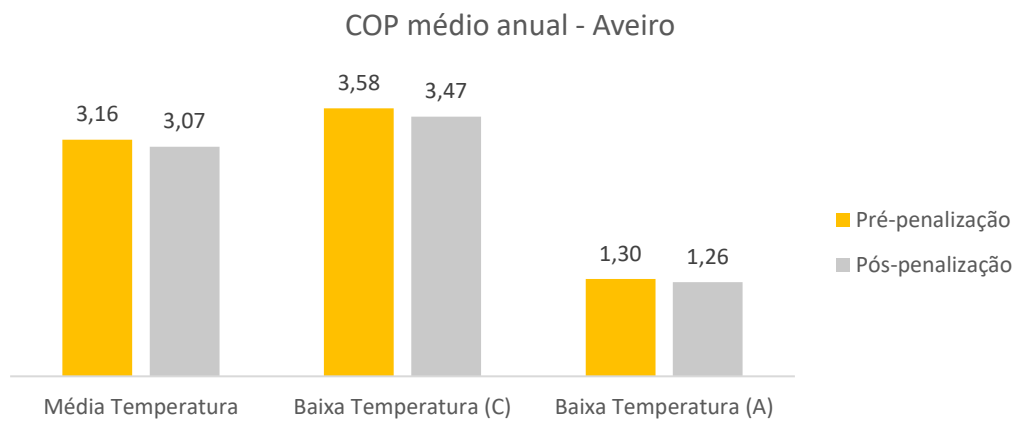


Figura 69. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em GD na Loja I.

7.2 Resultados da análise ao caso de estudo Loja II



NOTA: Valores arredondados à décima.

Baixa Temperatura(C) corresponde ao sistema de baixa temperatura centralizado;

Baixa Temperatura (A) corresponde ao sistema de baixa temperatura autónomos.

Figura 70. Valores médios anuais do COP dos compressores dos sistemas de média temperatura e de baixa temperatura centralizados e autónomos antes e depois da penalização na loja II.

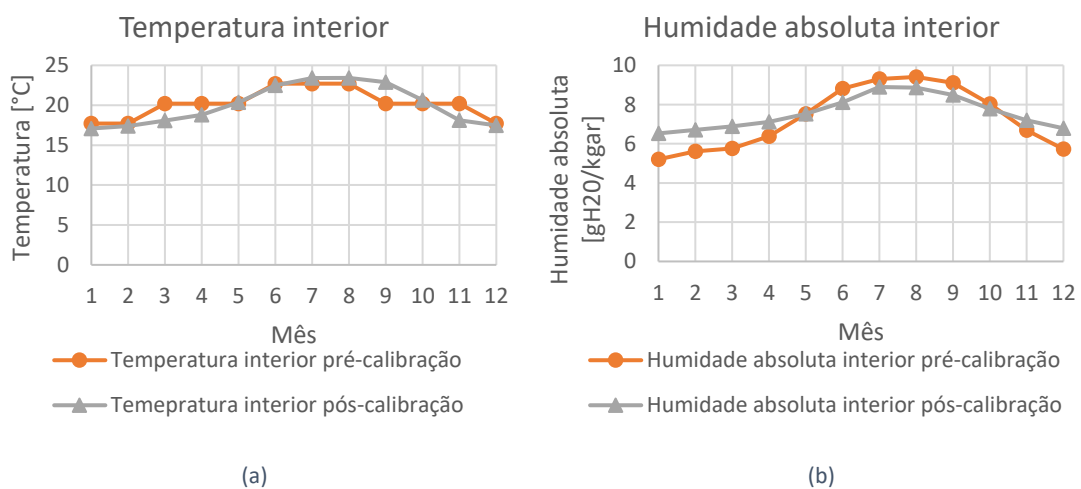


Figura 71. Comparação entre as condições interiores do ar antes e depois da calibração na loja II.

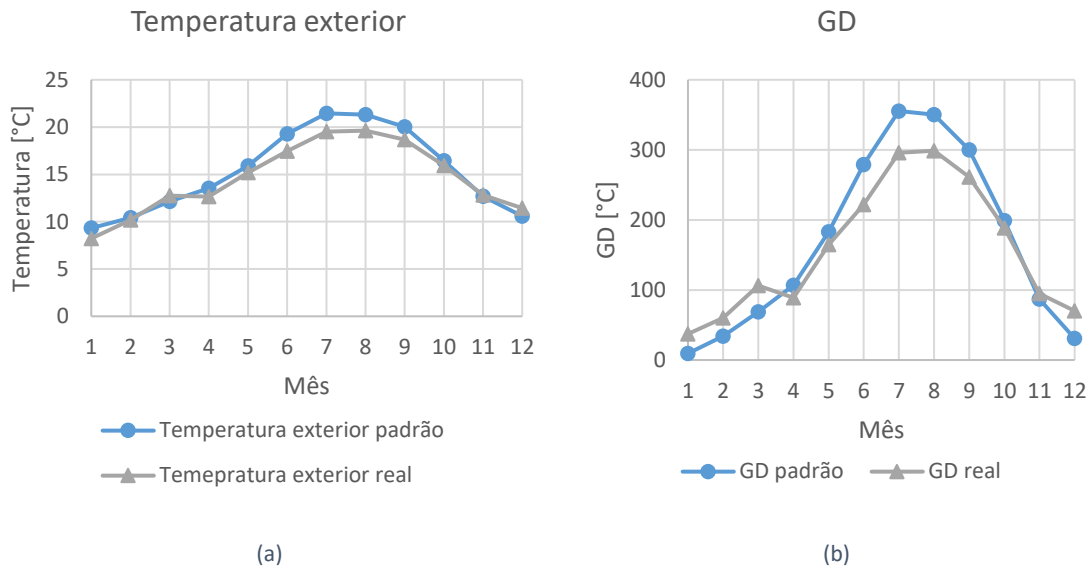


Figura 72. Comparação em base mensal entre clima padrão e clima real em (a) temperatura e (b) GD na loja II.

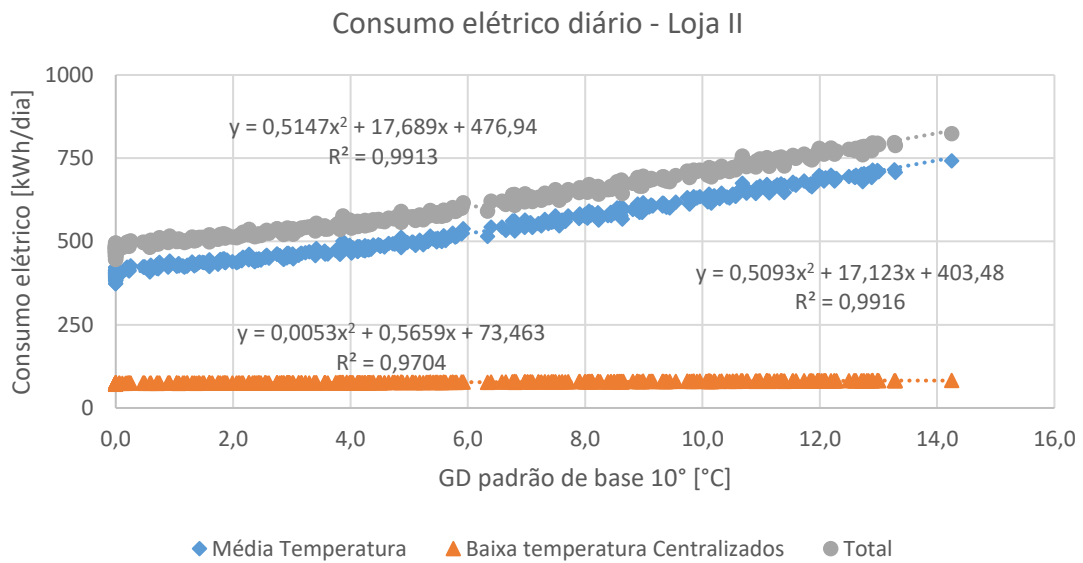


Figura 73. Curvas obtidas com a relação diária entre o consumo elétrico e clima padrão em GD na loja II.

