

**ALEJANDRO GONZÁLEZ DE HOYOS**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

**AVALIAÇÃO EX-POST DAS MEDIDAS DE MELHORIA DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IMPLEMENTADAS NUM  
COMPLEXO DE PISCINAS MUNICIPAIS**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

**Instituto Superior de Engenharia**

*Ano letivo 2021/2022*



**ALEJANDRO GONZÁLEZ DE HOYOS**

**(Nº DE ALUNO: 70024)**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

**AVALIAÇÃO EX-POST DAS MEDIDAS DE MELHORIA DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IMPLEMENTADAS NUM  
COMPLEXO DE PISCINAS MUNICIPAIS**

Mestrado em Engenharia Mecânica -  
- Energia, Climatização e Refrigeração

Trabalho efetuado sob a orientação de:  
Prof. Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

**Instituto Superior de Engenharia**

**Ano letivo 2021/2022**



**AVALIAÇÃO EX-POST DAS MEDIDAS DE MELHORIA DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IMPLEMENTADAS NUM  
COMPLEXO DE PISCINAS MUNICIPAIS**

Declaração da Autoria do trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito.

Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

(Alejandro González de Hoyos)

© Copyright: Alejandro González de Hoyos (2022)

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

*Dedicado à:*

*Minha mulher, Adriana*

*às minhas famílias, espanhola e portuguesa.*



## **AGRADECIMIENTOS**

A realização desta Dissertação que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de diferentes pessoas e entidades, às quais não poderia deixar de prestar todo o meu reconhecimento e gratidão.

Gostaria de agradecer em primeiro lugar ao meu orientador, o Professor Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal, que desde o primeiro momento aceitou orientar este trabalho. Agradeço, para além dos materiais e conhecimentos transmitidos, toda a ajuda disponibilizada e as palavras de apoio nos momentos mais difíceis.

Uma palavra especial para aqueles outros professores que, de forma semelhante ao Professor António Mortal, foram especialmente marcantes durante o meu percurso no Instituto Superior de Engenharia.

Muito obrigado à Universidade do Algarve pela oportunidade de tornar-me Mestre em Engenharia Mecânica, contribuindo assim para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Também uma palavra especial para o Município de Silves e os seus funcionários pela sua disponibilidade. Agradeço igualmente ao Eng. Paulo Martins a disponibilidade e experiência no âmbito da eficiência energética.

À minha família, amigos e colegas, que nesta nova etapa da minha vida me têm acompanhado e ajudado.

Obrigado Isabel e Paulo por terem-me acolhido na família desde o primeiro minuto como se de um filho se tratasse.

A minha irmã Paula, que mesmo sendo uns anos mais nova do que eu, consegue ser uma referência importante para mim e uma inspiração.

*(A mi hermana Paula, que pese a ser unos años más joven que yo, consigue ser una referencia importante para mí e una inspiración)*

Sobretudo, aos meus pais, Socorro e Ginés, porque “têm sido, são e serão” o melhor exemplo de trabalho, esforço e dedicação que poderia ter. Muito obrigado por terem-me permitido ser o tipo de pessoa que sou hoje.

*(Sobre todo, a mis padres, Socorro y Ginés, porque “han sido, son y serán” el mejor ejemplo de trabajo, esfuerzo y dedicación que podría tener. Muchas gracias por permitirme ser el tipo de persona que he llegado a ser)*

Por último, mas nunca menos importante, obrigado à minha mulher Adriana. Tu tens sido o maior dos apoios durante todo este percurso. Obrigado por seres um dos pilares da minha vida.

A todos, o meu mais sincero, obrigado!

*(A todos, mi más sincero, ¡gracias!)*

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>i</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>4</b>
3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	4
3.1.1. O que é a Eficiência Energética? .....	4
3.1.2. Vantagens .....	4
3.1.3. International Energy Agency (IEA) .....	6
3.2. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO (M&V) .....	6
3.2.1. Visão geral .....	6
3.2.2. Princípios e Propósitos gerais de M&V .....	6
3.2.3. Uniformização da M&V .....	7
3.3. INTERNATIONAL PERFORMANCE, MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL (IPMVP) .....	8
3.3.1. Relação entre M&V e o IPMVP .....	8
3.3.2. Obtenção da poupança .....	9
3.3.3. Opções do IPMVP. ....	10
3.4. PISCINAS .....	12
3.4.1. Visão geral .....	12
3.4.2. Consumos energéticos .....	13
3.4.3. Custos .....	14
3.5. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	15
3.5.1. Enquadramento legislativo .....	15
3.5.2. Programas de Eficiência Energética na Administração Pública .....	16
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DO IMÓVEL</b> .....	<b>17</b>
4.1. BREVE APRESENTAÇÃO .....	17
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO .....	18
4.3. SISTEMA DE AVAC .....	19
4.4. SISTEMA DE BOMBAGEM .....	21
4.5. SISTEMA DE PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES .....	24

4.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	25
4.7. OUTROS DADOS DE INTERESSE .....	25
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONSUMOS ENERGÉTICOS...26</b>	
5.1. ELETRICIDADE .....	26
5.2. GÁS .....	27
5.3. ELETRICIDADE VS GÁS .....	29
<b>6. CARACTERIZAÇÃO DAS MEDIDAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....30</b>	
6.1. MEDIDA 1: INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO..... 30	
6.1.1. Descrição e justificação .....	30
6.1.2. O que é um sistema solar fotovoltaico? .....	31
6.2. MEDIDA 2: INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO..... 32	
6.2.1. Descrição e justificação .....	32
6.2.2. O que é um sistema solar térmico? .....	33
6.3. MEDIDA 3: SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO EXISTENTE .....	34
6.3.1. Descrição e justificação .....	34
6.3.2. O que é um LED?.....	35
6.4. MEDIDA 4: SUBSTITUIÇÃO DAS BOMBAS DE CIRCULAÇÃO EXISTENTES .... 36	
6.4.1. Descrição e justificação .....	36
6.4.2. O que é uma bomba de alta eficiência?.....	37
6.5. OBJETIVOS GLOBAIS E EXECUÇÃO .....	38
<b>7. INTERNATIONAL PERFORMANCE, MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL (IPMVP) .....39</b>	
7.1. INTRODUÇÃO AO IPMVP..... 39	
7.1.1. Propósito .....	39
7.1.2. Vantagens.....	40
7.2. DEFINIÇÃO, OBJETIVOS E PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA M&V .....	41
7.2.1. Definição .....	41
7.2.2. Objetivos .....	41
7.2.3. Princípios fundamentais .....	43
7.3. ESTRUTURA DO IPMVP..... 44	
7.3.1. Relação entre M&V e o IPMVP .....	44
7.3.2. Obtenção da poupança .....	45
7.3.3. Períodos de Medição.....	45
7.3.4. Métodos de ajuste.....	46
7.3.5. O conceito de Fronteira.....	47
7.4. OPÇÕES DE VERIFICAÇÃO..... 48	
7.4.1. Opções A e B, Verificação Isolada da MMEE .....	48

7.4.2. Opção A, Verificação Isolada da MMEE: Medição dos parâmetros chave.....	49
7.4.3. Opção B, Verificação Isolada da MMEE: Medição de todos os parâmetros.....	52
7.4.4. Opção C: Toda a Instalação .....	53
7.4.5. Opção D: Simulação Calibrada.....	55
7.5. CONTEUDO DO PLANO DE M&V .....	58
7.5.1. Requerimentos fundamentais .....	58
7.5.2. Requerimentos adicionais de um Plano de M&V para a Opção A .....	62
7.5.3. Requerimentos adicionais de um Plano de M&V para a Opção D .....	62
7.6. ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS DEMONSTRATIVOS DE POUPANÇA .....	63
<b>8. PLANOS DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO.....</b>	<b>64</b>
8.1. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO GLOBAL.....	64
8.1.1. Objetivo.....	64
8.1.2. Opção do IPMVP e Fronteira.....	65
8.1.3. Período de Referência .....	65
8.1.4. Período de Reporte.....	66
8.1.5. Base dos ajustes .....	67
8.1.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise .....	70
8.1.7. Preço da energia.....	70
8.1.8. Especificações dos equipamentos de medição.....	71
8.1.9. Responsabilidade de monitorização.....	71
8.1.10. Precisão esperada .....	71
8.1.11. Orçamento .....	71
8.1.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança .....	71
8.1.13. Garantia de qualidade.....	71
8.2. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	72
8.2.1. Objetivo.....	72
8.2.2. Opção do IPMVP e Fronteira.....	72
8.2.3. Período de Referência .....	73
8.2.4. Período de Reporte.....	73
8.2.5. Base dos ajustes .....	73
8.2.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise .....	73
8.2.7. Preço da energia.....	73
8.2.8. Especificações dos equipamentos de medição.....	74
8.2.9. Responsabilidade de monitorização.....	74
8.2.10. Precisão esperada .....	74
8.2.11. Orçamento .....	74
8.2.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança .....	74
8.2.13. Garantia de qualidade.....	74
8.3. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR TÉRMICO.....	74
8.3.1. Objetivo.....	74

8.3.2. Opção do IPMVP e Fronteira.....	75
8.3.3. Período de Referência .....	75
8.3.4. Período de Reporte.....	76
8.3.5. Base dos ajustes .....	77
8.3.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise .....	78
8.3.7. Preço da energia.....	79
8.3.8. Especificações dos equipamentos de medição.....	79
8.3.9. Responsabilidade de monitorização.....	79
8.3.10. Precisão esperada .....	79
8.3.11. Orçamento .....	79
8.3.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança .....	79
8.3.13. Garantia de qualidade.....	80
<b>8.4. PLANO DE M&amp;V - AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>80</b>
8.4.1. Objetivo.....	80
8.4.2. Opção do IPMVP e Fronteira.....	80
8.4.3. Período de Referência .....	81
8.4.4. Período de Reporte.....	81
8.4.5. Base dos ajustes .....	82
8.4.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise .....	82
8.4.7. Preço da energia.....	82
8.4.8. Especificações dos equipamentos de medição.....	82
8.4.9. Responsabilidade de monitorização.....	82
8.4.10. Precisão esperada .....	83
8.4.11. Orçamento .....	83
8.4.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança .....	83
8.4.13. Garantia de qualidade.....	83
<b>8.5. PLANO DE M&amp;V - AVALIAÇÃO SISTEMA DE BOMBAGEM .....</b>	<b>83</b>
8.5.1. Objetivo.....	83
8.5.2. Opção do IPMVP e Fronteira.....	84
8.5.3. Período de Referência .....	84
8.5.4. Período de Reporte.....	85
8.5.5. Base dos ajustes .....	85
8.5.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise .....	86
8.5.7. Preço da energia.....	87
8.5.8. Especificações dos equipamentos de medição.....	87
8.5.9. Responsabilidade de monitorização.....	87
8.5.10. Precisão esperada .....	87
8.5.11. Orçamento .....	87
8.5.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança .....	87
8.5.13. Garantia de qualidade.....	87

<b>9. RELATÓRIOS DEMONSTRATIVOS DE POUPANÇA.....</b>	<b>88</b>
9.1. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO GLOBAL.....	88
9.1.1. Objetivo.....	88
9.1.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.....	89
9.1.3. Dados observados no Período de Referência.....	90
9.1.4. Dados observados no Período de Reporte.....	92
9.1.5. Ajustes realizados .....	93
9.1.6. Poupança medida .....	96
9.1.7. Considerações finais .....	96
9.2. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR FOTVOLTAICO .....	96
9.2.1. Objetivo.....	96
9.2.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.....	97
9.2.3. Dados observados no Período de Referência.....	97
9.2.4. Dados observados no Período de Reporte.....	98
9.2.5. Poupança medida .....	98
9.2.6. Considerações finais .....	99
9.3. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....	99
9.3.1. Objetivo.....	99
9.3.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.....	100
9.3.3. Dados observados no Período de Referência.....	100
9.3.4. Dados observados no Período de Reporte.....	102
9.3.5. Ajustes realizados .....	103
9.3.6. Poupança medida .....	105
9.3.7. Considerações finais .....	105
9.4. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO .....	106
9.4.1. Objetivo.....	106
9.4.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.....	106
9.4.3. Dados observados no Período de Referência.....	107
9.4.4. Dados observados no Período de Reporte.....	108
9.4.5. Poupança medida .....	109
9.4.6. Considerações finais .....	109
9.5. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA DE BOMBAGEM.....	110
9.5.1. Objetivo.....	110
9.5.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.....	110
9.5.3. Dados observados no Período de Referência.....	112
9.5.4. Dados observados no Período de Reporte.....	113

9.5.5. Ajustes realizados .....	115
9.5.6. Poupança medida .....	116
9.5.7. Considerações finais .....	116
<b>10. CONCLUSÕES .....</b>	<b>117</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>119</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Efeito Estufa - Explicação gráfica .....	5
Figura 3.2 - Gráfico do processo de M&V .....	8
Figura 3.3 - Equação base do IPMVP .....	9
Figura 3.4 - Representação gráfica do conceito de “Fronteira” .....	10
Figura 3.5 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 1 .....	13
Figura 3.6 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 2 .....	14
Figura 3.7 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 3 .....	14
Figura 3.8 - Distribuição percentual dos custos médios da energia em complexos desportivos com piscinas interiores 1 .....	15
Figura 4.1 - Piscinas Municipais de Silves .....	17
Figura 4.2 - Caldeira Lamborghini MegaPrex .....	24
Figura 5.1 - Gráfico com a relação de consumos energéticos no ano 2016 (Eletricidade) .....	27
Figura 5.2 - Gráfico com a relação de energia fornecida no ano 2016 (Gás) .....	28
Figura 5.3 - Distribuição percentual dos consumos energéticos no ano 2016 .....	29
Figura 5.4 - Distribuição percentual dos custos derivados dos consumos energéticos no ano 2016 .....	29
Figura 6.1 - Local de instalação do Sistema Solar Fotovoltaico .....	31
Figura 6.2 - Sistema Solar Fotovoltaico .....	31
Figura 6.3 - Local de instalação do Sistema Solar Térmico.....	33
Figura 6.4 - Sistema Solar Térmico .....	34
Figura 6.5 - LED .....	35
Figura 6.6 - Bomba Grundfos .....	37
Figura 7.1 - Gráfico do processo de M&V .....	44
Figura 7.2 - Equação base do IPMVP .....	45
Figura 7.3 - Representação gráfica do conceito de Fronteira.....	47
Figura 7.4 - Equação base para a Opção A do IPMVP .....	51
Figura 7.5 - Equação base para a Opção B do IPMVP .....	53
Figura 7.6 - Equação base para a Opção C do IPMVP .....	54
Figura 8.1 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Global) .....	66
Figura 8.2 - Equação para o cálculo da energia consumida através da queima de gás no Período de Referência (Global).....	66

Figura 8.3 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Global)	67
Figura 8.4 - Equação para o cálculo da energia consumida através da queima de gás no Período de Reporte (Global)	67
Figura 8.5 - Equação para o Ajuste 1 (Global)	68
Figura 8.6 - Equação para o Ajuste 2 (Global)	69
Figura 8.7 - Equação para o Ajuste 3 (Global)	69
Figura 8.8 - Equação para o Ajuste 4 (Global)	70
Figura 8.9 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Global)	70
Figura 8.10 - Equação para o cálculo das poupanças (Global)	70
Figura 8.11 - Equação para o cálculo das poupanças (Sistema solar fotovoltaico)	73
Figura 8.12 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Sistema solar térmico)	76
Figura 8.13 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Sistema solar térmico)	76
Figura 8.14 - Equação para o Ajuste 1 (Sistema solar térmico)	77
Figura 8.15 - Equação para o Ajuste 2 (Sistema solar térmico)	78
Figura 8.16 - Equação para o Ajuste 3 (Sistema solar térmico)	78
Figura 8.17 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema solar térmico)	79
Figura 8.18 - Equação para o cálculo das poupanças (Sistema solar térmico)	79
Figura 8.19 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Iluminação)	81
Figura 8.20 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Iluminação)	82
Figura 8.21 - Equação para o cálculo das poupanças (Iluminação)	82
Figura 8.22 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Sistema de bombagem)	84
Figura 8.23 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Sistema de bombagem)	85
Figura 8.24 - Equação para o Ajuste (Sistema de bombagem)	86
Figura 8.25 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema de bombagem)	86
Figura 8.26 - Equação para o cálculo das poupanças (Sistema de bombagem)	86
Figura 9.1 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Global)	95
Figura 9.2 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema solar térmico)	105