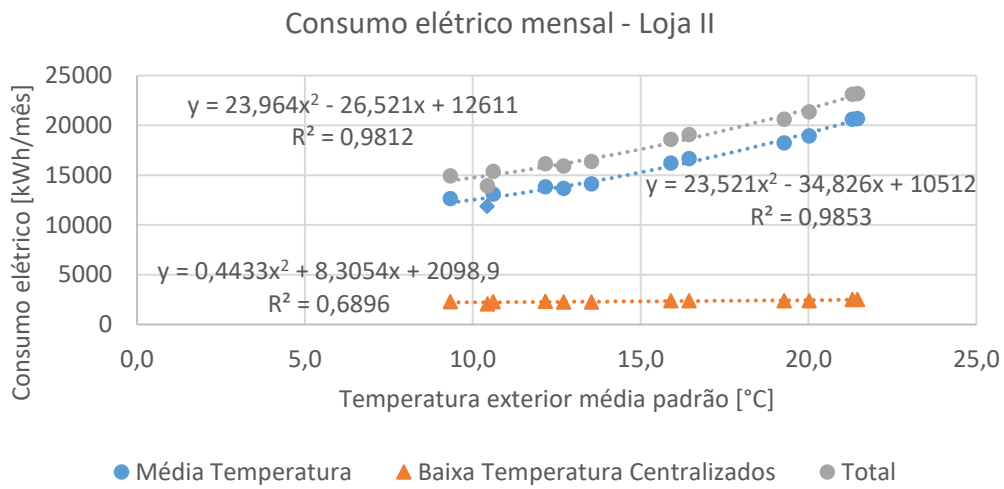


Figura 74. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em temperatura na loja II.

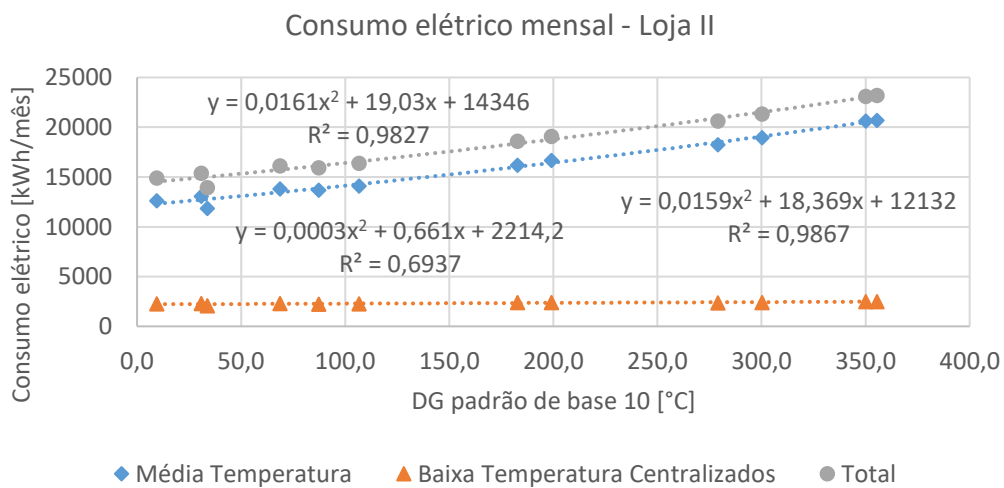
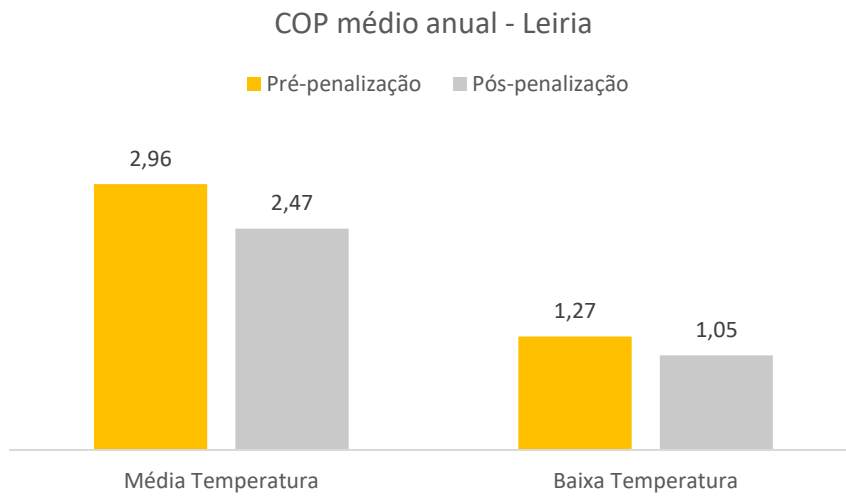


Figura 75. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em GD na loja II.

7.3 Resultados da análise ao caso de estudo Loja III



NOTA: Valores arredondados à centésima.

Figura 76. Valores médios anuais do COP dos compressores na loja III.

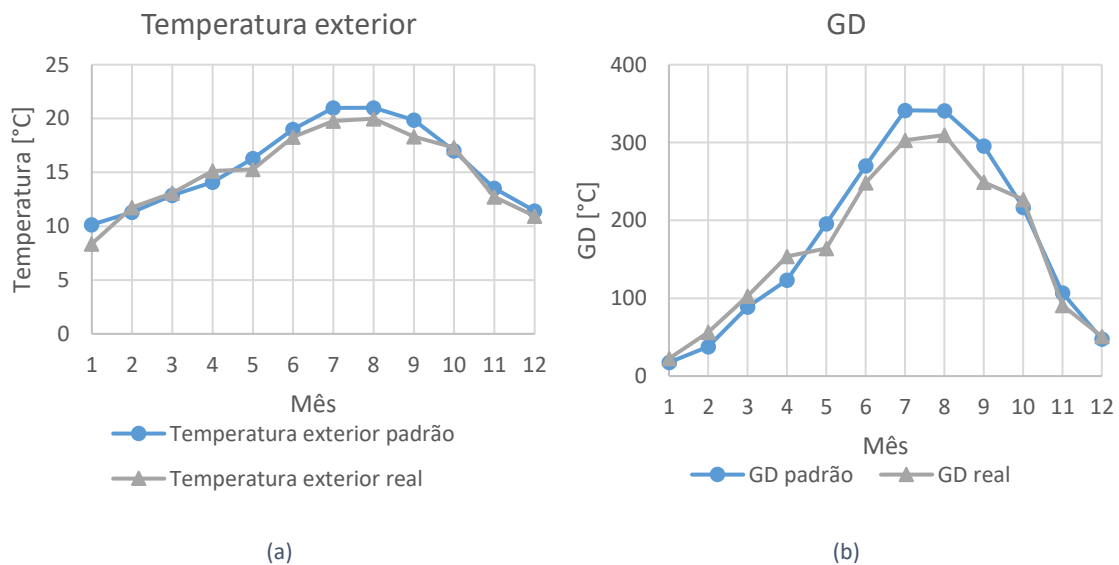


Figura 77. Comparação em base mensal entre clima padrão e clima real em (a) temperatura e (b) GD na loja III.

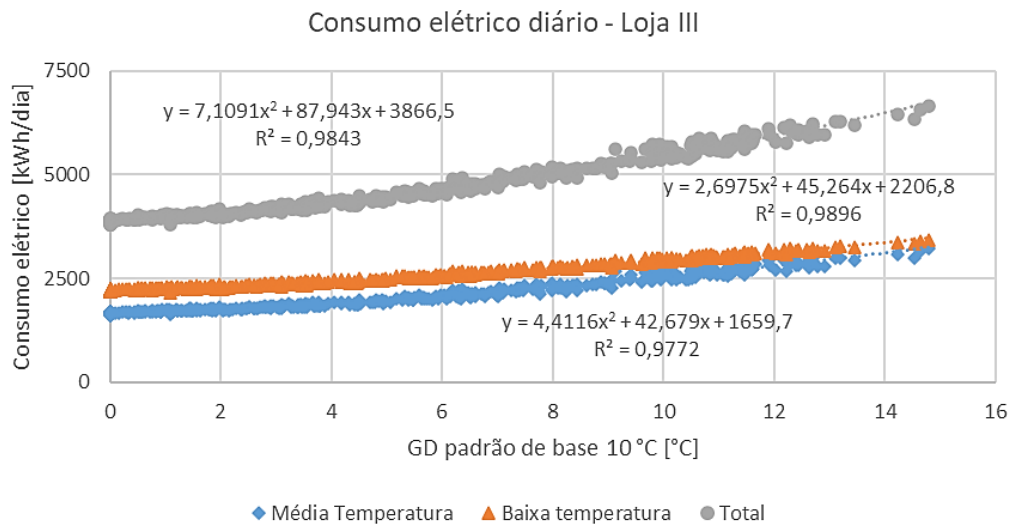


Figura 78. Curvas obtidas com a relação diária entre o consumo elétrico e clima padrão em GD na loja III.

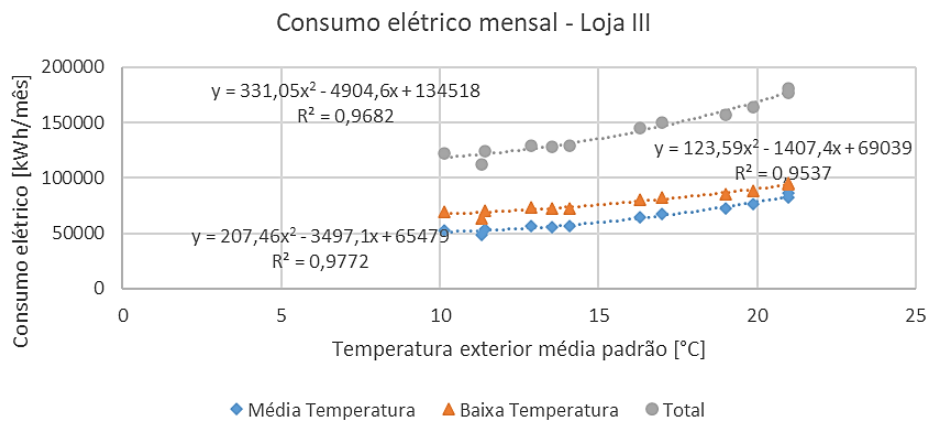


Figura 79. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em temperatura na loja III.

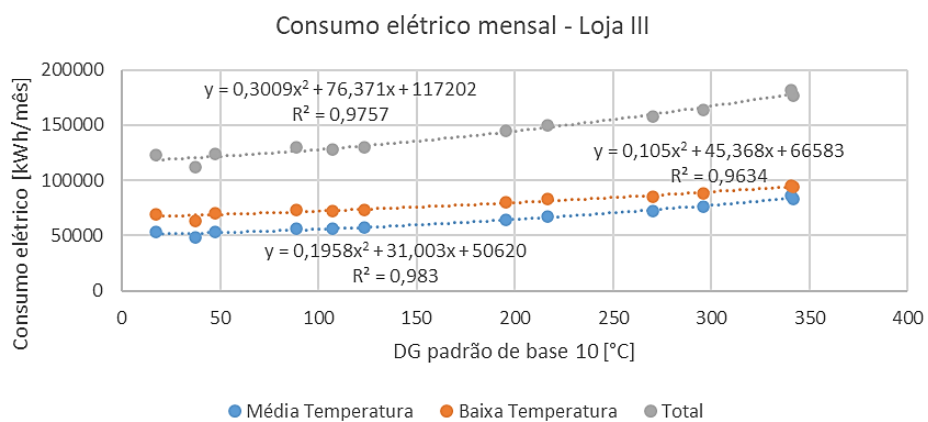


Figura 80. Curvas obtidas com a relação mensal entre o consumo elétrico e clima padrão em GD na loja III.

7.4 Resultados da penalização do COP no caso de aplicação Loja IV

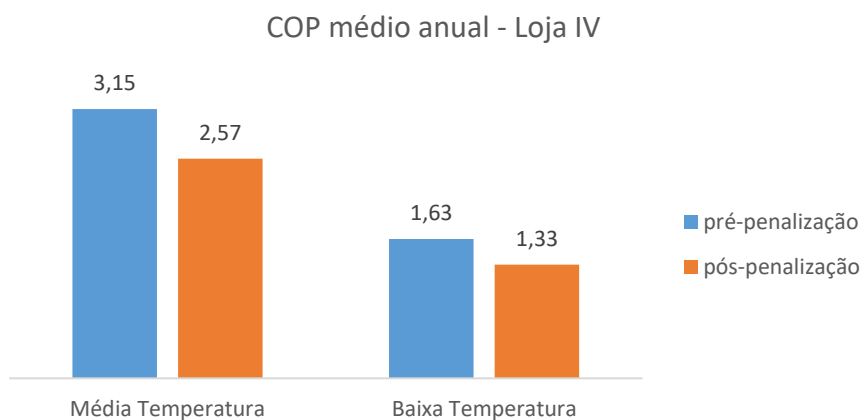


Figura 81. Valores médios anuais do COP dos compressores dos sistemas de média e baixa temperatura na Loja IV.