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 4.1 - Número de utilizadores mensais (2016 até 2022) .....	18
Tabela 4.2 - Relação de equipamentos do sistema de AVAC .....	21
Tabela 4.3 - Relação de equipamentos do sistema de bombagem .....	23
Tabela 4.4 - Relação de equipamentos do sistema preparação de águas quentes .....	24
Tabela 4.5 - Relação de Lâmpadas e Luminárias.....	25
Tabela 5.1 - Relação de consumos energéticos no ano 2016 (Eletricidade) .....	26
Tabela 5.2 - Relação de consumos energéticos no ano 2016 (Gás) .....	28
Tabela 6.1 - Relação de Lâmpadas e Luminárias.....	35
Tabela 9.1 - Cenário de Referência na candidatura (Global) .....	89
Tabela 9.2 - Cenário de Reporte na candidatura (Global).....	90
Tabela 9.3 - Poupanças previstas na candidatura (Global) .....	90
Tabela 9.4 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Eletricidade) .....	90
Tabela 9.5 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Gás) .....	91
Tabela 9.6 - Período de Referência (Global).....	91
Tabela 9.7 - Registo da ocupação no Período de Referência (Global) .....	91
Tabela 9.8 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Eletricidade) ...	92
Tabela 9.9 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Gás) .....	93
Tabela 9.10 - Período de Referência (Global).....	93
Tabela 9.11 - Registo da ocupação no Período de Reporte (Global) .....	93
Tabela 9.12 - Base para o Ajuste 1 (Global) .....	94
Tabela 9.13 - Ajuste 1 (Global).....	94
Tabela 9.14 - Base para o Ajuste 2 (Global) .....	94
Tabela 9.15 - Ajuste 2 (Global).....	94
Tabela 9.16 - Base para o Ajuste 3 (Global) .....	95
Tabela 9.17 - Ajuste 3 (Global).....	95
Tabela 9.18 - Base para o Ajuste 4 (Global) .....	95
Tabela 9.19 - Ajuste 4 (Global).....	95
Tabela 9.20 - Período de Referência Ajustado (Global) .....	96
Tabela 9.21 - Poupanças (Global) .....	96
Tabela 9.22 - Período de Referência (Sistema solar fotovoltaico).....	97
Tabela 9.23 - Relação de dados retirados do <i>software</i> de telegestão (Sistema solar fotovoltaico) .....	98
Tabela 9.24 - Período de Reporte (Sistema solar fotovoltaico) .....	98

Tabela 9.25 - Poupanças (Sistema solar fotovoltaico) .....	98
Tabela 9.26 - Cenário de Referência na candidatura (Sistema solar térmico) .....	100
Tabela 9.27 - Cenário de Reporte na candidatura (Sistema solar térmico).....	100
Tabela 9.28 - Poupanças previstas na candidatura (Sistema solar térmico).....	100
Tabela 9.29 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Sistema solar térmico) .....	101
Tabela 9.30 - Período de Referência (Sistema solar térmico).....	101
Tabela 9.31 - Registo da ocupação no Período de Referência (Sistema solar térmico)	102
Tabela 9.32 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Sistema solar térmico) .....	102
Tabela 9.33 - Período de Referência (Sistema solar térmico).....	102
Tabela 9.34 - Registo da ocupação no Período de Reporte (Sistema solar térmico) ....	103
Tabela 9.35 - Base para o Ajuste 1 (Sistema solar térmico) .....	103
Tabela 9.36 - Ajuste 1 (Sistema solar térmico).....	103
Tabela 9.37 - Base para o Ajuste 2 (Sistema solar térmico) .....	104
Tabela 9.38 - Ajuste 2 (Sistema solar térmico).....	104
Tabela 9.39 - Base para o Ajuste 3 (Sistema solar térmico) .....	104
Tabela 9.40 - Ajuste 3 (Sistema solar térmico).....	104
Tabela 9.41 - Período de Referência Ajustado (Sistema solar térmico) .....	105
Tabela 9.42 - Poupanças (Sistema solar térmico) .....	105
Tabela 9.43 - Cenário de Referência na candidatura (Iluminação).....	106
Tabela 9.44 - Cenário de Reporte na candidatura (Iluminação) .....	107
Tabela 9.45 - Poupanças previstas na candidatura (Iluminação) .....	107
Tabela 9.46 - Período de Referência (Iluminação) .....	108
Tabela 9.47 - Medição instantânea 1 (Iluminação) .....	108
Tabela 9.48 - Medição instantânea 2 (Iluminação) .....	108
Tabela 9.49 - Medição instantânea 3 (Iluminação) .....	108
Tabela 9.50 - Medição instantânea 4 (Iluminação) .....	109
Tabela 9.51 - Período de Reporte (Iluminação) .....	109
Tabela 9.52 - Poupanças (Iluminação).....	109
Tabela 9.53 - Cenário de Referência na candidatura (Sistema de bombagem).....	111
Tabela 9.54 - Cenário de Reporte na candidatura (Sistema de bombagem) .....	111
Tabela 9.55 - Poupanças previstas na candidatura (Sistema de bombagem) .....	112
Tabela 9.56 - Cenário de Referência corrigido (Sistema de bombagem).....	112
Tabela 9.57 - Período de Referência (Sistema de bombagem) .....	112
Tabela 9.58 - Medição instantânea 1 (Sistema de bombagem).....	113

Tabela 9.59 - Medição instantânea 2 (Sistema de bombagem).....	113
Tabela 9.60 - Medição semanal (Sistema de bombagem).....	114
Tabela 9.61 - Período de Reporte (Sistema de bombagem) .....	115
Tabela 9.62 - Base para o Ajuste 1 (Sistema de bombagem).....	115
Tabela 9.63 - Ajuste 1 (Sistema de bombagem) .....	115
Tabela 9.64 - Base para o Ajuste 2 (Sistema de bombagem).....	115
Tabela 9.65 - Ajuste 2 (Sistema de bombagem) .....	116
Tabela 9.66 - Poupanças (Sistema de bombagem).....	116

## ACRÓNIMOS

ACEEE - American Council for an Energy-Efficient Economy

ADENE - Agência para a Energia

AQS - Águas quentes sanitárias

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers

AVAC - Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CFL - Compact Fluorescent Lamps

CGEE - Contratos de Gestão de Eficiência Energética

DETREE - Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DOE - Department of Energy

ECO.AP - Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

EEO - Energy Efficiency Office

ESE - Empresas de Serviços Energéticos

EVO - Efficiency Valuation Organization

FEE - Fundo de Eficiência Energética

GEE - Gases de Efeito Estufa

IEA - International Energy Agency

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPMVP - International Performance, Measurement and Verification Protocol

LED - Light-Emitting Diode

M&V - Medição e Verificação

MMEE - Medidas de Melhoria da Eficiência Energética

NPS - National Pack Service

OCDE - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

SEDAC - Smart Energy Design Assistance Center

US - Estados Unidos

## RESUMO

Os edifícios, sejam de habitação ou de serviços, devem proporcionar aos utentes, entre outras, condições de conforto térmico e boa qualidade do ar interior. Esta situação é ainda mais sensível nos complexos desportivos com piscinas interiores, onde para garantir estes requisitos são necessários sistemas mais complexos e com maior consumo de energia.

Por vezes, estes edifícios são objeto de intervenções que aportam uma melhoria na eficiência energética da edificação, e conseqüentemente, uma poupança económica. Pretende-se então realizar uma análise aprofundada das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas no complexo desportivo das Piscinas Municipais de Silves, um concelho do barlavento algarvio (Portugal).

Para poder completar esta análise vai ser utilizado o *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP)*. Este protocolo, criado há mais de 25 anos, disponibiliza uma série de ferramentas que permitem quantificar os resultados de projetos e programas de eficiência energética.

Os resultados obtidos através do estudo realizado no complexo desportivo confirmaram as poupanças previstas, tendo sido minorados os consumos da edificação em 498.303 kWh, isto é, uma diminuição de 39% em relação aos valores prévios à intervenção. Na avaliação individual de cada uma das medidas de melhoria da eficiência energética, os resultados, no geral, também são positivos. A *performance* do sistema solar fotovoltaico e a iluminação LED cumpriram com as previsões dos estudos prévios, quanto que o sistema solar térmico superou as expectativas definidas. A única medida de melhoria da eficiência energética que, embora tenha conseguido uma poupança energética, não tem conseguido atingir os valores das previsões foi a substituição do sistema de bombagem.

**Palavras-chave:** *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP) / Piscina / Consumos de energia / Eficiência energética / Gestão energética / Poupança energética.*

## ABSTRACT

Buildings, whether for housing or for services, must provide users, among other things, thermal comfort and good indoor air quality. This situation is even more sensitive in sports complexes with indoor swimming pools, where to guarantee these requirements more complex systems with larger energy consumption are needed.

Sometimes, these buildings are subject to interventions that improve the energy efficiency of their facilities, and consequently, generate economic savings. The aim is therefore to carry out an in-depth analysis of the energy efficiency improvement measures applied in a complex of municipal swimming pools located in Silves, on the western part of Algarve (Portugal).

In order to make this analysis, the International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP) will be used. This protocol, created over 25 years ago, allow to quantify the results of energy efficiency projects and programs through different tools.

The results obtained through the study carried out in the sports complex confirmed the expected savings, with the building's consumption having been reduced by 498,303 kWh, that is, a decrease of 39% in relation to the previous values. In the individual evaluation of each of the energy efficiency improvement measures, the results, in general, are also positive. The performance of the photovoltaic solar system and LED lighting are in line with the predictions, while the solar thermal system exceeded the expectations. The only measure to improve energy efficiency that, although it has achieved energy savings, hasn't managed to reach the forecast values, was the replacement of the pumping system.

**Key-words:** *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP) / Swimming Pool / Energy consumptions / Energy efficiency / Energy management / Energy savings.*

# 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado no âmbito da Dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica: Energia, Climatização e Refrigeração da Universidade do Algarve. Sendo a “Avaliação Ex-Post das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas num complexo de Piscinas Municipais” o tema da Dissertação.

Alcançar a Neutralidade Carbónica, é o objetivo que as últimas políticas ambientais procedentes dos órgãos governamentais europeus têm fixadas para as próximas décadas. Este ambicioso compromisso foi levado aos países da Zona Euro que, seguindo as diretrizes fixadas, terão de apostar pela eficiência energética. É por isto que, países como Portugal, investem em programas e políticas que impulsionam a adoção deste conceito.

Mas torna-se complexo promover investimentos sem que possam ser avaliadas verazmente as poupanças energéticas obtidas através de medidas de melhoria da eficiência energética. É aí onde os processos de Medição e Verificação estão-se a impor. Usar métodos de Medição e Verificação como o *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP)* consegue fornecer provas da eficácia das medidas de melhoria implementadas.

Neste âmbito, a aplicação de ferramentas de Medição e Verificação como o IPMVP, vai decorrer esta Dissertação de Mestrado.

O presente trabalho tem como objetivo principal a Medição e Verificação da eficácia das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas nas Piscinas Municipais de Silves. Por outro lado, o trabalho também tem os objetivos específicos de caracterizar os consumos energéticos da edificação, analisar individualmente as medidas de melhoria implementadas, criar Planos de Medição e Verificação para avaliar as medidas de melhoria implementadas e elaborar Relatórios Demonstrativos de Poupança das medidas de melhoria implementadas.

O estudo teve como base bibliográfica diversas publicações elaboradas pela *Efficiency Valuation Organization (EVO)* e foi complementada com artigos científicos, teses e livros consultados em bases de dados digitais como *Science Direct*. Paralelamente, também foram consultadas várias publicações efetuadas no Diário da República e na Comissão Europeia ligadas ao tema da Dissertação.

O documento está organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo é feita uma introdução onde o tema é enquadrado, no segundo capítulo são definidos os objetivos da Dissertação, no terceiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica onde são estudados os pontos principais do Estado da Arte, no quarto capítulo é feita a caracterização do imóvel, no quinto capítulo são definidos os principais consumos energéticos da edificação, no sexto capítulo são apresentadas as medidas de melhoria da eficiência energética implementadas no complexo desportivo, no sétimo capítulo é realizado um apanhado do *International Performance, Measurement and Verification Protocol* (IPMVP), no oitavo capítulo são definidos os diferentes Planos de Medição e Verificação para avaliar as medidas de melhoria implementadas e no nono são apresentados os Relatórios Demonstrativos de Poupança resultantes da avaliação das medidas de melhoria. No decimo capítulo são expostas as conclusões do estudo realizado e, finalmente, as referências bibliográficas e os anexos que incluem dados de interesse, desenvolvimento de cálculos ou imagens relevantes para a Dissertação.

## 2. OBJETIVOS

No complexo desportivo das Piscinas Municipais de Silves, um concelho do barlavento algarvio (Portugal), e ao abrigo de Programas de melhora da eficiência energética em edifícios da Administração Pública, foram executadas diversas intervenções com a finalidade de reduzir os consumos energéticos da edificação.

As medidas de melhoria da eficiência energética foram sugeridas após a auditoria de desempenho energético realizada no edifício. O relatório emitido, além de sugerir as medidas de melhoria implementadas, estimava o período de retorno (ou *payback*) do investimento que teria de ser feito.

Baseando-se nestes acontecimentos, o objetivo principal desta Dissertação é a Medição e Verificação da eficácia das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas, sendo a ferramenta principal deste processo o *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP)*.

Para além do objetivo principal anteriormente descrito, a Dissertação tem como objetivos específicos:

- Caracterização dos consumos energéticos da edificação.
- Análise das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas.
- Criação de Planos de Medição e Verificação para a posterior avaliação das medidas de melhoria.
- Elaboração de Relatórios Demonstrativos de Poupança que evidenciem a eficácia das medidas de melhoria.
- Discussão dos resultados obtidos.

### **3. ESTADO DA ARTE**

Neste terceiro capítulo vão ser abordados de forma pormenorizada os principais pontos do Estado da Arte que afetam ou podem afetar o decorrer da Dissertação. Em primeiro lugar é tratado o conceito de Eficiência Energética, a seguir, o processo de Medição e Verificação (M&V), que dá passo a terceira secção, o *International Performance, Measurement and Verification Protocol* (IPMVP). Na quarta secção é feita uma apresentação dos complexos desportivos com piscinas interiores, e para finalizar, um resumo da legislação europeia e nacional.

#### **3.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

##### **3.1.1. O que é a Eficiência Energética?**

A Eficiência Energética, vulgarmente chamada “Poupança Energética”, é simplesmente a utilização da energia de forma mais eficiente [4]. O objetivo principal da Eficiência Energética é diminuir a quantidade de energia envolvida num determinado processo sem que o resultado final deste seja modificado.

A forma mais simples de aplicação da Eficiência Energética e, possivelmente, as lâmpadas de LED's. Atualmente, as lâmpadas de incandescência têm vindo a ser substituídas por lâmpadas de LED's, que conseguem produzir uma correta iluminação com um menor consumo energético.

##### **3.1.2. Vantagens**

As vantagens da aplicação de Medidas de Melhoria da Eficiência Energética (MMEE) são numerosas. De seguida são brevemente apresentadas brevemente algumas delas.

###### **3.1.2.1. Redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE)**

Designa-se Gases de Efeito Estufa (GEE) a todos os gases que têm a capacidade de absorver e emitir radiações no espectro dos infravermelhos. A representação da Figura 3.1 mostra de forma gráfica o processo que provoca um excesso deste tipo de gases na atmosfera terrestre [29].

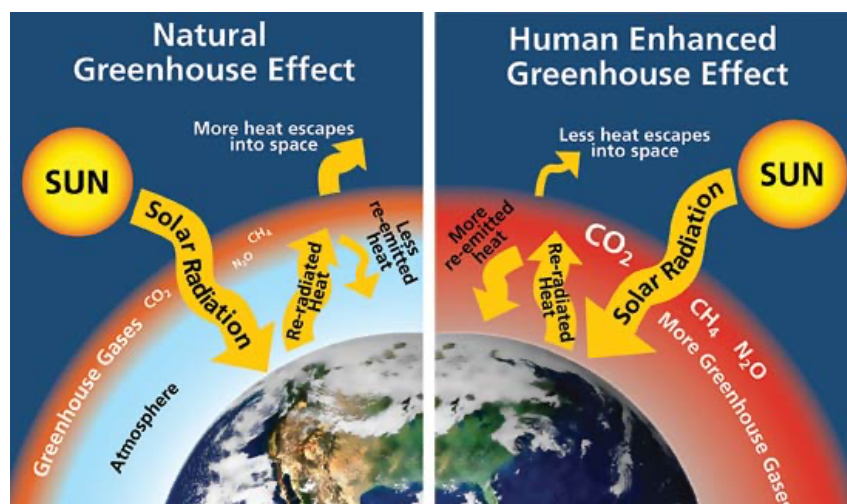


Figura 3.1 - Efeito Estufa - Explicação gráfica (Fonte: NPS [25])

São considerados GEE o Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), os Clorofluorcarbonetos (CFC), o Metano ( $\text{CH}_4$ ), os Óxidos de Nitrogénio ( $\text{N}_x\text{O}$ ) e Enxofre ( $\text{S}_x\text{O}$ ) e o Ozono ( $\text{O}_3$ ).

### 3.1.2.2. Redução da Dependência Energética

Um dos grandes pontos fracos da Europa sempre foi, essencialmente, a falta de recursos energéticos, petróleo e gás natural, principalmente. Dados do último relatório do Eurostat confirmam que, mais de 55% da energia bruta disponível na Europa teve de ser importada de países de fora da União Europeia [16].

Esta situação não seria tao preocupante se não fosse porque geralmente os principais países exportadores são estados com uma patente instabilidade política. Na atualidade, Argélia ou Rússia, dois dos principais fornecedores de energia bruta da Europa, conseguem facilmente subjugar-lha [16].

Isto, em conjunto com decisões de alguns países como Espanha e Alemanha de fechar outras fontes de produção de energia como as centrais nucleares, agravam ainda mais a situação.

### 3.1.2.3. Outras

Proveniente das políticas de Eficiência Energética, uma vantagem bastante obvia é a poupança económica dos utentes, sejam particulares, empresas ou a Administração Pública, derivada de um menor gasto energético.

Por outra parte, criar Políticas de Eficiência Energética também influencia de forma positiva o desenvolvimento de um país. Além de propiciar a criação de numerosos postos

de trabalho, permite à nação desenvolver processos e/ou tecnologia que possibilitam o contínuo avanço nesta missão.

### 3.1.3. International Energy Agency (IEA)

Um dos principais impulsionadores da Eficiência Energética ao nível internacional tem sido a International Energy Agency (IEA). Esta entidade foi criada em 1974 pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico (OCDE) depois da crise do petróleo de 1973 [22].