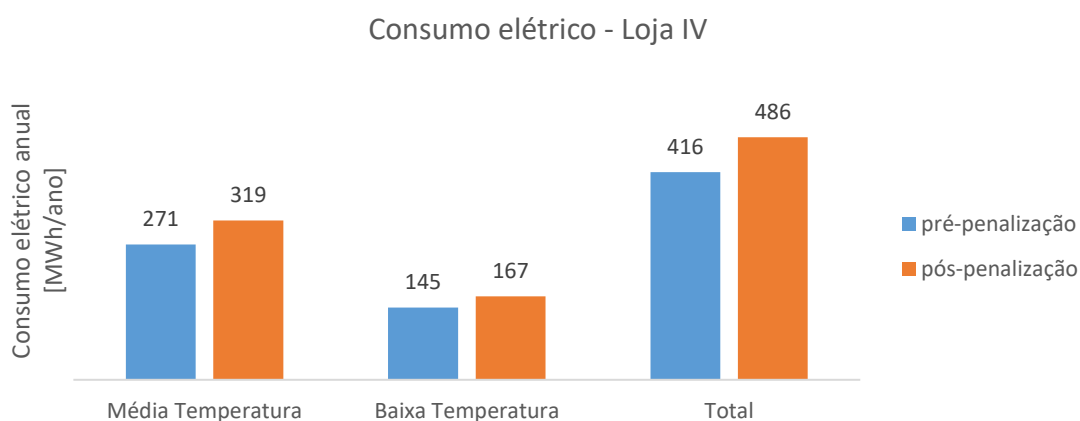


Figura 82. Evolução do consumo elétrico do sistema de refrigeração da Loja IV com a penalização da eficiência dos compressores.

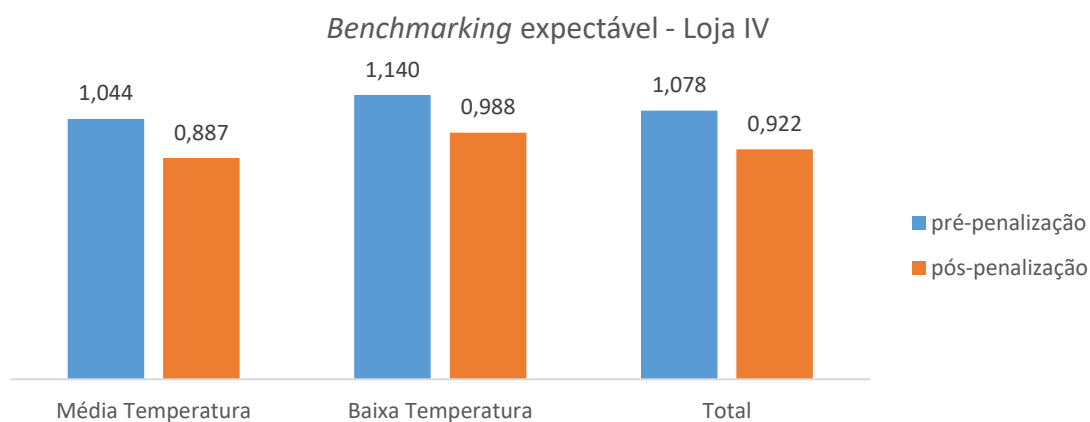


Figura 83. Valores de *benchmarking* expectável antes e depois da penalização do COP na Loja IV.

7.5 Aplicação da ferramenta climática numa loja real

Mês	Dia _{mês}	Input	Input	Input	Input	Input	
		Clima real		Consumo real [kWh]			
		T _{ext real}	GD _{real}	Média Temperatura	Baixa Temperatura	Total	
Jan	1	12,9	2,9	461,4	409,6	871,0	
Jan	2	12,3	2,3	639,6	466,7	1106,3	
Jan	3	13,7	3,7	709,3	432,5	1141,8	
Jan	4	12,1	2,1	718,7	402,3	1121,0	
Jan	5	9,0	0,0	616,4	389,1	1005,5	
Jan	6	11,3	1,3	667,6	407,5	1075,1	
Jan	7	15,3	5,3	708,4	417,7	1126,1	
Jan	8	13,8	3,8	787,8	412,7	1200,5	
Jan	9	12,5	2,5	675,1	406,5	1081,6	
Jan	10	13,6	3,6	646,1	412,1	1058,2	
Jan	11	12,3	2,3	637,4	388,5	1025,9	
Jan	12	9,9	0,0	618,2	407,5	1025,7	
Jan	13	11,9	1,9	634,2	401,0	1035,2	
Jan	14	12,2	2,2	689,8	409,7	1099,5	
Jan	15	9,0	0,0	582,0	401,4	983,4	
Jan	16	8,6	0,0	558,0	413,4	971,4	

Figura 84. Folha da ferramenta para a introdução dos dados reais.

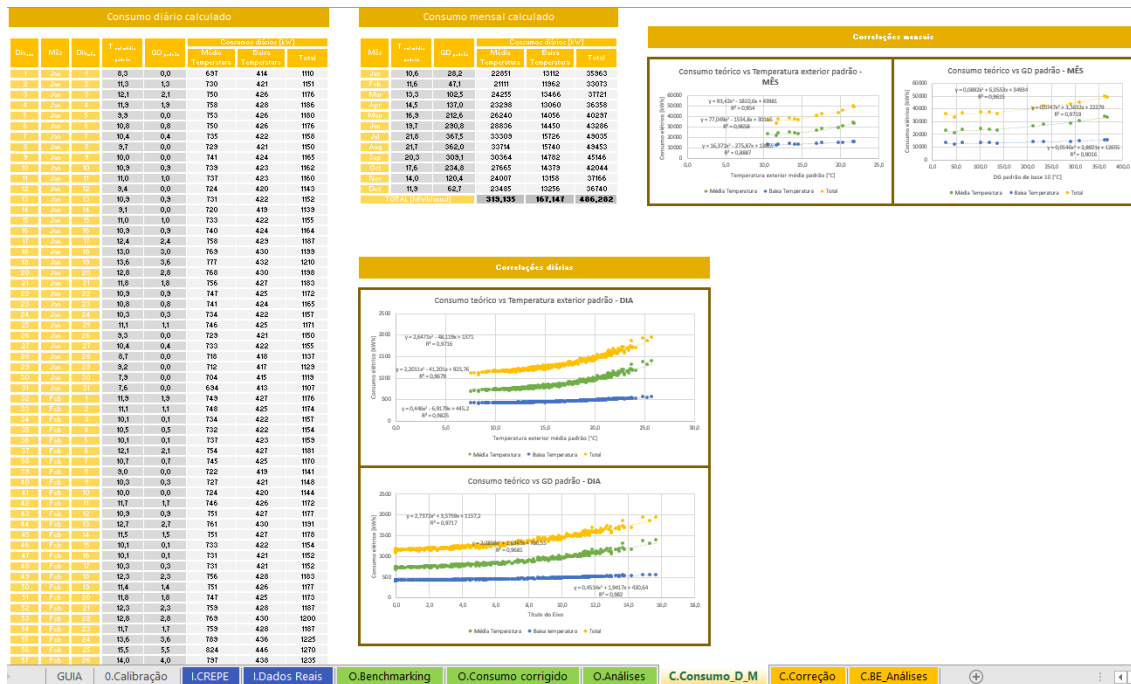


Figura 85. Folha da ferramenta para as relações entre o consumo calculado e o clima padrão.