Atualmente, a IEA conta com 30 países membros e tem sua sede principal em Paris (França)

O objetivo inicial da IEA era a coordenação para garantir o abastecimento de petróleo, principalmente em situações de emergência, com a finalidade de manter o desenvolvimento económico dos seus países membros. Atualmente, a finalidade desta organização tem mudado ligeiramente, sendo a responsável pelos três pontos mais relevantes das políticas energéticas [23]:

- Segurança energética;
- Desenvolvimento económico;
- Proteção do Meio Ambiente.

A IEA também defende que o caminho para atingir o objetivo da Neutralidade Carbónica até o ano 2050 na Zona Euro, passa de forma inevitável pelo investimento em Eficiência Energética e Energias Renováveis [17].

## **3.2. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO (M&V)**

### 3.2.1. Visão geral

O objetivo principal da Medição e Verificação (M&V) é determinar uma poupança de energia, água e outros custos evitados, como resultado da aplicação de MMEE [17]. Ou seja, o processo de M&V fornece provas da eficácia da implementação duma MMEE.

### 3.2.2. Princípios e Propósitos gerais de M&V

Espera-se de todo o processo de M&V que seja completo, no relatório da poupança de uma MMEE; conservador, quando existam incertezas ligadas diretamente à poupança; consistente, na elaboração do relatório que documenta as provas da eficácia da MMEE; preciso, mas em relação ao abrangente da MMEE; relevante, a determinação da poupança

deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes ou menos conhecidos; e transparente, quanto que todas as atividades devem ser completamente divulgadas [13].

A M&V persegue como numerosos objetivos, todos eles focados de alguma maneira no incremento da poupança energética. Aumentar a reputação das MMEE permitirá que continuem a ser realizados novos investimentos em projetos de eficiência, o que será favorável ao nível de engenharia e manutenção de instalações. De forma paralela, os processos de M&V ajudam à compreensão pública da gestão da energia e, assim, ao desenvolvimento de capacidades para uma melhor gestão dos orçamentos de energia [13].

### 3.2.3. Uniformização da M&V

As principais guias para processos de M&V são o *International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP)* e o *ASHRAE Guideline 14, Measurement of Energy Demand and Water Savings*. Embora existam outras com um menor alcance [32].

- International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP).

Em março de 1996, o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos (US), publicou a primeira edição do International Performance, Measurement and Verification Protocol (IPMVP). No ano 2002, o DOE foi libertado da sua responsabilidade e o IPMVP passou ao abrigo da Efficiency Valuation Organization (EVO) que continuou a desenvolver este protocolo até a atualidade. Sendo a EVO a única organização mundial sem fins lucrativos, apenas dedicada à criação de ferramentas para quantificar o resultado de projetos e programas de Eficiência Energética [13].

O IPMVP é um protocolo que aporta o enquadramento e define a terminologia usados na determinação da poupança depois duma intervenção. O IPMVP também especifica os tópicos a serem abordados num Plano de M&V, ao mesmo tempo que permite alguma flexibilidade na criação destes [13].

- ASHRAE Guideline 14 - Measurement of Energy Demand and Water Savings.

A American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) tem a *ASHRAE Guideline 14 - Measurement of Energy Demand and Water*

*Savings*. Esta *guideline* foi editada pela primeira vez no ano 2002, sendo publicada a última versão em 2014 [5].

Como o IPMVP, a ASHRAE Guideline 14 disponibiliza diferentes abordagens para o cálculo da poupança depois duma intervenção. ASHRAE Guideline 14 diferencia-se do IPMVP, pois a ASHRAE Guideline 14 só aborda o processo de M&V desde três possíveis opções, contrariamente as quatro do IPMVP [32].

### 3.3. INTERNATIONAL PERFORMANCE, MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL (IPMVP)

#### 3.3.1. Relação entre M&V e o IPMVP

O processo de M&V compreende a utilização de medições para determinar de forma fiável a poupança real obtida após a aplicação de uma MMEE [17].

A título de exemplo, na Figura 3.2 mostrada a seguir, pode ser observada a evolução do consumo de energia duma instalação antes e depois da aplicação de uma MMEE.

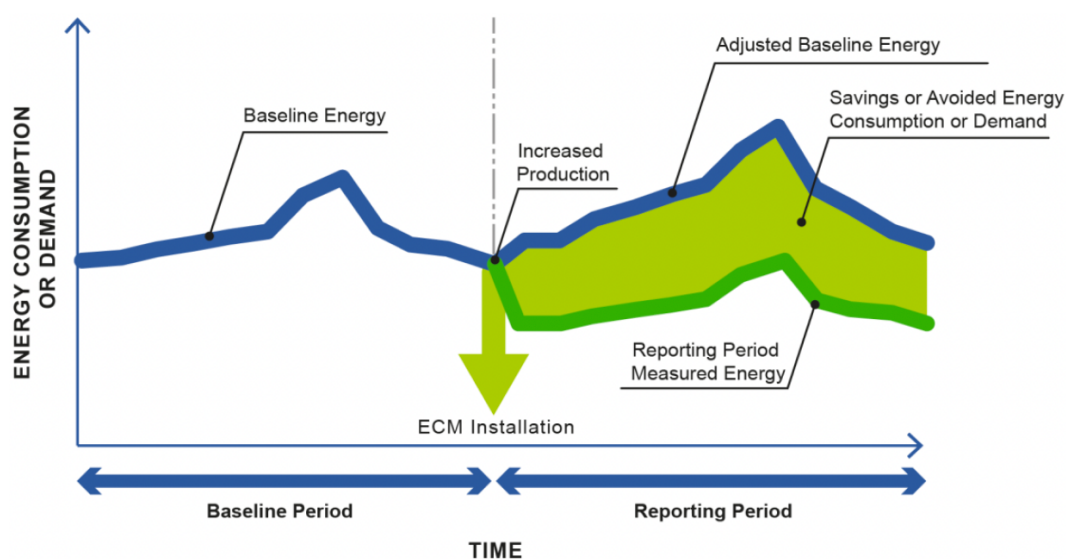


Figura 3.2 - Gráfico do processo de M&V (Fonte: IPMVP [14])

A figura mostra o consumo energético no Período de Referência (*Baseline Period*) e o consumo energético medido no Período de Reporte (*Reporting Period*) após a implementação de uma MMEE (*ECM Installation*).

A dificuldade do processo de M&V reside na impossibilidade de medir de forma direta a poupança, já que esta representa a ausência de um consumo de energia [14]. É neste ponto onde os protocolos de M&V, como o IPMVP, têm um papel-chave porque

apresentam o enquadramento e definem a terminologia usados na determinação da poupança depois duma intervenção.

### 3.3.2. Obtenção da poupança

A poupança tem de ser determinada através da comparação do consumo energético antes e depois da implementação da MMEE. Na sequência deste cálculo, é importante destacar que é sempre necessário aplicar ligeiros ajustes de acordo com as condições iniciais.

#### 3.3.2.1. Equação base do IPMVP

Traduzido numa linguagem matemática, o cálculo das poupanças é feito seguindo a equação da Figura 3.3:

$$\text{Poupanças} = (\text{Cons. Período Referência} - \text{Cons. Período Reporte}) \pm \text{Ajustes}$$

**Figura 3.3 - Equação base do IPMVP (Fonte: IPMVP [14])**

Esta poupança pode ser referida a unidades de energia (kWh, por exemplo) ou unidades monetárias (€, por exemplo), mas na maior parte das ocasiões o interesse reside em saber qual teria sido o valor das faturas se não tivesse sido implantada nenhuma MMEE, isto é, os custos evitados [13].

No entanto, e como foi apresentado previamente, a obtenção das poupanças não é tão simples como fazer a comparação dos consumos nos chamados Período de Referência e Período de Reporte. Para obter as poupanças derivadas da aplicação duma MMEE é necessário aplicar ajustes, e estes ajustes serão mais ou menos complexos dependendo de fatores como: o clima, os custos da energia ou a ocupação, entre outros.

#### 3.3.2.2. Ajustes

Os ajustes têm de ser obtidos a partir de factos físicos identificáveis sobre as características que influenciam o consumo de energia das equipas dentro dos limites de medida. O IPMVP identifica dois tipos de ajustes [14]:

- Ajustes Rotineiros:

Usados para qualquer parâmetro que influencie o consumo de energia e que é espectável que mude de forma habitual durante o Período de Reporte. Por exemplo, o clima ou o nível de produção.

- Ajustes Não-Rotineiros:

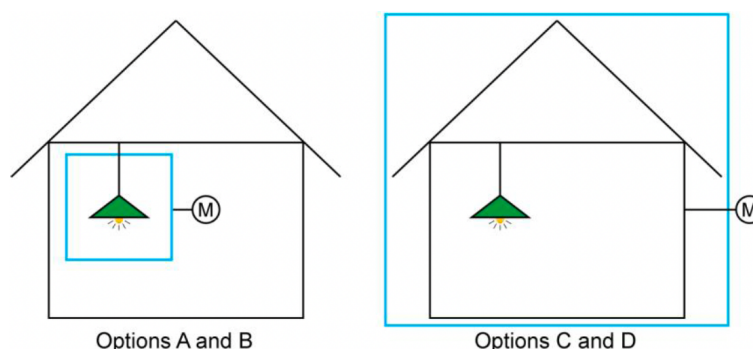
Usados para parâmetros que influenciam o consumo de energia e que não é espectável que mudem. Por exemplo, o tamanho da instalação ou o tipo de ocupantes.

Os ajustes são usados para modificar os dados da energia consumida no Período de Referência com o único objetivo de tentar refletir as mesmas condições que os dados medidos depois da implementação da MMEE.

### 3.3.3. Opções do IPMVP.

O IPMVP disponibiliza até quatro opções diferentes para desenvolver e implementar processos de M&V [13]. Estas opções, que serão tratadas a seguir, estão fortemente influenciadas pelo designado conceito de “Fronteira”.

A chamada “Fronteira” é apenas o limite de medida e vai depender do abrangente que seja a MMEE. Na figura a seguir é exposto graficamente este conceito.



**Figura 3.4 - Representação gráfica do conceito de “Fronteira” (Fonte: US DOE FEMP [32])**

Nas subsecções seguintes vão ser desenvolvidas as diferentes opções de M&V que disponibiliza o IPMVP [14].

- Opção A. Medição isolada da MMEE - Medição do parâmetro chave:

A Opção A determina a poupança medindo na instalação o parâmetro chave que determina o consumo de energia do sistema onde foi implementada a MMEE. A medição pode ser realizada de forma continuada ou pontual, dependendo da variação que for esperada do parâmetro a medir e da duração do Período de Reporte.

Nesta opção será necessária a estimativa de um outro parâmetro que não foi selecionado para ser medido na instalação. A estimação pode ser feita baseando-se em dados históricos, especificações do fabricante ou pressupostos técnicos, sendo

necessário dispor da documentação que foi utilizada como fonte ou justificção do parâmetro estimado.

O erro (admissível) obtido no cálculo da poupança de energia, naturalmente vai ser derivado das estimativas feitas.

Uma aplicação comum desta Opção A é numa MMEE em iluminação, onde a potência é o parâmetro chave medido de maneira periódica e são estimadas as horas de funcionamento dos pontos de luz baseando-se nas horas de funcionamento do edifício [15].

- Opção B. Medição isolada da MMEE - Medição de todos os parâmetros:

A Opção B determina a poupança medindo na instalação o consumo de energia do sistema onde foi implantada a MMEE.

Como acontecia com a Opção A, a medição pode ser realizada de forma continuada ou pontual, em função da variação esperada da poupança e da duração do Período de Reporte.

Uma aplicação comum desta Opção B é a instalação de um variador de frequência num motor para regular o caudal fornecido por uma bomba, onde a potência (em kW) seria medida com um equipamento instalado no próprio motor que faz leituras a cada minuto. Este equipamento seria instalado durante uma semana, por exemplo, durante o Período de Referência para verificar a carga de trabalho do motor. A fim de fazer um seguimento da variação de potência da bomba, o equipamento de medição ainda continuará instalado durante o Período de Reporte [15].

- Opção C. Verificação de toda a instalação:

A Opção C determina a poupança medindo o consumo de energia de toda a instalação, ou duma parte dela.

A medição da totalidade do consumo de energia da instalação é feita de forma continuada durante todo o Período de Reporte.

Uma aplicação comum desta Opção C é em projetos de Eficiência Energética nos que as MMEE implementadas afetem diversos equipamentos da instalação, onde a medição do consumo de energia elétrica, de combustíveis ou de água dos

equipamentos é feita durante um Período de Referência de 12 meses e durante o Período de Reporte [15].

- Opção D. Simulação Calibrada:

A Opção D determina a poupança através duma simulação do consumo de energia de toda a instalação, ou duma parte dela.

A simulação tem de ser capaz de modelar o desempenho energético atual da instalação. De todas as opções que disponibiliza o IPMVP, a Opção D é a mais complexa de realizar porque envolve simulações calibradas e requer uma vasta experiência nesse âmbito.

Uma aplicação comum desta Opção D é em projetos de Eficiência Energética nos que as MMEE implementadas, além de afetar a diversos equipamentos da instalação, não existem medições. Nesta circunstância, são instalados equipamentos de medição durante o Período de Referência, sendo as suas medições utilizadas para a calibração da simulação. Finalmente, será feita a comparação entre as simulações do Período de Referência e do Período de Reporte [15].

Como já foi exposto anteriormente, o IPMVP apresenta um enquadramento e define a terminologia usados na determinação da poupança após a implementação de uma MMEE, mas como é natural, a aplicação de uma ou outra opção depende das considerações do utilizador e dos objetivos do estudo de M&V da MMEE.

### **3.4. PISCINAS**

#### **3.4.1. Visão geral**

Os complexos desportivos com piscinas interiores são espaços que, com a finalidade de garantir aos seus utentes as condições apropriadas de conforto térmico e qualidade do ar interior, entre outras, são caracterizados por terem necessidades energéticas sensivelmente diferentes de outros tipos de edifícios. Por tanto, não é possível estabelecer uma comparação direta com outro tipo de edificações, sejam de serviços ou de habitação.

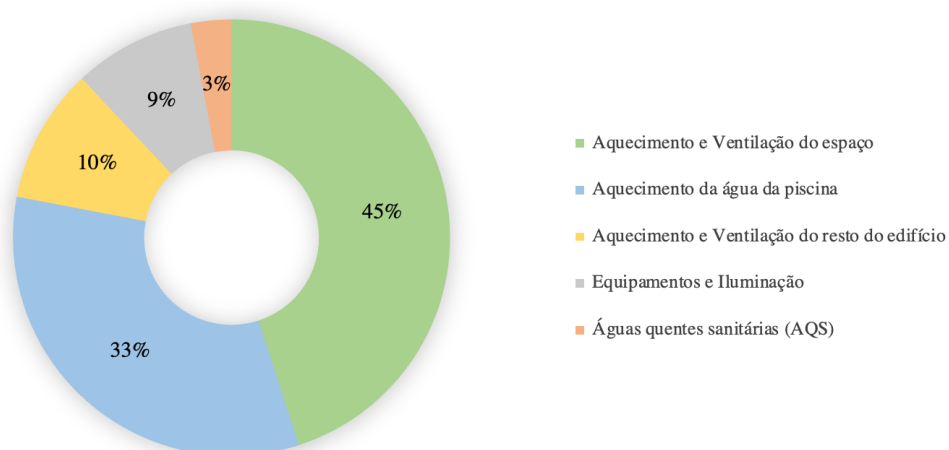
Outra característica interessante deste tipo de edifício é que os consumos energéticos têm uma forte dependência de aspetos como o tipo de construção, a localização geográfica, a época do ano e o horário de funcionamento.

Para além de sistemas vulgares como a iluminação, há outros mais complexos como os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), os sistemas de aquecimento de água e as bombas de circulação de água para os vasos das piscinas. A totalidade destes sistemas está comumente alimentada por caldeiras a gás e eletricidade.

### 3.4.2. Consumos energéticos

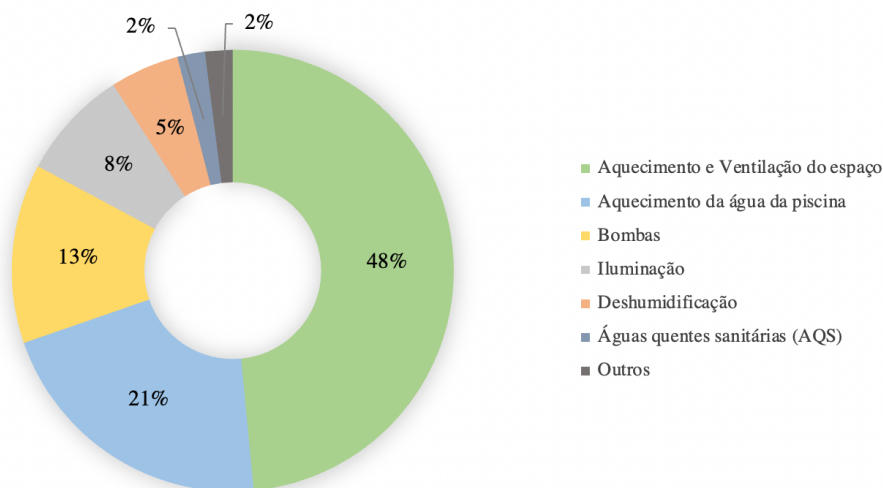
Em relação aos consumos energéticos e a sua distribuição neste tipo de complexos desportivos, há várias publicações e organizações que abordam o assunto.