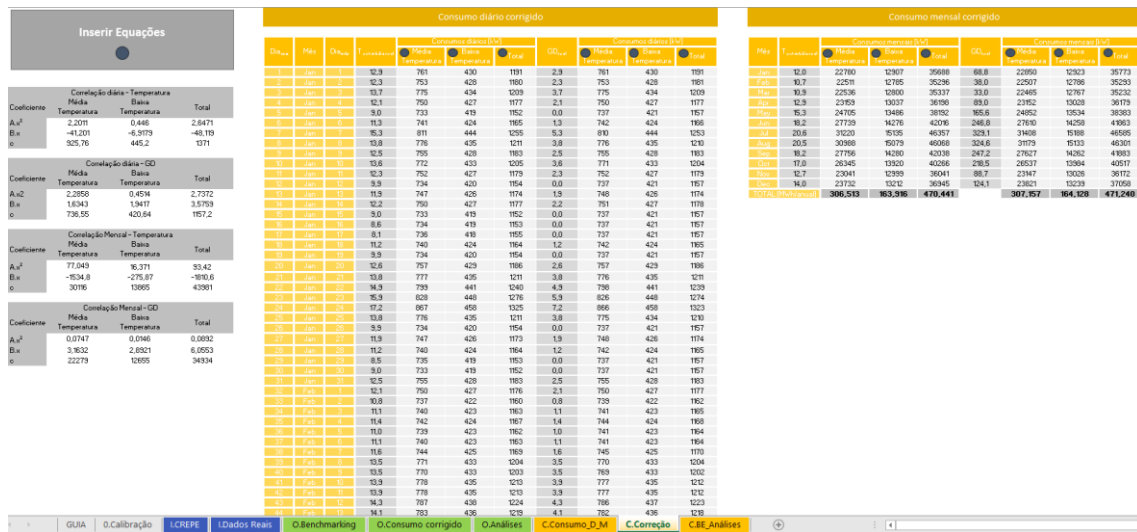


Figura 86. Folha da ferramenta para a correção do consumo elétrico do sistema de frio.



Figura 87. Folha da ferramenta para a apresentação do consumo elétrico corrigido do sistema de frio.



Figura 88. Folha da ferramenta para a apresentação das análises às condições do ar interior e do ar exterior da loja.

7.5.1 Indicadores de *benchmarking*

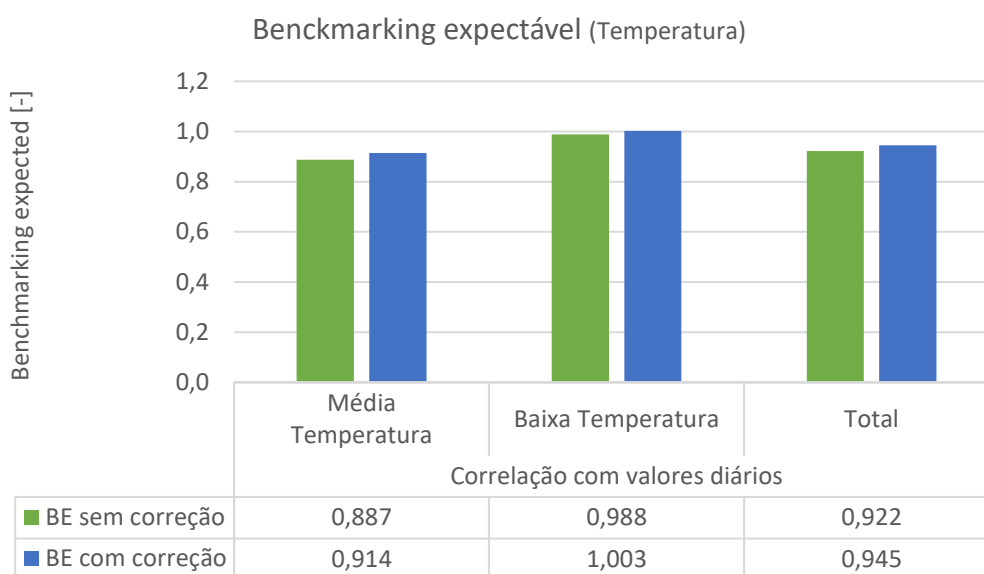


Figura 89. Indicadores de *benchmarking* expectável resultante da análise diária com temperatura no caso de aplicação da ferramenta de correção climática

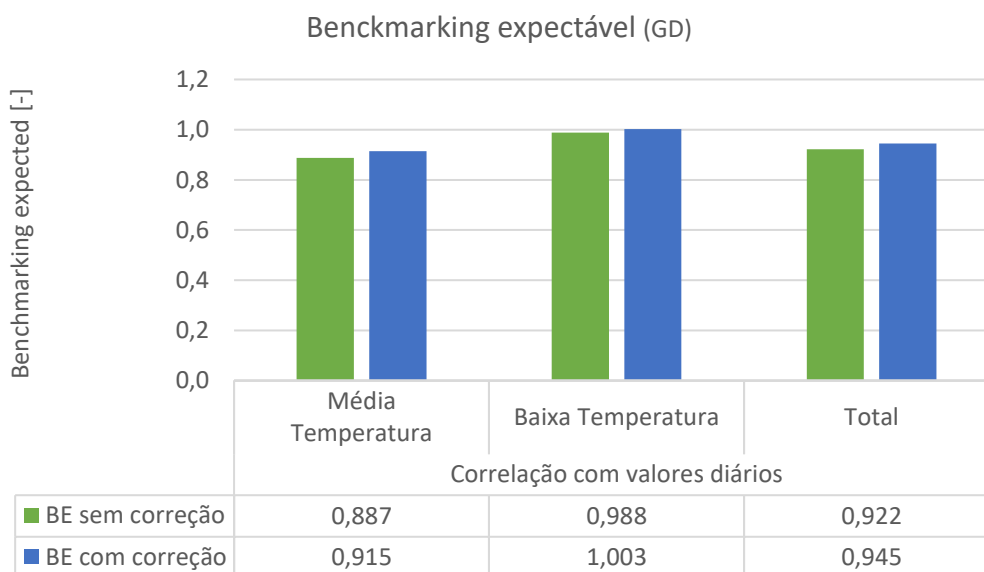


Figura 90. Indicadores de *benchmarking* expectável resultante da análise diária com GD no caso de aplicação da ferramenta de correção climática

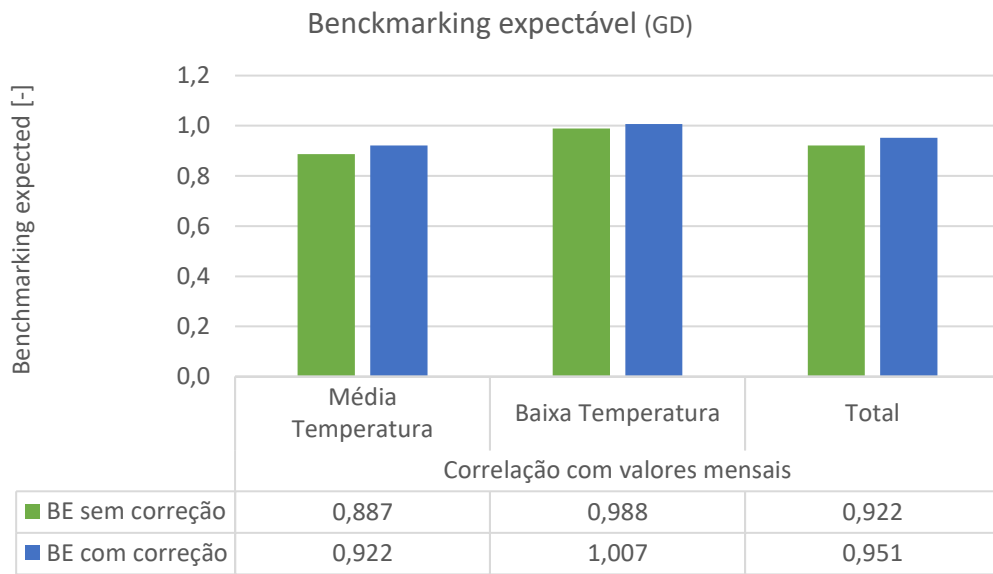


Figura 91. Indicadores de *benchmarking* expectável resultante da análise mensal com GD no caso de aplicação da ferramenta de correção climática

7.6 Análise do impacto do clima no consumo elétrico de um sistema de refrigeração

7.6.1 Comparação entre consumos calculado e real

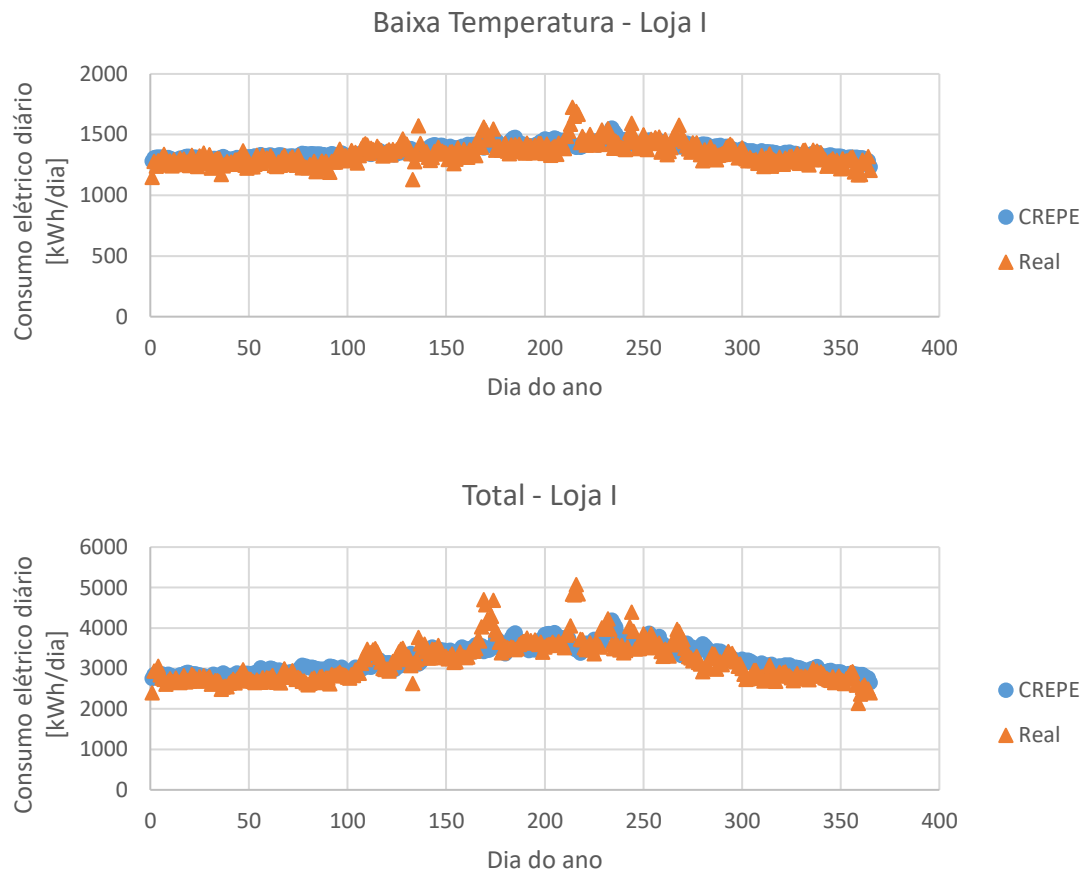


Figura 92. Evolução do consumo calculado pelo CREPE e do consumo real ao longo do ano, Loja I.