Uma publicação da Energy Efficiency Office (EEO) de 1988 citada por Trianti-Stourna *et al.* [31] apresenta uma distribuição percentual dos consumos energéticos de: 45% para aquecimento e ventilação do espaço, 33% para aquecimento da água da piscina, 10% para sistemas de aquecimento e ventilação do resto do edifício, 9% para equipamentos e iluminação e 3% para águas quentes sanitárias (AQS) (Ver Figura 3.5).



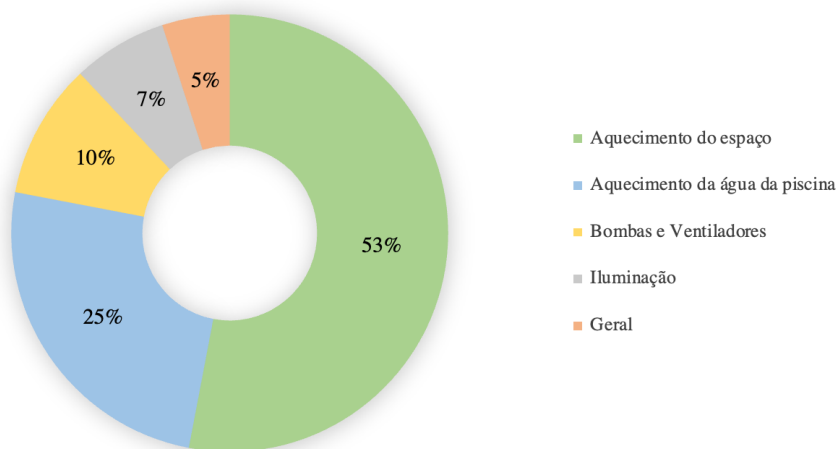
**Figura 3.5 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 1 (Adaptação de [3])**

Por outra parte, uma publicação da Smart Energy Design Assistance Center (SEDAC) de 2012 citada por Almeida [3] apresenta uma distribuição percentual dos consumos energéticos de: 48% para aquecimento e ventilação do espaço, 21% para aquecimento da água da piscina, 13% para sistemas de bombagem, 8% para iluminação, 5% para sistemas de desumidificação, 2% para águas quentes sanitárias e 2% para outros sistemas (Ver Figura 3.6).



**Figura 3.6 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 2 (Adaptação de [3])**

E finalmente, noutra publicação do Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency (DETREE) de 2013 citada por Almeida [3] e Apolinário [6], é apresentada uma distribuição percentual dos consumos energéticos de: 53% para aquecimento do espaço, 25% para aquecimento da água da piscina, 10% para bombas e ventiladores, 7% para iluminação e 5% para outros sistemas (Ver Figura 3.7).



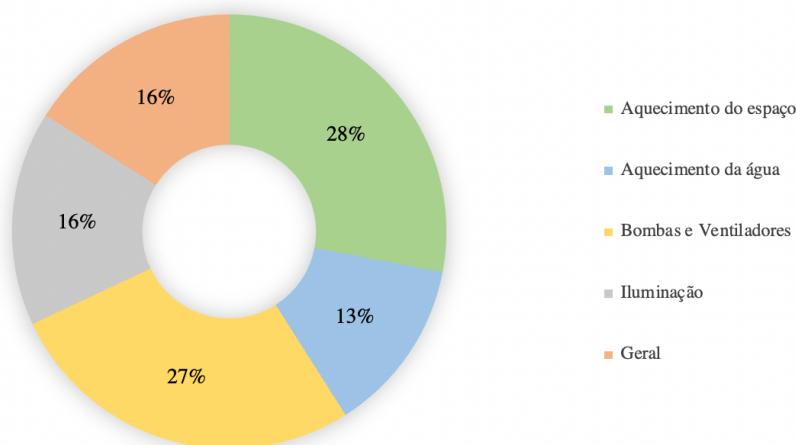
**Figura 3.7 - Distribuição percentual dos consumos médios de energia em complexos desportivos com piscinas interiores 3 (Adaptação de [3])**

### 3.4.3. Custos

Em relação aos custos associados aos consumos energéticos e sua distribuição neste tipo de complexos desportivos, algumas das publicações anteriormente mencionadas também fazem referência a eles.

Na publicação do Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency (DETREE) de 2013 citada por Almeida [3] e Apolinário [6], é

apresentada uma distribuição percentual dos custos energéticos de: 28% para aquecimento do espaço, 13% para aquecimento da água, 27% para bombas e ventiladores, 16% para iluminação e 16% para outros sistemas (Ver Figura 3.8).



**Figura 3.8 - Distribuição percentual dos custos médios da energia em complexos desportivos com piscinas interiores 1 (Adaptação de [3])**

### **3.5. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

#### **3.5.1. Enquadramento legislativo**

A 5 de Abril de 2006, é aprovada no Parlamento Europeu a Diretiva 2006/32/CE relativa á eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta diretiva estabeleceu a obrigação de publicar um Plano de Ação para a Eficiência Energética aos Estados-Membros. Na sequência desta diretiva, a 20 de maio de 2008, a Resolução de Conselho de Ministros N°80/2008 aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).

A 20 de maio de 2010, com o Decreto-Lei N°50/2010 é criado o Fundo de Eficiência Energética (FEE) previsto no PNAEE. A 12 de janeiro de 2011, com a Resolução de Conselho de Ministros N°2/2011 é aprovado o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP).

A 25 de outubro de 2012, é aprovada no Parlamento Europeu a Diretiva 2012/27/EU que revoga a anterior (Diretiva 2006/32/CE) e insta aos Estados-Membros a acelerar no acolhimento da Eficiência Energética e marca novos objetivos até o ano 2020.

A 10 de abril de 2013, a Resolução de Conselho de Ministros N°20/2013 aprova um novo Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). A 31 de

dezembro de 2014, a Lei N°82-D/2014, marca um adiamento para o Decreto-Lei N°50/2010 ligado ao Fundo de Eficiência Energética (FEE).

### 3.5.2. Programas de Eficiência Energética na Administração Pública

O Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP 2020) foi aprovado a 12 de janeiro de 2011 através da Resolução do Conselho de Ministros N°2/2011. O Eco.AP 2020 tinha como objetivo principal alcançar um nível de Eficiência Energética de 30% nos serviços e organismos da Administração Pública até 2020 [27].

A Resolução do Conselho de Ministros N°2/2011 estabeleceu que esta eficiência ia ser atingida sem aumento da despesa pública, permitindo ao mesmo tempo o estímulo da economia. O que esta resolução propôs foi a criação das denominadas Empresas de Serviços Energéticos (ESE) através do desenvolvimento de um enquadramento legal para a celebração de Contratos de Gestão de Eficiência Energética (CGEE) [27]. Todo este enquadramento legal foi detalhado no Decreto-Lei N°29/2011 publicado no Diário da República Portuguesa a 28 de fevereiro de 2011.

A 24 de novembro de 2020, a Resolução do Conselho de Ministros N°104/2020, aprovava o novo Programa de Eficiência de Recursos na Administração Pública (ECO.AP 2030) para o período até 2030.

O ECO.AP 2030 apresenta como metas para o Estado [28]:

- Reduzir em 40% os consumos de energia primária.
- Contribuir para que 10% do consumo de energia seja assegurado por soluções de autoconsumo com origem em fontes de energia renovável.
- Reduzir em 20% o consumo de água.
- Reduzir materiais em 20%.
- Alcançar 5% de taxa de renovação energética e hídrica dos edifícios abrangidos pelo ECO.AP 2030.

Finalmente, a 15 de junho de 2021, a fim de dar continuidade às políticas de Eficiência Energética, o Decreto-Lei N°50/2021 simplificou o regime jurídico dos CGEE a celebrar entre o Estado e as ESE.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DO IMÓVEL

No presente capítulo vai ser caracterizado o complexo desportivo objeto de estudo desta Dissertação.

Para além de uma breve apresentação, vão ser disponibilizados alguns dados de interesse relativos aos níveis de ocupação e os variados sistemas existentes no edifício antes de ter sido implementadas as MMEE.

### 4.1. BREVE APRESENTAÇÃO

O objeto deste estudo são as Piscinas Municipais de Silves (Figura 4.1). Este complexo desportivo está em funcionamento desde 2003, servindo uma população de aproximadamente 37.500 habitantes e, desde há tempos, instalação desportiva de referência no concelho.



**Figura 4.1 - Piscinas Municipais de Silves (Fonte: Município de Silves [9])**

O complexo é constituído por:

- Três Piscinas Cobertas - Desportiva (25x16,7 m), Aprendizagem (16,7x8 m) e Chapinheiro (\*) (8x8 m);
- Três Balneários;

---

(\*) No fim de setembro de 2019, apoiado pelo período habitual de encerramento do complexo no mês de agosto, foi concluída uma nova intervenção no complexo desportivo. Isto é, a área destinada ao Chapinheiro, um elemento pouco frequentado pelos utilizadores, foi aproveitada para a realocação e ampliação do Ginásio. Sendo criada a Sala de Fitness no antigo espaço do Ginásio.

- Três Balneários;
- Banho Turco e Sauna;
- Jacuzzi;
- Ginásio (\*) e Sala de Fitness;
- Enfermaria;
- Bar;
- Salas e Gabinetes.

O edifício é composto por dois pisos acima do solo e um piso inferior, tendo uma superfície total de pavimento de 4.642,07 m<sup>2</sup>, dos quais 3.542,69 m<sup>2</sup> são considerados área de zonas térmicas e 1.139,38 m<sup>2</sup> de área de zonas complementares.

A edificação, situada na periferia de uma zona urbana, está integrada nas zonas climáticas II-V3, a uma altitude de 6 m e a uma distância do litoral de mais de 5 km (10,36 km). O complexo desportivo tem as fachadas nas orientações Norte, Sul, Este e Oeste, existindo obstáculos que provocam algum sombreamento no edifício.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO

A Tabela 4.1 resume o número de utilizadores mensais do complexo desportivo entre janeiro de 2016 e junho de 2022.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Média
2016	1.636	6.626	7.707	7.201	7.577	5.603	4.479	(F)	3.549	7.397	7.824	5.409	65.008	5.910
2017	8.457	7.671	9.987	6.983	8.151	6.544	5.292	(F)	5.142	8.068	8.983	6.016	81.294	7.390
2018	9.068	8.021	9.420	9.546	8.483	7.886	5.722	(F)	4.800	8.468	8.247	6.057	85.718	7.793
2019	9.925	10.113	8.969	9.005	9.171	7.039	5.997	(F)	(G)	6.072	8.171	4.775	79.237	7.924
2020	7.504	7.269	2.080	(CoVid)	(CoVid)	474	642	714	819	876	828	783	21.989	2.199
2021	549	(CoVid)	(CoVid)	681	1.044	2.530	2.211	2.097	2.635	5.214	4.336	4.119	25.416	2.542
2022	5.170	6.287	7.713	6.030	6.667	5.739	-	-	-	-	-	-	37.606	6.268

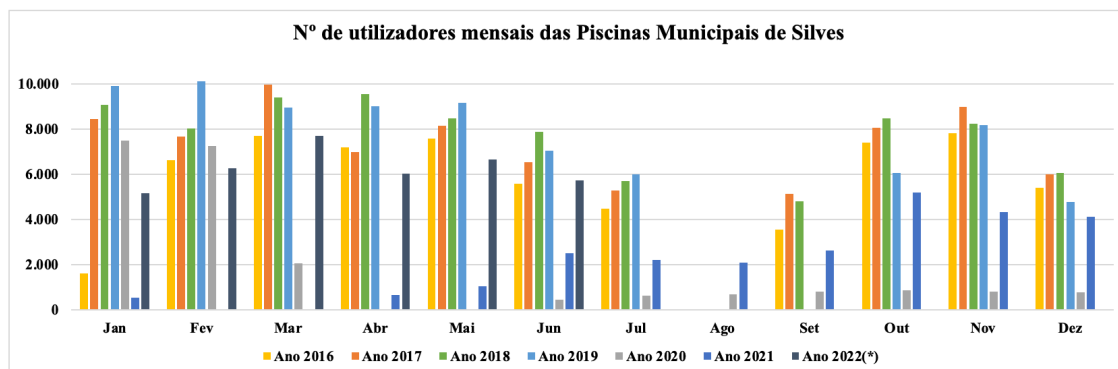


Tabela 4.1 - Número de utilizadores mensais (2016 até 2022)

Como pode ser observado na Tabela 4.1, o complexo desportivo permaneceu encerrado em diferentes ocasiões, nomeadamente:

- Meses de agosto de 2016, 2017, 2018 e 2019 para manutenção e férias.
- Mês de setembro de 2019 durante a construção do novo Ginásio.
- Meses de abril e maio de 2020 devido às restrições pandémicas da CoVid-19.
- Meses de fevereiro e março de 2021 devido às restrições pandémicas da CoVid-19.

Também é necessário destacar que, influenciado pela situação pandémica atual, os vasos das piscinas permaneceram encerrados de junho de 2020 até janeiro de 2021. Por tanto, os níveis de ocupação habitual só voltaram a partir do mês de abril de 2021.

Com base nestes dados fornecidos pelo gestor do complexo desportivo, foi estimada uma ocupação média diária de 300 pessoas, sendo 265 utilizadores e 35 colaboradores no ano 2016. Sendo este o ano de referência das medições dos consumos energéticos prévios à intervenção realizada no complexo desportivo.

É importante referir que este edifício tem esporadicamente ocupações muito elevadas, nomeadamente quando há eventos desportivos com interesse do público, em que enchem as bancadas. No entanto, devido ao seu carácter excecional, não são consideradas.

### **4.3. SISTEMA DE AVAC**

A caracterização do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) é realizada com base no levantamento efetuado no local, sendo complementado com dados retirados dos catálogos técnicos disponibilizados pelos fabricantes.

O sistema de AVAC do edifício é composto por unidades de diversos tipos que climatizam todas as zonas do edifício, com exceção das zonas complementares. A ventilação é feita através de um sistema mecânico, nomeadamente Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e ventiladores de insuflação e extração, e também de forma natural.

Sendo assim, o complexo desportivo dispõe de:

- Unidades de Desumidificação para a zona da nave.
- Unidades de Termoventilação (UTV) para os balneários.

- Unidades do tipo bomba de calor com sistema Volume Refrigerante Variável (VRV) para os escritórios e algumas zonas de circulação.
- Unidades do tipo bomba de calor para as zonas de ginásio e algumas salas.

A Tabela 4.2 apresenta as principais características dos equipamentos do sistema de AVAC:

<b>Equipamento</b>	<b>Características</b>
Unidades de Desumidificação (Quatro Unidades)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: CIAT</li> <li>• Modelo: PCP-165 2</li> <li>• Potência elétrica (kW): 17,5</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 27,2</li> <li>• Capacidade de desumidificação (kg/h): 35</li> <li>• Caudal máximo de ar novo (m<sup>3</sup>/h): 2.600</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 10.300</li> </ul>
Unidades de Termoventilação (Três Unidades)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: CIAT</li> <li>• Modelo: Climaciat Compact 50</li> <li>• Potências elétricas (kW): 0,55 / 0,75 / 2,20</li> <li>• Potências de aquecimento (kW): 28 / 34 / 47</li> <li>• Caudais máximos de ar insuflados (m<sup>3</sup>/h): 2.925 / 3.550 / 5.170</li> </ul>
Bomba de calor com sistema VRV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Haier</li> <li>• Modelo: MRV - AU96 NFTAHA</li> <li>• Potência elétrica (kW): 7,5</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 29,0</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 28,0</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 10.000</li> </ul>
Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Mitsubishi</li> <li>• Modelo: FDCA1001HES</li> <li>• Potência elétrica (kW): 6,7</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 28,0</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 25,0</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado em Aquecimento (m<sup>3</sup>/h): 10.800</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado em Arrefecimento (m<sup>3</sup>/h): 13.200</li> </ul>
Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Roca York</li> <li>• Modelo: BCI - 172/AVO - B</li> <li>• Potência elétrica (kW): 5,7</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 17,8</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 16,0</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 4.000</li> </ul>

Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Haier</li> <li>• Modelo: AU 36NAIBEA / AC 36NACBEA</li> <li>• Potência elétrica (kW): 5,5</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 10,5</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 12,0</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 6.000</li> </ul>
Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Daikin</li> <li>• Modelo: RX 535J2V1B / FTXS35J</li> <li>• Potência elétrica (kW): 1,46</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 5,2</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 4,0</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 684</li> </ul>
Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Daikin</li> <li>• Modelo: RX 520J2V1B / FTXS20J</li> <li>• Potência elétrica (kW): 1,29</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 4,3</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 2,8</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 564</li> </ul>
Bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Sharp</li> <li>• Modelo: AEX12JR / AY-XPC12JHR</li> <li>• Potência elétrica (kW): 1,80</li> <li>• Potência de aquecimento (kW): 4,0</li> <li>• Potência de arrefecimento (kW): 3,5</li> <li>• Caudal máximo de ar insuflado (m<sup>3</sup>/h): 582</li> </ul>

**Tabela 4.2 - Relação de equipamentos do sistema de AVAC**

Os sistemas de AVAC são mantidos em condições adequadas de operação, de modo que o funcionamento otimizado e os objetivos de conforto térmico, Qualidade de Ar Interior (QAI) e de eficiência energética, possam ser garantidos.

#### **4.4. SISTEMA DE BOMBAGEM**

A caracterização do sistema de bombagem é realizada com base no levantamento efetuado no local, sendo complementado com dados retirados dos catálogos técnicos disponibilizados pelos fabricantes.

O sistema de bombagem do complexo desportivo é caracterizado por dezanove bombas centrífugas distribuídas da seguinte forma:

- Oito bombas na Filtragem. Sendo quatro unidades para a Piscina Desportiva, duas unidades para a Piscina de Aprendizagem e duas unidades para o Chapinheiro.

- Sete bombas no Coletor de Ida. Sendo uma unidade para a Piscina Desportiva, uma unidade para a Piscina de Aprendizagem, uma unidade para o Chapinheiro, uma unidade para as Unidades de Desumidificação 1 e 2, uma unidade para as Unidades de Desumidificação 3 e 4, uma unidade para as UTV e uma unidade nas AQS.
- Duas bombas no Coletor de Retorno.
- Uma bomba para o Permutador de Calor das AQS.
- Uma bomba na Recirculação das AQS.

A Tabela 4.3 apresenta as principais características dos equipamentos do sistema de bombagem:

Circuito		Características do Equipamento
Filtragem	Piscina Desportiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BR01</li> <li>• Marca: PSH</li> <li>• Modelo: FD - 129H</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 5,5</li> <li>• Quantidade: 4 Unidades</li> <li>• Em reserva: 1 Unidade</li> </ul>
	Piscina de Aprendizagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BR05</li> <li>• Marca: PSH</li> <li>• Modelo: FD - 128H</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 4,0</li> <li>• Quantidade: 2 Unidades</li> <li>• Em reserva: 1 Unidade</li> </ul>
	Chapinheiro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BR07</li> <li>• Marca: PSH</li> <li>• Modelo: AF - 6T</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 1,8</li> <li>• Quantidade: 2 Unidades</li> <li>• Em reserva: 1 Unidade</li> </ul>
Coletor de Ida	Piscina Desportiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BC03</li> <li>• Marca: Willo</li> <li>• Modelo: IPN 50/200 - 1,1/4</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 1,1</li> <li>• Quantidade: 1 Unidade</li> </ul>

Coletor de Ida	Piscina de Aprendizagem, Chapinheiro, Unidades de Desumidificação 1 e 2, Unidades de Desumidificação 3 e 4, UTV e AQS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referências: BC01, BC02, BC04, BC05, BC06 e BC07</li> <li>• Marca: Willo</li> <li>• Modelo: IPN 40/200 - 0,75/4</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 0,75</li> <li>• Quantidade: 6 Unidades</li> </ul>
Coletor de Retorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referências: EB01 e EB02</li> <li>• Marca: Willo</li> <li>• Modelo: IPN 50/200 - 1,1/4</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 1,1</li> <li>• Quantidade: 2 Unidades</li> </ul>	
Permutador de Calor das AQS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BC08</li> <li>• Marca: Willo</li> <li>• Modelo: IPN 40/160 - 0,37/4</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 0,37</li> <li>• Quantidade: 1 Unidade</li> </ul>	
Recirculação das AQS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referência: BC09</li> <li>• Marca: Willo</li> <li>• Modelo: IPN 40/125 - 0,55/4</li> <li>• Potência Elétrica (kW): 0,55</li> <li>• Quantidade: 1 Unidade</li> </ul>	

**Tabela 4.3 - Relação de equipamentos do sistema de bombagem**

Em relação ao sistema de bombagem é necessário referir que os tempos de funcionamento mudam consoante ao circuito. Os maiores tempos de operação são para as bombas do circuito de Filtragem, seguido das bombas utilizadas nos circuitos do Permutador de Calor e a Recirculação das AQS, e as bombas do Coletor de Retorno. Em último lugar estão as bombas que fazem parte do circuito dos Coletores de Ida, que apresentam os tempos de operação mais modestos de todo o sistema de bombagem.

## 4.5. SISTEMA DE PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES

A caracterização do sistema de preparação de águas quentes é realizada com base no levantamento efetuado no local, sendo complementado com dados retirados dos catálogos técnicos disponibilizados pelos fabricantes.

O sistema de preparação de águas quentes baseia-se em duas caldeiras alimentadas a gás (Figura 4.2) que se encontram ligadas a dois depósitos de armazenamento. Estes equipamentos, caldeiras e depósitos, estão localizados no local próprio (Central Térmica do edifício).



Figura 4.2 - Caldeira Lamborghini MegaPrex (Fonte: Archi Expo [7])

A Tabela 4.4 apresenta as principais características dos equipamentos do sistema de preparação de águas quentes.

Equipamento	Características
Caldeira (Duas Unidades)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Marca: Lamborghini</li><li>• Modelo: MegaPrex 580</li><li>• Combustível: Gás Propano</li><li>• Potência Térmica Unitária (kW): 581,4</li><li>• Rendimento (%): 92,6</li><li>• Potência de saída por escalão (Queimador) (kW): 145 (Mínima) e 390 (Máxima)</li><li>• Temperatura de regime (°C): 80</li></ul>
Depósito (Duas Unidades)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidade de armazenamento unitário (m<sup>3</sup>): 3,5</li><li>• Observações: Existe um depósito em repouso</li></ul>

Tabela 4.4 - Relação de equipamentos do sistema preparação de águas quentes

O sistema de preparação de águas quentes está estruturado para disponibilizar água quente nos balneários e para o aquecimento dos vasos das piscinas, sendo sempre

prioritária a utilização nos balneários. Contudo, a caldeira também serve como fonte de energia para as três UTV que fazem parte do sistema de AVAC.

#### 4.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A caracterização do sistema de iluminação é realizada com base no levantamento efetuado no local. No interior do complexo desportivo foram identificadas lâmpadas e luminárias dos tipos: *Compact Fluorescent Lamp* (CFL), fluorescentes tubulares, halógenas, incandescentes e iodetos metálicos. A Tabela 4.5 mostra os diversos tipos e quantidades.

Lâmpadas e Luminárias	Quantidades
CFL's	392
Fluorescentes tubulares	95
Halógenas	46
Incandescentes	6
Iodetos metálicos	40

**Tabela 4.5 - Relação de Lâmpadas e Luminárias**

Em relação ao sistema de iluminação, é importante assinalar que o funcionamento da iluminação nos espaços é feito manualmente pelo utilizador. Também é preciso apontar que o sistema não permite a regulação de fluxo em função da iluminação natural.

#### 4.7. OUTROS DADOS DE INTERESSE

Para além dos sistemas apresentados anteriormente, no complexo desportivo também existem outros equipamentos consumidores de energia habituais num edifício desta tipologia (como pequenos eletrodomésticos, equipamentos de ginásio, computadores e impressoras, entre outros).

Outro dado relevante para a *performance* dos diversos sistemas do complexo desportivo, é o facto da manutenção ser garantida pelos funcionários do Município. Existindo um Plano de Manutenção Preventiva adequado aos equipamentos e sistemas presentes, elaborado pelo técnico responsável.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONSUMOS ENERGÉTICOS

No presente capítulo vão ser caracterizados os principais consumos energéticos do complexo desportivo que é objeto de estudo desta Dissertação.

Nas Piscinas Municipais de Silves, com a finalidade de alimentar os diferentes sistemas consumidores de energia, podiam distinguir-se no ano 2016 duas fontes de energia: eletricidade e gás.

### 5.1. ELETRICIDADE

No ano 2016, as Piscinas Municipais de Silves não dispunham de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, logo toda a energia elétrica necessária para alimentar os diferentes sistemas do complexo desportivo provinha da rede de abastecimento do fornecedor.

Com base nas faturas fornecidas pelo gestor do complexo desportivo, foram obtidos os dados da Tabela 5.1 para o ano 2016 (Ano de referência prévio a implementação das MMEE).

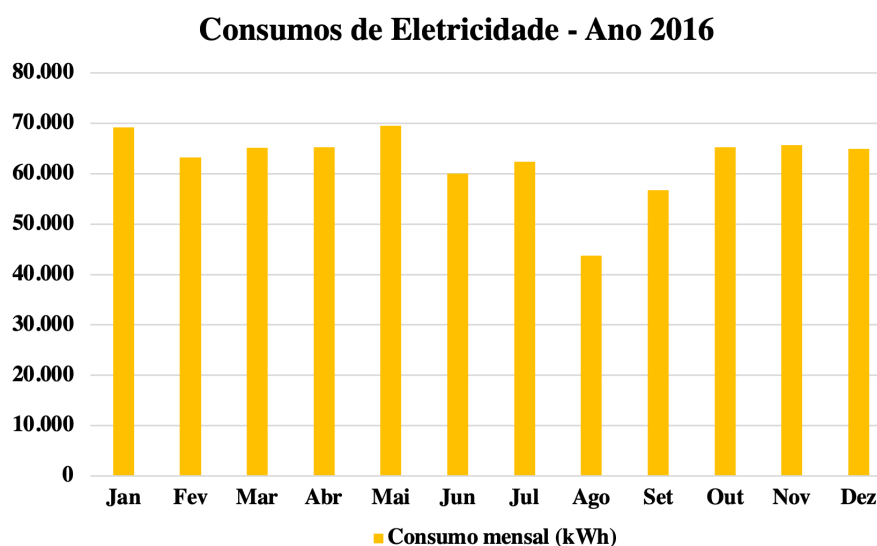
Mês	Consumo da Rede (kWh)
Janeiro	69.201,28
Fevereiro	63.175,15
Março	65.172,73
Abril	65.214,13
Maio	69.444,33
Junho	59.993,85
Julho	62.397,87
Agosto	43.766,70
Setembro	56.722,73
Outubro	65.244,63
Novembro	65.647,32
Dezembro	64.924,89

**Tabela 5.1 - Relação de consumos energéticos no ano 2016 (Eletricidade)**

De acordo com os dados retirados das correspondentes faturas do fornecedor de energia elétrica, foi obtido um consumo anual de 750.905,61 kWh, sendo o consumo

médio mensal de 62.575,47 kWh. Os custos anuais derivados destes consumos elétricos supuseram um encargo de 85.239,22 € (S/IVA) para o Município de Silves.

O gráfico da Figura 5.1 mostra um consumo elétrico bastante uniforme para todos os meses do ano, existindo ligeiras variações ligadas a diferentes variáveis como as condições climáticas ou a ocupação, entre outros.



**Figura 5.1 - Gráfico com a relação de consumos energéticos no ano 2016 (Eletricidade)**

Por último, é necessário destacar que o mês de agosto é um mês atípico no que a consumos energéticos se refere, já que o complexo desportivo está encerrado para o público geral.

## 5.2. GÁS

Como foi citado anteriormente, no ano 2016, as Piscinas Municipais de Silves não dispunham de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável. Por tanto, uma grande parte das necessidades de energia térmica do edifício eram cobertas por duas caldeiras alimentadas a gás propano.

Na altura, o fornecimento de gás era feito a granel, de modo que em função das necessidades, a empresa fornecedora de gás propano deslocava um camião-cisterna para abastecer o depósito do complexo desportivo.

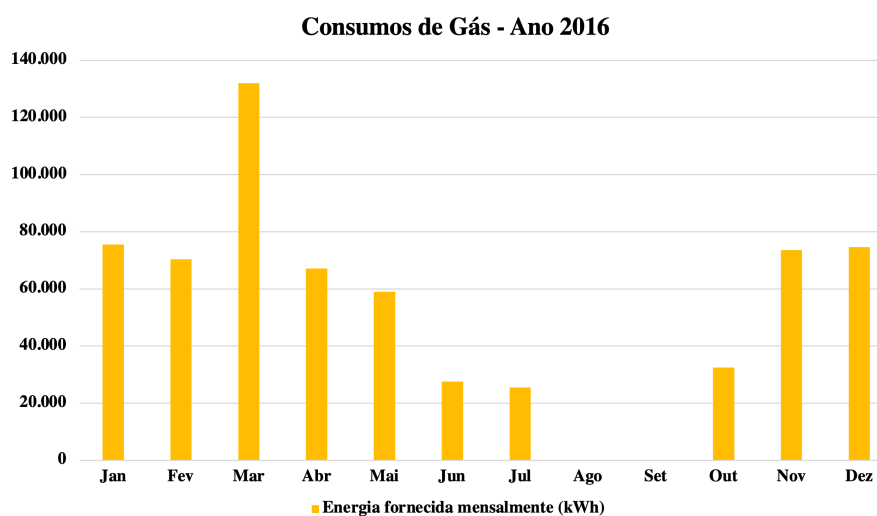
Com base nas faturas fornecidas pelo gestor do complexo desportivo, foram obtidos os dados da Tabela 5.2 para o ano 2016 (Ano de referência prévio a implementação das MMEE).

Mês	Quantidade fornecida (kg)	Energia fornecida (kWh)
Janeiro	5.870	75.573
Fevereiro	5.467	70.384
Março	10.256	132.040
Abril	5.216	67.153
Maio	4.581	58.978
Junho	2.144	27.603
Julho	1.982	25.517
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	2.517	32.405
Novembro	5.718	73.616
Dezembro	5.792	74.569

**Tabela 5.2 - Relação de consumos energéticos no ano 2016 (Gás)**

De acordo com os dados retirados das correspondentes faturas do fornecedor de gás, foi obtido um consumo anual de 49.543 kg de gás propano, o que equivale a 637.837 kWh, sendo o consumo médio mensal de 53.153 kWh. Os custos anuais derivados destes consumos de gás supuseram um encargo de 49.384,96 € (S/IVA) para o Município de Silves.

A forma de fornecimento do gás (a granel) e o armazenamento num depósito, dificultam estabelecer de forma clara uma ligação entre as necessidades mensais e os consumos do complexo desportivo. Isto pode ver-se refletido na Figura 5.2 que é mostrada a seguir.



**Figura 5.2 - Gráfico com a relação de energia fornecida no ano 2016 (Gás)**

### 5.3. ELETRICIDADE VS GÁS

Os complexos desportivos como as Piscinas Municipais de Silves são espaços que, com a finalidade de garantir aos seus utilizadores as condições apropriadas de conforto térmico e qualidade do ar interior, entre outras, são caracterizados por terem notáveis necessidades energéticas.

O gráfico da Figura 5.3 apresentada a distribuição percentual dos consumos energéticos de eletricidade e gás. A eletricidade supõe 54% do total, quanto que o gás 46%.

#### Consumos energéticos - Ano 2016

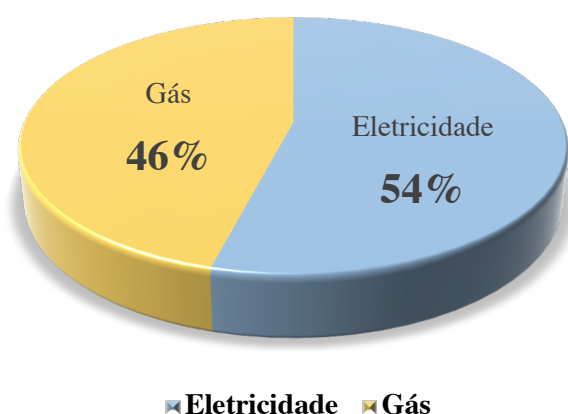


Figura 5.3 - Distribuição percentual dos consumos energéticos no ano 2016

Por último, o gráfico da Figura 5.4 apresentada a distribuição percentual dos custos derivados dos consumos energéticos de eletricidade e gás. A eletricidade supõe 63% do total, quanto que o gás 37%.

#### Custos energéticos - Ano 2016

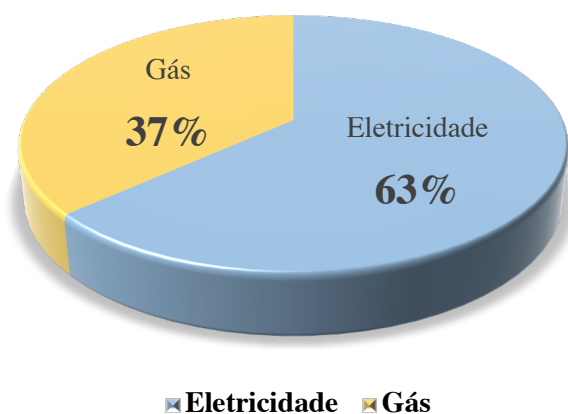


Figura 5.4 - Distribuição percentual dos custos derivados dos consumos energéticos no ano 2016

## **6. CARACTERIZAÇÃO DAS MEDIDAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

No presente capítulo vão ser caracterizadas as MMEE implementadas no complexo desportivo que é objeto de estudo desta Dissertação.

Nas Piscinas Municipais de Silves foram investidos um total de 456.506,59 € (S/IVA) na implementação das seguintes MMEE:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW.
- Instalação de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas.
- Substituição da iluminação existente por lâmpadas LED.
- Substituição das bombas de circulação existentes por bombas de elevada eficiência.

### **6.1. MEDIDA 1: INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

#### **6.1.1. Descrição e justificação**

Inicialmente, o complexo desportivo não dispunha de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável. Consequentemente, todas as necessidades de energia elétrica do edifício eram cobertas pela rede de abastecimento do fornecedor.

A primeira MMEE consistiu na instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW. Esta baseou-se no aproveitamento do potencial de radiação solar incidente existente na região do Algarve, e na a localização e azimute do edifício (com orientação privilegiada a Sul).

Na atualidade, este tipo de tecnologia tem custos atrativos pelo que se torna uma forma segura e com grande potencial para investimento, no que concerne à redução do valor da fatura elétrica. Outro fator destacável é o facto de que os maiores consumos do edifício serem efetuados durante o período diurno, podendo ser parcialmente fornecidos pelo sistema solar fotovoltaico.