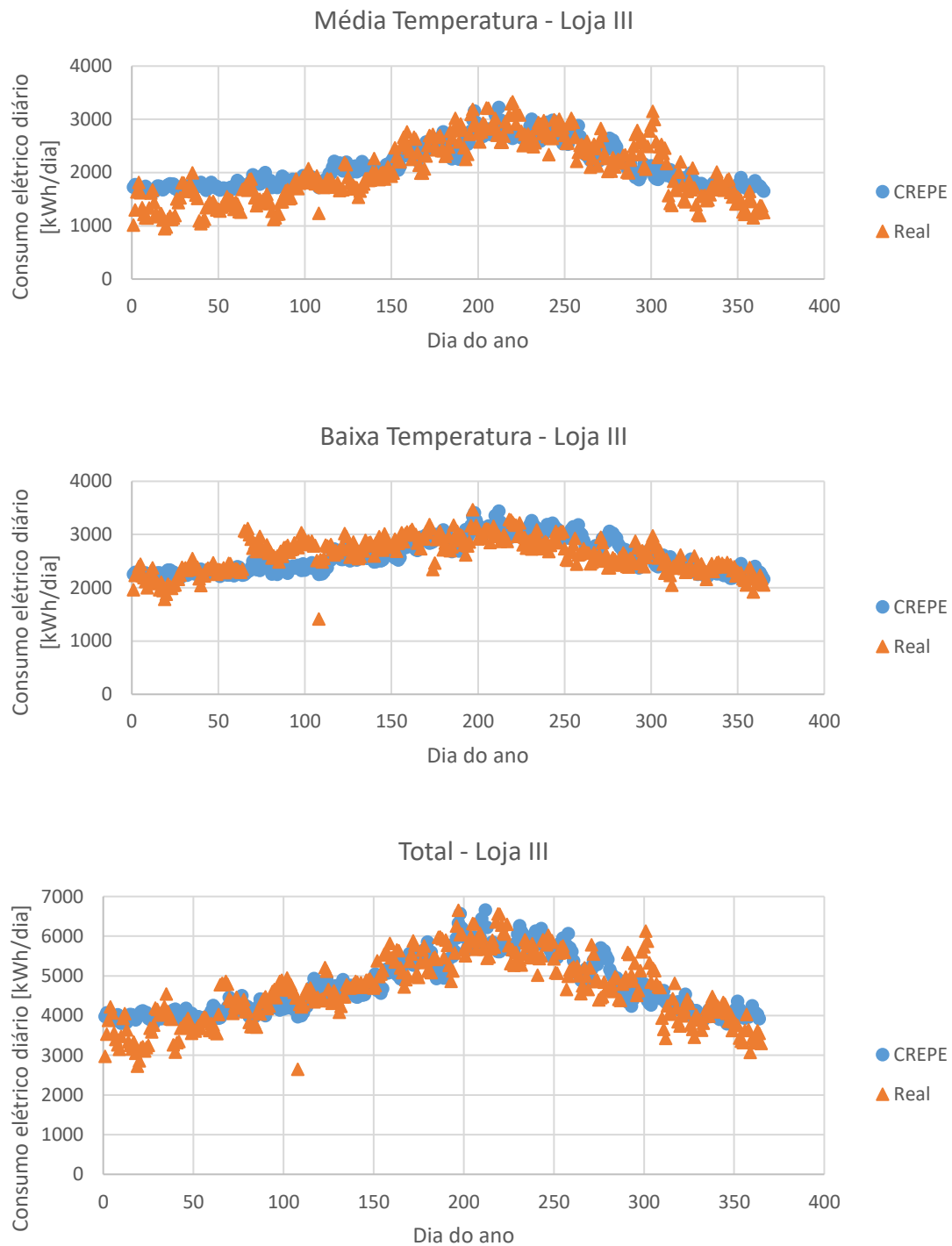


Figura 93. Evolução do consumo calculado pelo CREPE e do consumo real ao longo do ano, Loja III.

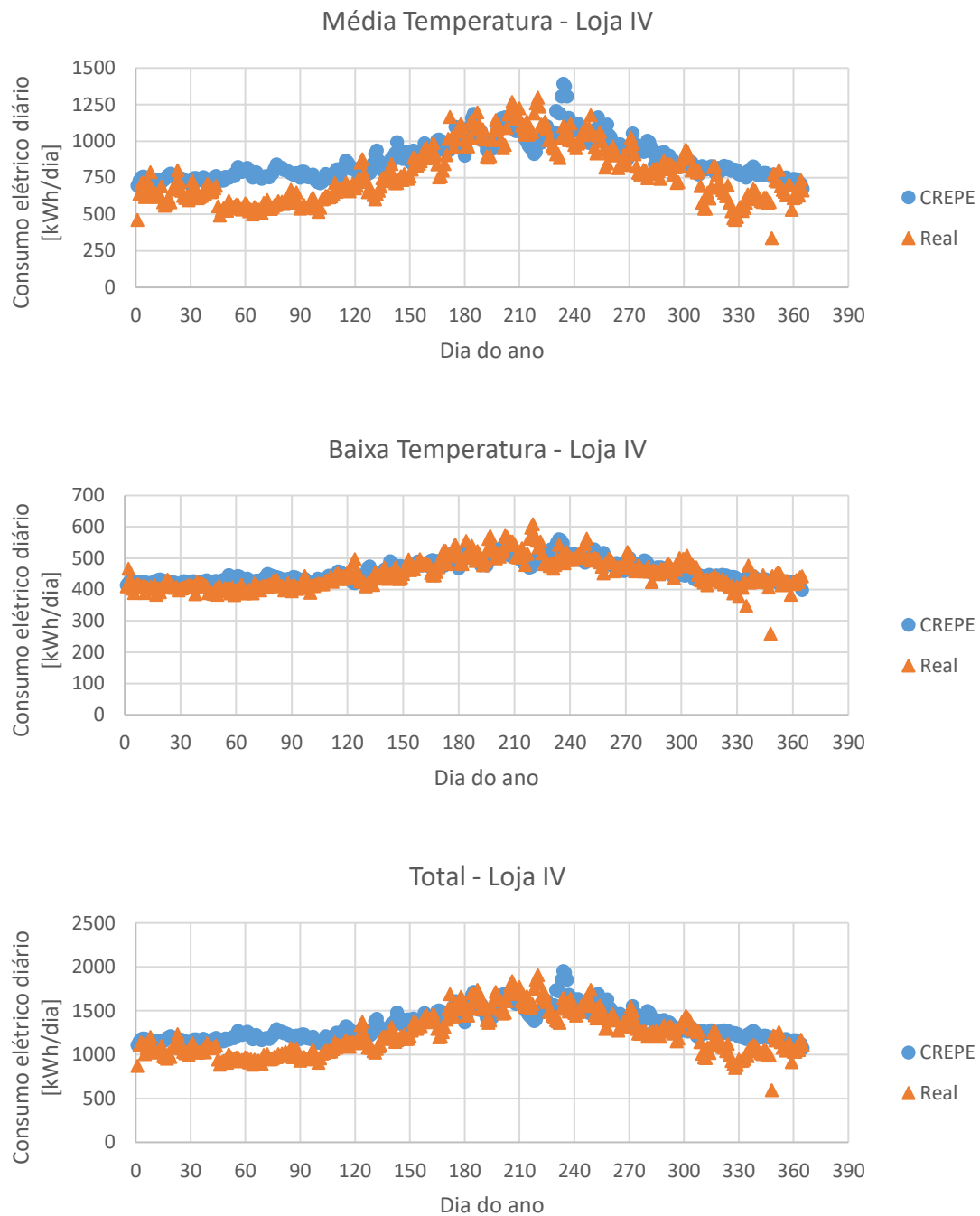


Figura 94. Evolução do consumo calculado pelo CREPE e do consumo real ao longo do ano, Loja IV.