Com base no estudo realizado, verificou-se que o local mais apropriado para a instalação do sistema é na zona Sul do complexo desportivo (área assinalada a cor azul na Figura 6.1).



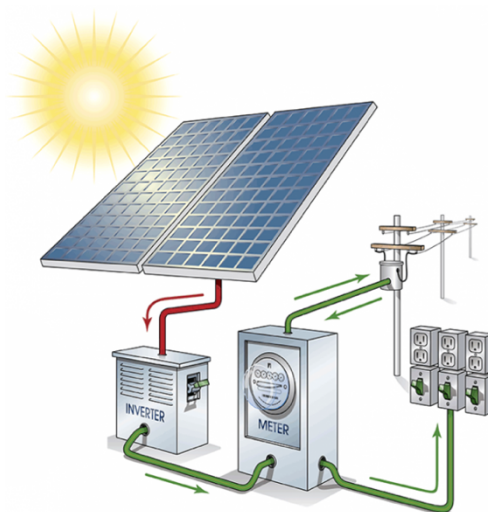
**Figura 6.1 - Local de instalação do Sistema Solar Fotovoltaico (Fonte: Google Maps - Adaptação)**

Antes de ser realizada a implementação desta MMEE estimou-se:

- Valor do investimento (S/IVA): 175.000 €.
- Poupança energética: 182.721 kWh.
- Poupança monetária para o município: 25.580,94 €.
- *Payback* (ou período de retorno): 6,8 anos.
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub>: 65,78 ton/ano.

### 6.1.2. O que é um sistema solar fotovoltaico?

A energia solar fotovoltaica baseia o seu funcionamento na obtenção de energia do sol através de coletores solares. Na Figura 6.2 é mostrado um esquema que apresenta os princípios básicos de funcionamento deste tipo de sistemas.



**Figura 6.2 - Sistema Solar Fotovoltaico (Fonte: Helioesfera - Adaptação [20])**

Embora seja uma área em constante evolução e desenvolvimento, um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo é composto por três elementos principais: os coletores solares, o inversor de corrente e o contador [2].

Neste tipo de sistemas, é aproveitado o efeito fotoelétrico derivado da incidência da radiação solar sobre os coletores. Estes recolhem energia em forma de corrente contínua que segue para o inversor de corrente. A missão do inversor é transformar a corrente contínua em corrente alternada, como é consumida vulgarmente a eletricidade. Numa terceira fase, a eletricidade gerada e transformada, pode ser consumida instantaneamente ou pode ser vertida na rede de abastecimento, caso as necessidades sejam inferiores ao nível de produção dos coletores [2].

## **6.2. MEDIDA 2: INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

### **6.2.1. Descrição e justificação**

Como foi citado anteriormente, o complexo desportivo não dispunha de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável. Consequentemente, uma grande parte das necessidades de energia térmica do edifício eram cobertas por duas caldeiras alimentadas a gás propano.

A segunda MMEE consistiu na instalação de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas. De igual forma, a MMEE baseou-se no aproveitamento do potencial de radiação solar incidente existente na região do Algarve, e na localização e azimute do edifício (com orientação privilegiada a Sul).

A solução preconizada, foi o aquecimento através de energia solar dos dois depósitos existentes que servem as AQS e aos três vasos das piscinas. O que foi conseguido com um sistema de circulação forçada e feita através de um sistema integrado (AQS + Vasos das piscinas), onde terá sempre prioridade o aquecimento das AQS.

Assim foi previsto um sistema solar térmico composto por 100 coletores solares que farão a ligação através do circuito primário aos permutadores de calor das AQS e dos vasos das piscinas.

Com base no estudo realizado, verificou-se que o local mais apropriado para a instalação do sistema é na zona Este do complexo desportivo (área assinalada a cor vermelha na Figura 6.3).



**Figura 6.3 - Local de instalação do Sistema Solar Térmico (Fonte: Google Maps - Adaptação)**

Esta MMEE foi acompanhada da colocação de uma cobertura térmica nas piscinas a fim de diminuir o consumo de água, químicos e gás propano, com a redução da evaporação da água durante o período noturno.

Antes de ser realizada a implementação desta MMEE estimou-se:

- Valor do investimento (S/IVA): 177.711,99 €.
- Poupança energética: 163.527 kWh.
- Poupança monetária para o município: 16.352,70 €.
- *Payback* (ou período de retorno): 10,9 anos.
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub>: 27,80 ton/ano.

### 6.2.2. O que é um sistema solar térmico?

Do mesmo modo que acontece com a energia solar fotovoltaica, a energia solar térmica baseia o seu funcionamento na obtenção de energia do sol através de coletores solares. Na Figura 6.4 é apresentado um esquema dos princípios básicos de funcionamento deste tipo de sistema.

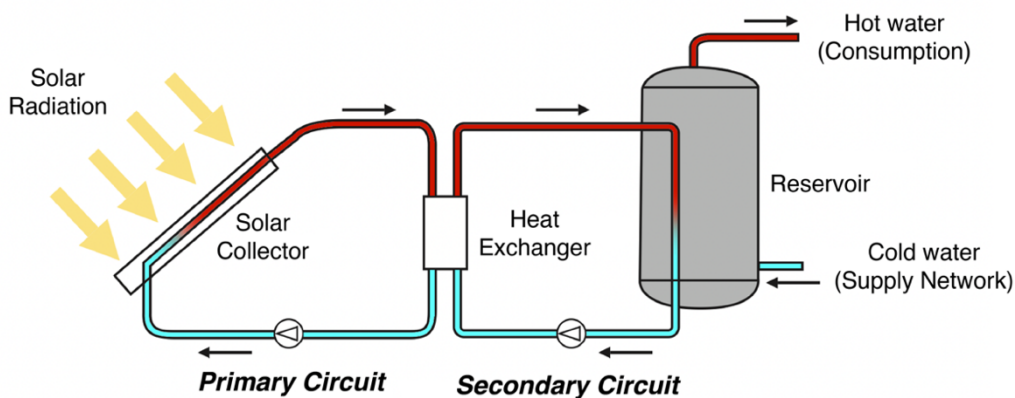


Figura 6.4 - Sistema Solar Térmico (Fonte: IDAE - Adaptação [21])

Um sistema solar térmico é formado por dois circuitos fechados independentes ligados por um permutador de calor. O primeiro circuito é formado pelos coletores solares, que recebem a radiação solar, e uma bomba de circulação forçada, que movimenta o fluido quente procedente dos coletores até o permutador de calor. O segundo circuito é formado por um depósito, que armazena a água quente e está ligado às redes de abastecimento e consumo, e outra bomba de circulação forçada, que movimenta a água fria procedente do depósito até o permutador de calor [10].

No permutador de calor produz-se a transferência de calor do fluido quente, que circula pelo primeiro circuito, com a água fria que circula pelo segundo. Após a transferência de calor, a água quente apta para consumo fica armazenada na parte superior do depósito [10].

### 6.3. MEDIDA 3: SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO EXISTENTE

#### 6.3.1. Descrição e justificação

Inicialmente, no complexo desportivo existia uma ampla variedade de lâmpadas e luminárias instaladas no interior do edifício (CFL's, Fluorescentes tubulares, Halogénicas, Incandescentes e Iodetos Metálicos).

Durante a auditoria prévia a implementação das MMEE foram identificados diversos tipos de lâmpadas e luminárias. Sendo também verificado que o sistema não permite a regulação do fluxo em função da iluminação natural.

Lâmpadas e Luminárias	Quantidades
CFL's	392
Fluorescentes tubulares	95
Halógenas	46

Incandescentes	6
Iodetos metálicos	40

**Tabela 6.1 - Relação de Lâmpadas e Luminárias**

A terceira MMEE propõe a melhoria do desempenho energético através da substituição da iluminação existente por lâmpadas LED. Esta consistiu na substituição completa da iluminação interior por outra mais eficiente. Isto é, a substituição de 493 lâmpadas e 86 luminárias (579 lâmpadas no total), onde o objetivo principal foi a redução do consumo energético global do edifício.

Antes de ser realizada a implementação desta MMEE estimou-se:

- Valor do investimento (S/IVA): 30.965 €.
- Poupança energética: 45.436 kWh.
- Poupança monetária para o município: 6.361,04 €.
- *Payback* (ou período de retorno): 4,9 anos.
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub>: 16,36 ton/ano.

### 6.3.2. O que é um LED?

*Light-Emitting Diode*, mais vulgarmente conhecido como LED, é um díodo emissor de luz. Um LED emite luz quando o semicondutor que está alocado no seu interior é atravessado por uma tensão contínua (Figura 6.5).



**Figura 6.5 - LED (Fonte: *Taller de Electrónica* - Adaptação [30])**

A democratização das lâmpadas LED é o resultado da Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu (e seguintes), que obrigou aos fabricantes a atuar na *performance* das fontes luminosas [26]. Consequentemente, as lâmpadas CFL's, os fluorescentes tubulares, as halógenas, as incandescentes e os iodetos metálicos, têm vindo a ser substituídas por lâmpadas LED.

Este tipo de lâmpada, além de ser muito versátil, é caracterizada por diferentes fatores como: menor consumo elétrico, menor dissipação de calor, maior vida útil e redução do impacto ambiental durante a fabricação, entre outros.

## **6.4. MEDIDA 4: SUBSTITUIÇÃO DAS BOMBAS DE CIRCULAÇÃO EXISTENTES**

### **6.4.1. Descrição e justificação**

A instalação inicial do sistema de bombagem estava caracterizada por dezanove bombas centrífugas distribuídas da seguinte forma:

- Oito bombas na Filtragem. Sendo quatro unidades para a Piscina Desportiva, duas unidades para a Piscina de Aprendizagem e duas unidades para o Chapinheiro.
- Sete bombas no Coletor de Ida. Sendo uma unidade para a Piscina Desportiva, uma unidade para a Piscina de Aprendizagem, uma unidade para o Chapinheiro, uma unidade para as Unidades de Desumidificação 1 e 2, uma unidade para as Unidades de Desumidificação 3 e 4, uma unidade para as UTV e uma unidade nas AQS.
- Duas bombas no Coletor de Retorno.
- Uma bomba para o Permutador de Calor das AQS.
- Uma bomba na Recirculação das AQS.

Com base num levantamento exaustivo de todo o sistema de bombagem da instalação e dos tempos de funcionamento de cada um destes equipamentos, foi feita uma estimativa dos consumos realizados por parte destes equipamentos.

A quarta MMEE propõe a melhoria do desempenho energético através da substituição do sistema de bombagem existente por um mais eficiente. Esta MMEE consistiu na substituição completa das dezanove bombas centrífugas por bombas de elevada eficiência energética, sendo o objetivo principal a redução do consumo energético global do edifício.

Antes de ser realizada a implementação desta MMEE estimou-se:

- Valor do investimento (S/IVA): 73.339,60 €.
- Poupança energética: 90.822 kWh.
- Poupança monetária para o município: 12.715,15 €.
- *Payback* (ou período de retorno): 5,8 anos.

- Redução das emissões de CO<sub>2</sub>: 32,70 ton/ano.

#### 6.4.2. O que é uma bomba de alta eficiência?

Uma bomba hidráulica é constituída por duas componentes essenciais, uma parte mecânica, composta por um conjunto de pás que rodam em torno de um eixo fixo, e um motor elétrico, que fornece a energia necessária para movimentar o fluído [24]. Geralmente, este conjunto vai acompanhado de um variador de frequência capaz de atuar sobre o funcionamento da bomba em diferentes situações, como por exemplo, no arranque, onde se produzem picos de consumo.

O desenvolvimento das bombas de alta eficiência é consequência direta da implantação de novas diretrizes e regulamentações ligadas a eficiência energética. Nesta ocasião, o surgimento de bombas de alta eficiência resultou da Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu (e seguintes), que obrigou os fabricantes a atuar na *performance* dos motores elétricos e variadores de frequência [26].

Na sequência destas novas diretrizes, os fabricantes agiram melhorando ou desenvolvendo novos produtos, como por exemplo, os motores de ímanes permanentes MGE da Grundfos com variador de frequência. Estes motores têm dado um salto qualitativo importante relativamente à eficiência energética, podendo atingir melhoras de até 70% na poupança energética em comparação com uma bomba *standard* [18].



**Figura 6.6 - Bomba Grundfos (Fonte: Grundfos [19])**

## 6.5. OBJETIVOS GLOBAIS E EXECUÇÃO

De acordo com o abordado anteriormente, a implementação das quatro MMEE apresentadas, teve diferentes objetivos:

- a) Melhoria do desempenho energético do edifício.

Os complexos desportivos com piscinas interiores, são caracterizados por serem edificações com elevadas necessidades energéticas de forma a garantir as condições apropriadas de conforto térmico e qualidade do ar interior dos seus utentes. Após a intervenção, espera-se poder reduzir as necessidades energéticas anuais em 482.506 kWh.

- b) Redução de custos para o município.

Um efeito secundário da melhoria no desempenho energético do edifício é a redução dos custos ligados ao fornecimento de energia, seja elétrica ou gás. Após a intervenção, espera-se poder reduzir a fatura energética anual do Município de Silves em 61.009,83 €.

- c) Redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Promover a sustentabilidade e a utilização eficiente dos recursos energéticos é necessário para apoiar a transição para uma economia de baixo teor de Carbono. Após a intervenção, espera-se poder reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 142,64 ton/ano.

De acordo com as informações fornecidas pelo gestor do complexo desportivo, as intervenções relativas a execução das quatro MMEE ficaram concluídas e operacionais no dia 1 de janeiro de 2021, data a partir da qual o complexo desportivo já conseguiu usufruir dos novos sistemas e equipamentos.

## 7. INTERNATIONAL PERFORMANCE, MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL (IPMVP)

No presente capítulo vai ser apresentado de maneira mais pormenorizada o *International Performance, Measurement and Verification Protocol*, comumente conhecido como IPMVP. Sendo este capítulo um extrato das publicações da *Efficiency Valuation Organization* (EVO): *IPMVP - Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings (Volume I)* de 2012 [13] e *IPMVP - Core Concepts* de 2016 [14].

Este protocolo, acolhido internacionalmente, vai ser o instrumento principal para o desenvolvimento do estudo desta Dissertação.

### 7.1. INTRODUÇÃO AO IPMVP

#### 7.1.1. Propósito

A *Efficiency Valuation Organization* (EVO) desenvolveu e publicou o *International Measurement and Verification Protocol* (IPMVP) com o objetivo de fortalecer o investimento em projetos de eficiência energética e eficiência hídrica, gestão de consumos e energias renováveis em todo o mundo.

A EVO tem conseguido estimular o investimento em eficiência com o IPMVP da seguinte maneira:

- O IPMVP inclui a terminologia e os métodos comuns para avaliar a *performance* dos projetos de eficiência em compradores, vendedores e parceiros financeiros.
- O IPMVP provê métodos, com distintos níveis de precisão e custo, com a finalidade de determinar a poupança, seja numa instalação geral ou numa MMEE concreta.
- O IPMVP especifica o conteúdo do Plano de M&V. Dito plano, além de estar composto por uma serie de princípios fundamentais amplamente aceites, tem de fornecer Relatórios Demonstrativos de Poupança verificáveis.
- O IPMVP pode ser aplicado em diversos tipos de instalações, incluindo edifícios já existentes, em construção ou em processos industriais.

O IPMVP está composto por três volumes:

- O Volume I do IPMVP define a M&V, apresenta os princípios fundamentais da M&V e define o enquadramento para a elaboração em detalhe de um Plano de M&V. Neste Volume I também estão recolhidos os pormenores de um Plano de

M&V e da criação dos Relatórios Demonstrativos de Poupança. Para além destes conceitos, o Volume I também inclui conteúdos adicionais com questões comuns e exemplos, entre outros.

- O Volume II do IPMVP proporciona o enfoque para avaliar questões relativas a QAI nos edifícios devido a conceção e implementação de MMEE e manutenção.
- O Volume III do IPMVP aprofunda nos métodos de M&V relacionados com a construção de novos edifícios e os sistemas de energias renováveis integrados em construções já existentes.

Os três volumes do IPMVP anteriormente apresentados, são um conjunto de documentos em constante atualização por parte da EVO.

### 7.1.2. Vantagens

Desde a primeira publicação do IPMVP em 1995, as principais vantagens que proporciona a utilização da metodologia deste protocolo são as seguintes:

- Justificação dos pagamentos devido ao desempenho energético. Quando os pagamentos se baseiam em poupanças demonstradas de energia ou água, o cumprimento do IPMVP assegura que essa poupança está a decorrer seguindo um procedimento rigoroso. Por tanto, um Relatório Demonstrativo de Poupança elaborado conforme ao IPMVP facilita ao cliente aceitar a *performance* descrita.
- Reduzir os custos associados a criação de um Contrato de Desempenho Energético. Usar como base as especificações do IPMVP para a elaboração do Plano de M&V de um projeto, pode simplificar as negociações para a celebração de um Contrato de Desempenho Energético.
- Credibilidade internacional dos Relatórios Demonstrativos de Poupança energética, o que aumenta a frente de um comprador o valor da poupança da energia associada.
- Melhora da classificação do edifício sob programas que categorizam as edificações com uma conceção/funcionamento sustentável.
- Ajuda a Administração Pública e Indústria na consecução dos objetivos em matéria de eficiência energética, além da melhora na utilização eficiente dos recursos.

## **7.2. DEFINIÇÃO, OBJETIVOS E PRINCIPIOS FUNDAMENTAIS DA M&V**

### **7.2.1. Definição**

A Medição e Verificação (M&V) é o processo de utilização de medições para determinar de forma fiável a poupança real obtida numa instalação. Mas a poupança não pode ser medida diretamente, já que esta representa a ausência de consumo de energia. Por este motivo, a poupança tem de ser determinada comparando os consumos antes e depois de implementar uma MMEE, ao mesmo tempo que são realizados os ajustes necessários em função das condições iniciais.

As atividades de M&V consistem em todas ou algumas das seguintes ações:

- Instalação, calibração e manutenção dos equipamentos de medição.
- Recolha e tratamento de dados.
- Desenvolvimento de um método de cálculo da poupança total obtida com as estimações/ajustes necessários.
- Execução dos cálculos com as leituras realizadas.
- Elaboração de relatórios, garantindo a sua qualidade mediante a verificação de terceiros.

Em ocasiões, quando existem poucas dúvidas acerca do resultado ou quando não há necessidade de dar prova dos resultados a uma outra parte, a M&V pode não ser necessária. No entanto, sempre é aconselhável verificar se a intervenção realizada é capaz de produzir a poupança estimada.

A verificação da potencial poupança que pode ser obtida numa instalação, precisa, além da inspeção na sua montagem inicial, a inspeção e manutenção regular da mesma.

### **7.2.2. Objetivos**

As técnicas de M&V podem ser utilizadas pelos proprietários da instalação ou pelos investidores do projeto de eficiência energética para atingir os seguintes objetivos:

- a) Aumentar a poupança de energia.

A determinação exata da poupança de energia fornece aos proprietários e gestores da instalação informação valiosa acerca das MMEE implementadas.

- b) Documentar transações financeiras.

Em alguns projetos, a poupança é a base de pagamentos financeiros baseados no desempenho energético e/ou a garantia num Contrato de Desempenho Energético. Um Plano de M&V bem definido e implementado, pode ser a base para documentar o desempenho energético de forma transparente, além de poder ser sujeito a uma verificação independente.

- c) Aumentar o financiamento para projetos de eficiência.

Um bom Plano de M&V aumenta a transparência e credibilidade dos relatórios acerca dos resultados dos investimentos em eficiência.

- d) Melhorar projetos de engenharia, funcionamento e manutenção da instalação.

A preparação de um bom Plano de M&V estimula a conceção completa de um projeto ao incluir todos os custos de M&V nos aspetos económicos do projeto. Uma boa M&V, também ajuda aos gestores a descobrir e reduzir problemas de manutenção e funcionamento, de esta maneira as instalações podem ser geridas de forma mais eficiente.

- e) Gerir orçamentos de consumo energético.

Mesmo quando a poupança não está planeada, as técnicas de M&V ajudam aos gestores a avaliar e gerir a utilização de energia para explicar as variações nos orçamentos.

- f) Melhorar o valor dos créditos de redução de emissões.

Explicar as reduções nas emissões acrescenta um valor adicional aos projetos de eficiência.

- g) Apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais.

Serviços ou programas governamentais para a gestão de utilização de um sistema de fornecimento de energia podem utilizar técnicas de M&V para avaliar a poupança real obtida nas instalações sujeitas a intervenções com MMEE.

- h) Aumentar a compreensão acerca da gestão de energia como ferramenta pública prioritária.

Com a melhoria da credibilidade dos projetos de gestão de energia, a M&V faz com que a sociedade aceite ainda mais a redução de emissões que está associada. Esta aceitação pública incentiva os investimentos em projetos de eficiência energética e no comércio dos direitos de emissão que estes podem gerar.

### 7.2.3. Princípios fundamentais

Os princípios fundamentais para uma adequada utilização da M&V são os seguintes:

- Completo.

Um Plano de M&V deve ter em consideração todos os aspectos de um projeto. As atividades de M&V devem usar medições para quantificar os efeitos principais, quanto que são realizadas estimativas para os outros.

- Conservador.

Uma vez que são realizadas estimativas em alguns dados, ou seja, são introduzidas incertezas no processo de M&V, deve-se avaliar a poupança por baixo.

- Consistente.

O relatório de um projeto de eficiência energética deve manter a coerência entre:

- Os diferentes tipos de projetos de eficiência energética.
- Os diferentes profissionais de gestão energética envolvidos em qualquer projeto.
- Os diferentes períodos de tempo para o mesmo projeto.
- Os projetos de eficiência energética e os projetos para produção de energia.

- Preciso.

Os Planos de M&V devem ser tão precisos como permita o orçamento. No geral, os custos de M&V devem ser mais baixos que o valor monetário da poupança a ser avaliada.

- Relevante.

A determinação da poupança deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes ou menos conhecidos, quanto que outros parâmetros menos críticos ou previsíveis, podem ser estimados.

- Transparente.

Todas as atividades de M&V devem ser documentadas com detalhe e de forma clara.

### 7.3. ESTRUTURA DO IPMVP

#### 7.3.1. Relação entre M&V e o IPMVP

O processo de M&V compreende a utilização de medições para determinar de forma fiável a poupança real obtida após implementação de uma MMEE.

A modo de exemplo, na Figura 7.1 mostrada a seguir, pode ser observada a evolução do consumo de energia de uma instalação antes e depois da aplicação de uma MMEE.

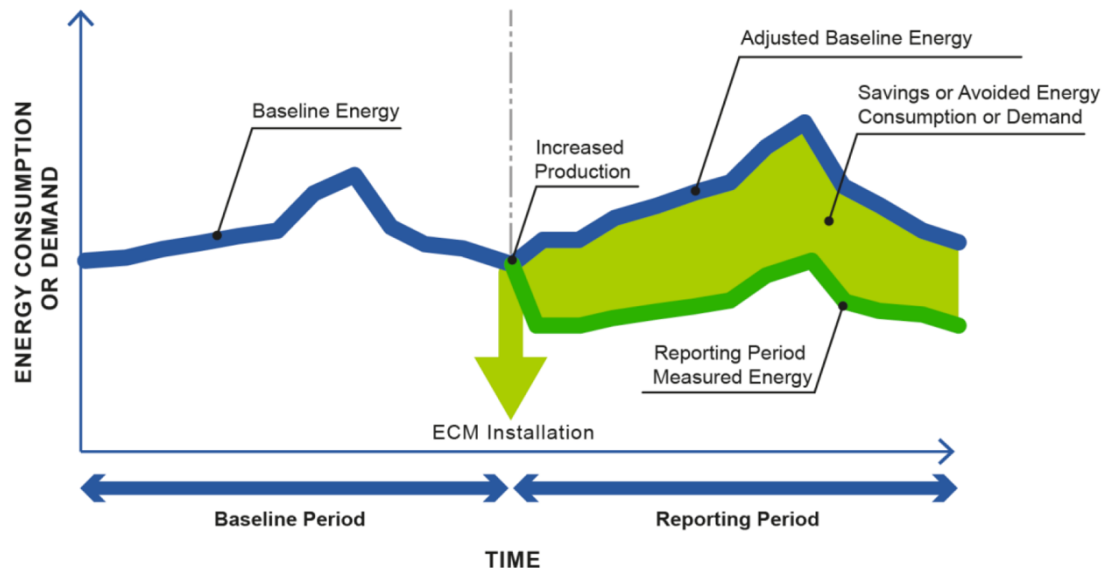


Figura 7.1 - Gráfico do processo de M&V (Fonte: IPMVP [14])

A figura mostra o consumo energético no Período de Referência (*Baseline Period*) e o consumo energético medido no Período de Reporte (*Reporting Period*) após a implementação de uma MMEE (*ECM Installation*).

A dificuldade do processo de M&V reside na impossibilidade de medir de forma direta a poupança, já que esta representa a ausência de um consumo de energia. É neste

ponto onde os protocolos de M&V, como o IPMVP, têm um papel-chave porque apresentam o enquadramento e definem a terminologia usados na determinação da poupança real obtida depois de uma intervenção.

### 7.3.2. Obtenção da poupança

A poupança tem de ser determinada através da comparação do consumo energético antes e depois da implementação da MMEE. Na sequência deste cálculo, é importante destacar que sempre é necessário aplicar ligeiros ajustes consoante as condições iniciais.

Traduzido numa linguagem matemática, o cálculo das poupanças é feito seguindo a equação da Figura 7.2:

$$\begin{aligned} & \text{Poupanças} = \\ & = (\text{Consumo Período Referência} - \text{Consumo Período Reporte}) \pm \text{Ajustes} \end{aligned}$$

**Figura 7.2 - Equação base do IPMVP (Fonte: IPMVP [14])**

Esta poupança pode ser referida a unidades de energia (kWh, por exemplo) ou unidades monetárias (€, por exemplo), mas na maior parte das ocasiões o interesse reside em saber qual teria sido o valor das faturas se não tivesse sido implantada nenhuma MMEE, isto é, os custos evitados.

No entanto, e como foi apresentado previamente, o cálculo das poupanças não é tão simples como fazer a comparação dos consumos nos chamados Período de Referência e Período de Reporte. Para obter as poupanças derivadas da aplicação de uma MMEE é necessário aplicar ajustes, e estes serão mais ou menos complexos dependendo de fatores como: o clima, os custos da energia ou a ocupação, entre outros.

### 7.3.3. Períodos de Medição

#### 7.3.3.1. Período de Referência

O Período de Referência tem de ser estabelecido com a finalidade de:

- Representar a atividade da instalação ou dos equipamentos durante um ciclo de operação normal. O período deve conter um ciclo completo de operação, desde o consumo de energia máximo hasta o mínimo.
- Incluir unicamente os períodos de tempo para os quais os fatores que governam o consumo de energia, fixos ou variáveis, sejam conhecidos para a instalação.
- Coincidir com o período imediatamente anterior a implementação da MMEE.

- Apoiar a planificação da MMEE.

#### 7.3.3.2. Período de Reporte

O responsável pelo desenvolvimento do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança deve determinar a extensão do Período de Reporte. O Período de Reporte deve conter, no mínimo, um ciclo normal de operação da instalação ou equipamento em análise, para caracterizar completamente a efetividade da poupança nos modos de operação normal.

Em alguns projetos poderão suspender a realização de Relatórios Demonstrativos de Poupança depois de um período de prova, o qual pode ir desde uma leitura pontual até um ou vários anos.

Independentemente da extensão do Período de Reporte, os sistemas de medição poderão manter-se instalados com a finalidade de fornecer dados de operação para a gestão energética da instalação e deteção de câmbios adversos na *performance*.

#### 7.3.4. Métodos de ajuste

Os ajustes são usados para modificar os dados da energia consumida no Período de Referência com o único objetivo de tentar refletir as mesmas condições que nos dados medidos depois da implementação da MMEE.

Os ajustes têm de ser obtidos a partir de factos físicos identificáveis sobre as características que influenciam o consumo de energia das equipas dentro dos limites de medida. O IPMVP identifica dois tipos de ajustes.

##### 7.3.4.1. Ajustes Rotineiros

Usados para qualquer parâmetro que influencie o consumo de energia e que é espectável mude de forma habitual durante o Período de Reporte. Por exemplo, o clima ou o nível de produção.

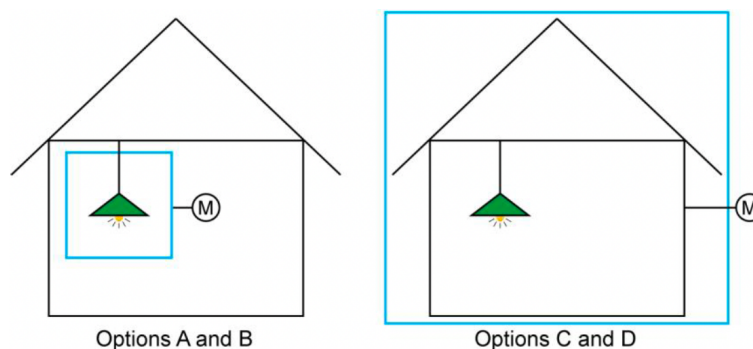
##### 7.3.4.2. Ajustes Não-Rotineiros

Usados para parâmetros que influenciam o consumo de energia e que não é espectável que mudem. Por exemplo, o tamanho da instalação ou o tipo de ocupantes.

### 7.3.5. O conceito de Fronteira

O IPMVP disponibiliza até quatro opções diferentes para desenvolver e executar processos de M&V. Estas opções estão fortemente influenciadas pelo designado conceito de Fronteira.

A chamada Fronteira é apenas o limite de medição e vai depender do abrangente que seja a MMEE. Na figura a seguir é apresentado graficamente este conceito.



**Figura 7.3 - Representação gráfica do conceito de Fronteira (Fonte: US DOE FEMP [32])**

Dependendo das características da MMEE e da finalidade do Plano de M&V, a poupança pode ser determinada para uma instalação completa ou só para uma parte:

- Se a finalidade do Relatório Demonstrativo de Poupança é verificar a poupança proveniente dos equipamentos afetados pela MMEE, a Fronteira deve ser definida arredor destes equipamentos e os requerimentos da medição poderão ser determinados com base nestes limites. A obtenção da energia pode ser realizada medindo diretamente o fluxo de energia ou bem mediante medições *proxy* (também denominadas medições correlacionadas) do consumo energético, que poderão ser utilizadas para calcular de forma fiável o consumo de energia.
- Se a finalidade do Relatório Demonstrativo de Poupança é verificar e/ou gerir a *performance* energética de toda uma instalação, os equipamentos de medida no ponto de fornecimento da instalação podem ser utilizados para avaliar a *performance* e a poupança. A Fronteira nesta ocasião abrange toda a instalação.
- Se os dados do Período de Referência e do Período de Reporte não são fiáveis ou não estão disponíveis, os dados de consumo energético procedentes de uma simulação calibrada podem substituir os dados em falta, bem seja para toda ou para uma parte da instalação. A Fronteira deve ser definida em função da situação.

- Qualquer efeito sobre a energia fora da Fronteira é conhecido como efeito cruzado. A magnitude dos efeitos cruzados deve ser estimada ou avaliada para determinar a poupança associada a MMEE. Embora não seja a melhor opção, os efeitos cruzados podem ser ignorados em alguns casos, sempre que o Plano de M&V inclua uma observação sobre cada efeito cruzado e sua magnitude seja pequena em comparação com a poupança proveniente dos efeitos principais da MMEE implementada.

## **7.4. OPÇÕES DE VERIFICAÇÃO**

O IPMVP proporciona até quatro opções para analisar o cálculo da poupança resultante da implementação de uma MMEE. As opções A, B, C e D, que são definidas nos pontos seguintes, estão fortemente ligadas ao conceito de Fronteira, anteriormente descrito.

### **7.4.1. Opções A e B, Verificação Isolada da MMEE**

O isolamento da verificação da MMEE permite reduzir a Fronteira (ou limite de medição) para diminuir o esforço necessário para monitorizar as variáveis independentes e os fatores estáticos, quando as melhorias afetam só a uma parte da instalação. Mesmo assim, quando a Fronteira abrange toda a instalação, costuma ser necessária a instalação de equipamentos de medição adicionais na própria Fronteira. Numa Fronteira existe também a possibilidade de que se produzam filtrações de efeitos cruzados que não foram medidos.

Já que não é realizada a medição a toda a instalação, os resultados das técnicas de Verificação Isolada da MMEE não se podem correlacionar com o consumo de toda a instalação que aparece nas faturas de fornecimento de energia. Os efeitos das alterações realizadas na instalação fora da Fronteira, que não têm relação com a MMEE implementada, não são recolhidos pelas técnicas de Verificação Isolada da MMEE, mas sim são incluídas no consumo da instalação.

Há duas opções para diferenciar o consumo de energia dos equipamentos afetados por uma MMEE do consumo de energia do resto da instalação:

- Opção A, Verificação Isolada da MMEE: Medição dos parâmetros chave.
- Opção B, Verificação Isolada da MMEE: Medição de todos os parâmetros.

Os equipamentos de medição serão instalados na Fronteira entre o equipamento renovado pela MMEE e os equipamentos que não lho estão.

Ao estabelecer uma Fronteira tem de se dar especial atenção aos fluxos de energia que se vão ver afetados pela MMEE, mas que ficam fora do limite de medição. Deve de ser aplicado um método para estimar esses efeitos cruzados.

As técnicas de Verificação Isolada da MMEE são apropriadas para os seguintes casos:

- Só há que determinar a *performance* do sistema que está afetado pela MMEE. Geralmente, isto acontece quando a poupança da MMEE é demasiado pequena como para que possa ser detetada usando a Opção C.
- Podem ser estimados, dentro de limites razoáveis, os efeitos cruzados das MMEE sobre o consumo de outros equipamentos da instalação, ou podem considerar-se insignificantes.
- Os possíveis câmbios introduzidos na instalação, para além da Fronteira, são difíceis de identificar e avaliar.
- Não é difícil nem custoso monitorizar as variáveis independentes que afetam ao consumo de energia.
- Já existiam equipamentos de medição para isolar o consumo de energia dos equipamentos.
- Os equipamentos de medição adicionais, dentro da Fronteira, podem ter outros usos, como fornecer um *feedback* de operação ou para faturar os consumos independentemente.
- A medição dos parâmetros chave é menos custosa que as simulações da Opção D, ou que os Ajustes Não-Rotineiros da Opção C.
- As provas de larga duração não estão garantidas.
- Não é necessário quadrar o Relatório Demonstrativo de Poupança com a variação dos pagamentos aos fornecedores de energia.