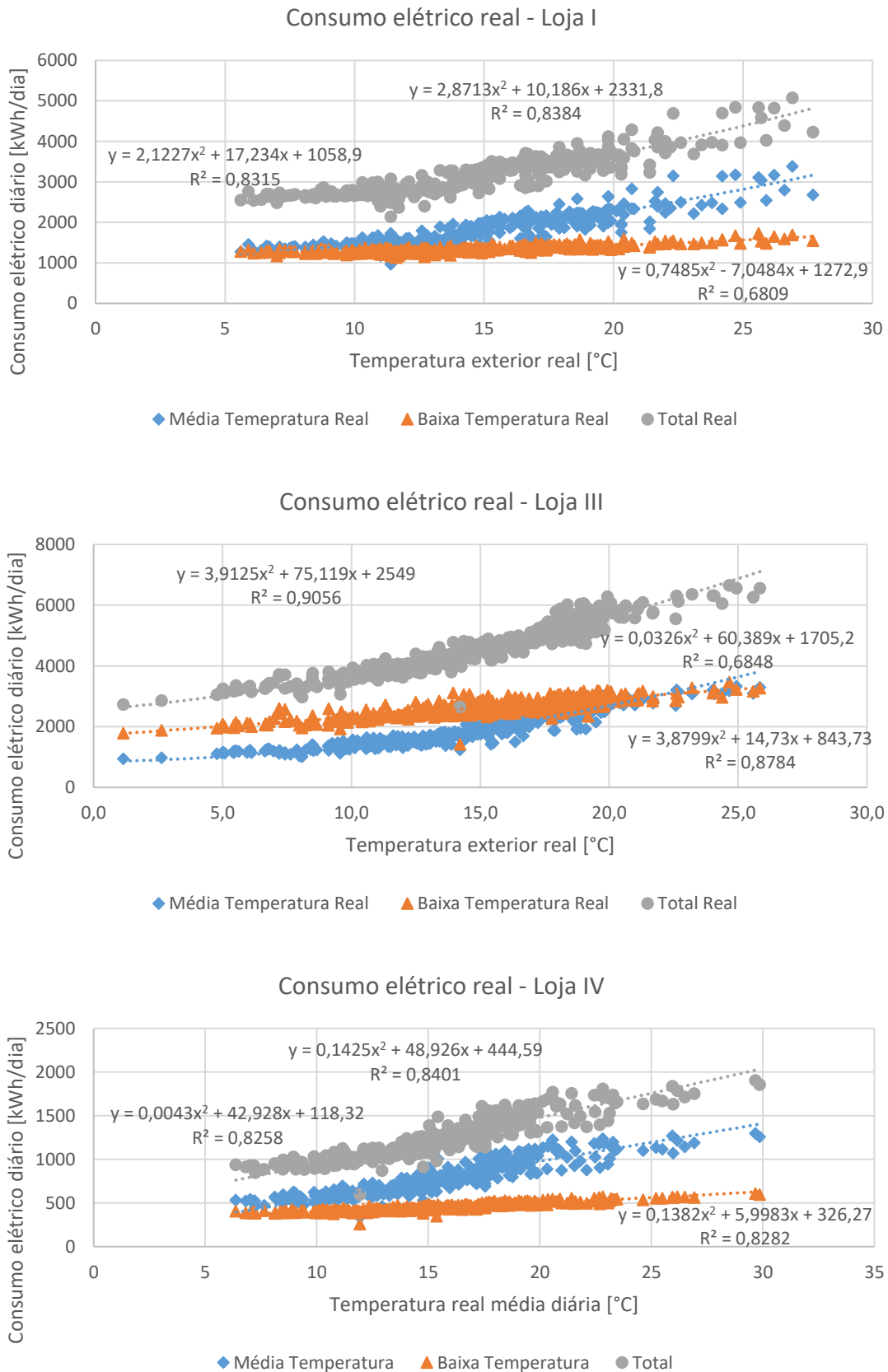


Figura 95. Relação entre o consumo elétrico real do sistema de refrigeração e o clima real em temperatura.

7.6.2 Análises teóricas

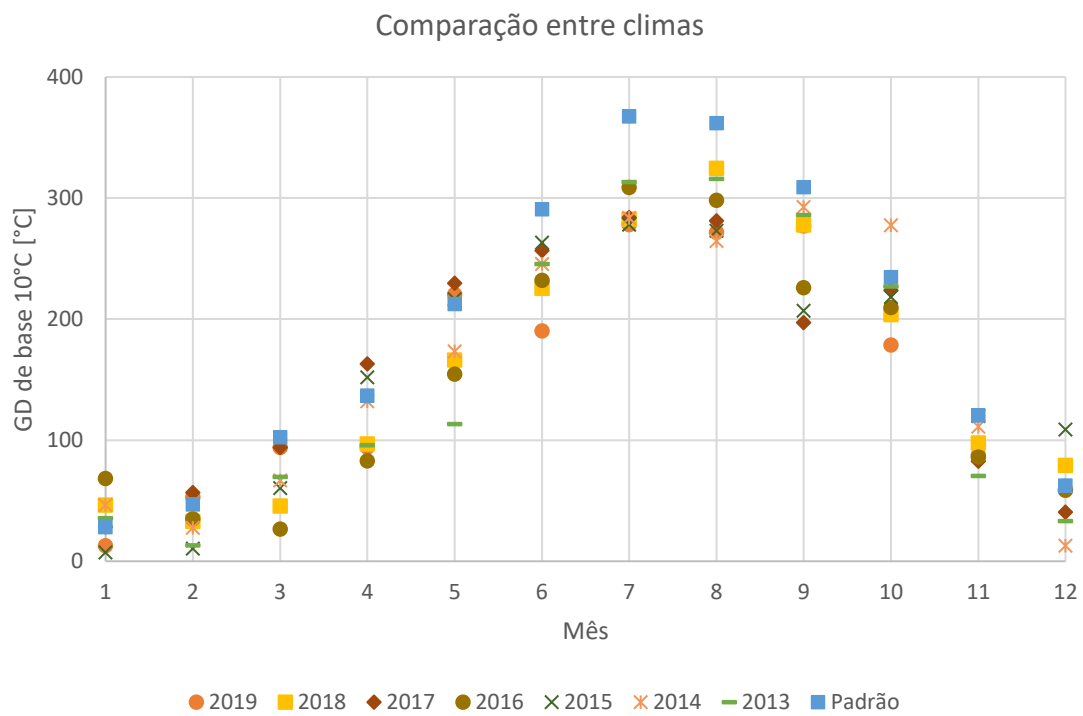


Figura 96. Comparação entre climas de 2013 a 2019.

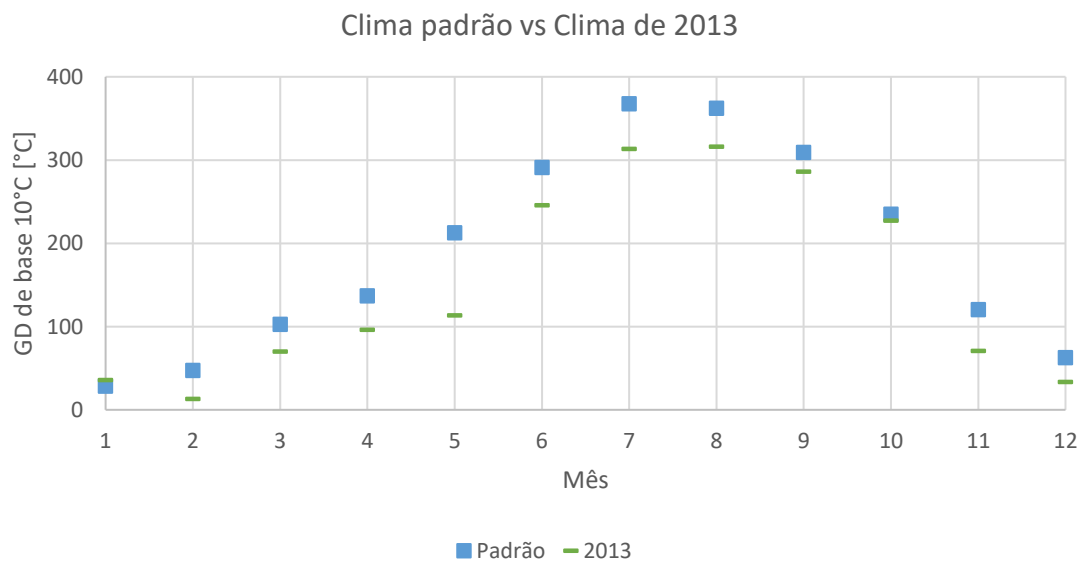


Figura 97. Comparação entre o clima padrão e o clima de 2013.