#### 7.4.2. Opção A, Verificação Isolada da MMEE: Medição dos parâmetros chave

##### 7.4.2.1. Descrição geral

Baixo a Opção A, Verificação Isolada da MMEE: Medição dos parâmetros chave, as quantidades de energia são definidas pela equação básica do IPMVP. Estas podem ser obtidas usando uma combinação entre a medição de algum dos parâmetros e a estimação dos outros. Estas estimações devem ser usadas onde seja possível demonstrar que a

incerteza combinada de todas estas estimações não afetará significativamente a poupança geral.

Considerar o aporte de cada parâmetro a incerteza total da poupança de energia para decidir qual é o parâmetro que tem de ser medido e quais têm de ser estimados. O valor estimado e a análise da sua importância devem estar refletidos no Plano de M&V. As estimações devem estar baseadas em dados históricos tais como horas de operação registadas no Período de Referência, dados fornecidos pelo fabricante dos equipamentos, provas de laboratório ou dados climatológicos médios.

Se um parâmetro, como as horas de uso, se sabe que é constante e não se espera que seja afetado pela MMEE, então a sua medição no Período de Referência ou Período de Reporte é suficiente. Por tanto, a medição do valor de um parâmetro como este durante o Período de Reporte pode ser considerada como a medição do mesmo parâmetro no Período de Referência e vice-versa.

No caso de que um parâmetro, que varia independentemente da energia, não seja medido na instalação durante ambos períodos (de Referência e de Reporte), o parâmetro deve ser tratado como um valor estimado.

Os cálculos detalhados dos modelos matemáticos poderão ser usados para avaliar a significância dos erros ao estimar algum parâmetro nas poupanças. O efeito combinado das estimações deve ser avaliado antes de determinar se há medições suficientes para o cálculo das poupanças.

A seleção dos fatores a medir também poderá ser considerada em relação aos objetivos do projeto ou as obrigações de um contratista assumindo riscos da *performance* da MMEE. Se um fator é significativo para avaliar a *performance*, esse deve ser medido. Outros fatores fora do controlo do contratista podem ser estimados.

No planeamento de um estudo pela Opção A, devem ser consideradas tanto a variação na energia do Período de Referência como no impacto energético da MMEE antes de estabelecer que parâmetros vão ser medidos e por quanto tempo. Os seguintes exemplos mostram o rango de cenários que podem acontecer:

- A MMEE reduz uma carga constante sem mudar as horas de operação.
- A MMEE reduz as horas de operação quanto que a carga não muda.
- A MMEE reduz ambas, a carga do equipamento e as horas de operação.

Geralmente, as condições de carga variável ou de horas de operação variáveis são as que precisam de medições e cálculos mais rigorosos.

#### 7.4.2.2. Cálculos

Para a Opção A, podem não ser necessários Ajustes Rotineiros e/ou Não-Rotineiros, dependendo da localização da Fronteira, a natureza de qualquer valor estimado, a duração do Período de Reporte ou o intervalo de tempo transcorrido entre as medições no Período de Referência e no Período de Reporte.

Igualmente, as medições de energia no Período de Referência e no Período de Reporte podem envolver a medição de um só parâmetro para a Opção A, e a estimação do resto dos parâmetros. Por tanto, em ocasiões, a equação geral pode simplificar-se a:

$$\begin{aligned} & \text{Poupanças} = \\ & = \text{Horas de utilização} \cdot (\text{Energia Período Referência} - \text{Energia Período Reporte}) \end{aligned}$$

**Figura 7.4 - Equação base para a Opção A do IPMVP (Fonte: IPMVP [14])**

#### 7.4.2.3. Verificação da instalação

Já que alguns valores podem ser estimados baixo a Opção A, tem de se ter atenção na revisão do desenho de engenharia e na instalação para garantir que as estimações são realistas, atingíveis e baseadas em equipamentos que realmente podem produzir a poupança desejada.

A instalação deve ser inspecionada repetidamente em intervalos definidos durante o Período de Reporte para verificar a operação e manutenção dos equipamentos.

#### 7.4.2.4. Custos

A determinação da poupança para a Opção A pode ser menos custosa que para outras opções, já que, no geral, o custo de estimar um parâmetro é significativamente inferior ao custo de medir-lho. Mesmo assim, nas ocasiões onde a estimação é o único caminho possível, um bom valor estimado pode ser ainda mais custoso que si for medido diretamente. A planificação de custos para a Opção A deve considerar todos os elementos: análises, estimação, instalação de equipamentos de medição e os custos operacionais de medir e recoletar dados.

#### 7.4.2.5. Melhores aplicações

A Opção A é recomendável quando:

- A estimação de parâmetros que não são chave pode evitar Ajustes Não-Rotineiros possivelmente difíceis de realizar quando acontecem câmbios no futuro dentro da Fronteira.
- A incerteza criada pelas estimações é aceitável.
- A efetividade continuada da MMEE pode ser avaliada por simples probas rotineiras ou inspeções dos parâmetros chave.
- A estimação de alguns parâmetros é menos custosa que a medição destes baixo a Opção B ou baixo a simulação com a Opção D.
- Parâmetros chave usados para avaliar a *performance* do projeto o do contratista para calcular a poupança são de simples identificação.

#### 7.4.3. Opção B, Verificação Isolada da MMEE: Medição de todos os parâmetros

##### 7.4.3.1. Descrição geral

A Opção B, Verificação Isolada da MMEE: Medição de todos os parâmetros, precisa da medição de quantidades de energia ou parâmetros, necessários para calcular a energia usando a equação básica do IPMVP. As poupanças geradas pela maioria de tipos de MMEE podem ser determinadas pela Opção B, embora o grau de dificuldade e os custos aumentam ao aumentar a complexidade das medições. Os métodos da Opção B geralmente vão ser mais complexos e custosos que os da Opção A. Mas a Opção B vai fornecer resultados mais rigorosos na medição da carga ou na poupança de padrões variáveis.

##### 7.4.3.2. Cálculos

Em ocasiões, baixo a utilização da Opção B, pode que não sejam precisos ajustes, Rotineiros ou Não-Rotineiros, dependendo da localização da Fronteira, a duração do Período de Reporte ou o intervalo entre as medições do Período de Referência e o Período de Reporte. Assim, em alguns casos usando a Opção B, a equação geral pode simplificar-se como:

$$\text{Poupanças} = \text{Energia Período Referência} - \text{Energia Período Reporte}$$

**Figura 7.5 - Equação base para a Opção B do IPMVP (Fonte: IPMVP [14])**

#### 7.4.3.3. Melhores aplicações

A Opção B é recomendável quando:

- Os equipamentos de medição usados para Verificação Isolada vão ser utilizados para outros propósitos como retroalimentação da operação ou faturação independente.
- A medição dos parâmetros é menos custosa que a simulação da Opção D.
- A poupança ou a operação dentro da Fronteira são variáveis.

#### 7.4.4. Opção C: Toda a Instalação

##### 7.4.4.1. Descrição geral

A Opção C supõe a utilização de equipamentos de medição das empresas fornecedoras de energia, equipamentos de medição em toda a instalação ou equipamentos de medição em paralelo para avaliar a *performance* energética de toda a instalação. A Fronteira pode incluir toda a instalação ou uma parte importante da mesma. Esta opção determina as poupanças conjuntas das diferentes MMEE implementadas na parte da instalação que está a ser monitorizada pelos equipamentos de medição.

A Opção C está destinada a projetos onde as poupanças esperadas são grandes em comparação com as variações aleatórias de energia que acontecem ao nível de toda a instalação. Nesta opção, quanto mais extenso seja o período de análise depois da implementação da MMEE, mais preciso será o cálculo porque existem mais dados e as variações inexplicáveis que possam acontecer, serão menos relevantes.

O desafio principal para a Opção C é identificar os câmbios na instalação que vão precisar de Ajustes Não-Rotineiros, particularmente, quando as poupanças estão a ser monitorizadas por largos períodos de tempo.

##### 7.4.4.2. Cálculos

Para a Opção C, o termo dos Ajustes Rotineiros, da equação da Figura 7.6, é obtido através do desenvolvimento de um modelo matemático válido de cada padrão de uso para cada equipamento de medição de energia:

$$\begin{aligned} & \text{Poupanças} = \\ & = \text{Energia Período Referência} - \text{Energia Período Reporte} \\ & \quad \pm \text{Ajustes Rotineiros} \pm \text{Ajustes Não Rotineiros} \end{aligned}$$

**Figura 7.6 - Equação base para a Opção C do IPMVP (Fonte: IPMVP [14])**

Um modelo pode ser tão simples como uma listagem ordenada de doce quantidades de energia medida mensalmente sem ajuste nenhum. Mesmo assim, o modelo também pode estar baseado em dados de intervalos mais pequenos.

A Opção C usualmente deve usar anos completos de dados continuados durante o Período de Referência e o Período de Reporte. Para dados de curto prazo, podem ser usados menos meses de dados, mas deve se ter atenção para assegurar que o rango de dados seja representativo de todo o ano do Período de Referência.

Os dados medidos para toda a instalação podem ser horários, diários ou mensais e podem ser combinados em intervalos de tempo mais amplos, tais como diários, para limitar o número de variáveis independentes requeridas para gerar um modelo razoável do Período de Referência sem incrementar significativamente a incerteza nas poupanças calculadas. Ao verificar as poupanças de demanda, deve ser suficiente com usar só os dados de dias anteriores em condições climáticas semelhantes para desenvolver os modelos de demanda. Muitos modelos estadísticos são apropriados para a Opção C.

#### 7.4.4.3. Medições

As medições em toda a instalação podem usar os equipamentos de medição das empresas fornecedoras de energia. Os dados destes equipamentos são considerados com o 100% de precisão para determinar as poupanças obtidas, já que são estes dados os que definem a faturação de energia. Os dados dos equipamentos de medição de empresas fornecedoras de energia estão sujeitos as regulações locais de venda de energia em quanto a precisão.

Os equipamentos de medição independentes instalados pelo proprietário da instalação podem medir a energia pela Opção C. A precisão destes equipamentos de medida deve ser considerada no Plano de M&V, junto com a forma de comparar as leituras com as leituras dos equipamentos de medição das empresas fornecedoras de energia.

#### 7.4.4.4. Custos

Os custos da Opção C dependem da fonte de dados de energia e da dificuldade para rastrear fatores estáticos dentro da Fronteira para possíveis Ajustes Não-Rotineiros durante o Período de Reporte. Os equipamentos de medição das empresas fornecedoras de energia ou um equipamento de medida em paralelo existente, são uma boa escolha se os dados do equipamento são registados de forma adequada.

Os custos de rastreio de câmbios em fatores estáticos dependem do tamanho da instalação e da probabilidade de cambio destes fatores, a dificuldade em detetar-lhos e os equipamentos já instalados.

#### 7.4.4.5. Melhores aplicações

A Opção C é recomendável quando:

- É avaliada a *performance* energética de toda a instalação, não só das MMEE.
- Há muitos tipos de MMEE numa instalação.
- As MMEE envolvem atividades para as que o consumo e a demanda de energia são difíceis de medir por separado.
- As poupanças são grandes em comparação com a variação dos dados no Período de Referência e no Período de Reporte.
- As técnicas de Medição Isolada (Opções A e B) são muito complexas e custosas.
- Não são esperados câmbios significativos na instalação durante o Período de Reporte.
- Um sistema para rastrear os fatores estáticos pode ser estabelecido para permitir possíveis Ajustes Não-Rotineiros no futuro.
- Podem ser achadas correlações razoáveis entre consumo e demanda de energia e variáveis independentes.

#### 7.4.5. Opção D: Simulação Calibrada

##### 7.4.5.1. Descrição geral

A Opção D: Simulação Calibrada obriga a utilização de *softwares* de simulação energética de edifícios para prever o consumo de energia da instalação, no geral, quando não existe um Período de Referência. Quando há dados disponíveis medidos no Período

de Referência ou nas condições atuais, o modelo de simulação é calibrado para que prediga a energia e o perfil de carga que melhor se aproxime a esses dados reais medidos.

A Opção D pode ser usada para avaliar a *performance* da MMEE para toda a instalação, como a Opção C. Mesmo assim, o modelo de simulação de toda a instalação também pode ser usado para fornecer uma estimativa atribuível a cada MMEE para um projeto com múltiplas MMEE.

A Opção D também pode ser usada para avaliar a *performance* de sistemas individuais dentro de uma instalação, como acontece com as Opções A y B. Para esta aplicação, o consumo e a demanda de energia do sistema devem estar isolados do resto da instalação com equipamentos de medição apropriados, os quais serão usados para realizar a calibração do modelo de simulação.

#### 7.4.5.2. Calibração

A poupança determinada com a Opção D está baseada em modelos físicos e técnicas de resolução numérica usadas para prever o consumo e demanda de energia. A precisão no cálculo das poupanças depende da habilidade do utilizador, a fiabilidade do modelo e o nível de calibração.

Geralmente, a calibração da simulação de toda a instalação é realizada com os dados das faturas do fornecedor de energia de doze meses consecutivos a lo largo de um período de operação estável. Numa instalação nova, pode que isto não aconteça até depois de vários meses, quando a ocupação e a operação sejam já estáveis. O tempo de calibração e os dados que vão ser utilizados devem estar documentados no Plano de M&V.

Os dados de calibração devem incluir características de operação, ocupação, clima, cargas e eficiência dos equipamentos. Os parâmetros devem ser medidos num intervalo apropriado ou devem ser extraídos de registos existentes de operação e registos de dados. A precisão dos equipamentos de medida deve ser verificada. Sempre que possível, outras variáveis que sejam parâmetros influentes, como ventilação do edifício e taxas de infiltração, também devem ser medidos. O nível de calibração deve estar estabelecido no Plano de M&V e refletir o nível de fiabilidade e precisão justificado para o projeto.

#### 7.4.5.3. Cálculos

A poupança pode ser obtida usando os resultados de simulações calibradas que representem o Período de Referência e o Período de Reporte. Se o Período de Referência

não existe (Em novas construções, por exemplo), o modelo calibrado do Período de Reporte, pode ser usado para desenvolver o modelo do Período de Referência. Se o Período de Referência já existe, é possível desenvolver um modelo calibrado que represente as condições existentes para prever o impacto das MMEE. Depois da instalação da MMEE, o consumo e a demanda de energia do Período de Reporte são utilizados para calibrar o modelo inicial do Período de Referência com as MMEE previstas (Por exemplo, o modelo como foi desenhado para uma nova construção). Uma vez calibrado, as MMEE devem ser retiradas do modelo para criar o modelo do Período de Referência. O modelo representa uma construção existente baixo as condições do Período de Reporte. Se o desejado é reportar a poupança baixo condições normais, o modelo calibrado do Período de Reporte, deve ser modificado para representar as condições normais (Por exemplo, condições climáticas normais, outras variáveis independentes normais) e então, retirar as MMEE para desenvolver o modelo do Período de Referência.

Em qualquer caso, os modelos e os dados de energia medidos devem estar baixo as mesmas condições de operação.

#### 7.4.5.4. Relatório Demonstrativo de Poupança

Se é necessária uma evolução da *performance* de vários anos, os modelos devem ser recalibrados cada ano do Período de Reporte. Como alternativa, a Opção D poderia ser usada unicamente no primeiro ano depois da instalação das MMEE. Nos seguintes anos, pode ser aplicada a Opção C com o Período de Referência baseado nos dados medidos no Período de Reporte do primeiro ano de operação estável. Neste caso, a Opção C é usada nos anos seguintes para rastrear a persistência da poupança.

#### 7.4.5.5. Melhores aplicações

No geral, a Opção D é aplicada quando não são factíveis outras opções. Esta é recomendável quando:

- Os dados de energia do Período de Referência não estão disponíveis ou não são fiáveis.
- Em instalações com medida centralizada onde não existem equipamentos de medição individuais da instalação no Período de Referência, mas estão disponíveis equipamentos de medição individuais depois da instalação da MMEE.

- Existem demasiadas MMEE para avaliar usando as Opções A e B.
- A *performance* de cada MMEE vai ser estimada individualmente para um projeto com múltiplas MMEE, por tanto, os custos das Opções A e B seriam muito elevados.
- As interações entre MMEE são complexas e significativas, fazendo que a técnica de Medição Isolada (Opções A e B) não seja conveniente.

## 7.5. CONTEUDO DO PLANO DE M&V

Quando o objetivo é determinar uma poupança, é aconselhável a elaboração de um Plano de M&V. Uma planificação detalhada garante que serão disponibilizados todos os dados necessários para poder determinar a poupança após a implementação de uma MMEE, dentro de um orçamento razoável.

Uma componente chave para a conformidade de um Plano de M&V com o IPMVP supõe a criação de um documento, claro e transparente, que descreva as diferentes medições e dados que vão ser recolhidos, os métodos de análise utilizados e as atividades de verificação que sejam realizadas para avaliar a *performance* de uma MMEE ou de um projeto.

### 7.5.1. Requerimentos fundamentais

De seguida são apresentados os requerimentos fundamentais para o acolhimento de um Plano de M&V ao IPMVP:

- a) Descrição da instalação e do projeto.

O Plano de M&V deve conter uma descrição completa da instalação junto com uma listagem de todas as MMEE que fazem parte do projeto. Este ponto também deve incluir referencias a qualquer informe de auditoria energética ou outras análises que tenham sido utilizadas para avaliar o projeto.

- b) Propósito das MMEE.

Esta secção do Plano de M&V deve fornecer uma visão clara do alcance de cada uma das MMEE e seu propósito. Esta secção, no mínimo, deve incluir:

- Uma descrição de cada MMEE.
- Como a MMEE poupa energia ou outros recursos.
- Inventario dos equipamentos afetados.

- Poupanças esperadas.

c) Opção do IPMVP e Fronteira.

O Plano de M&V deve especificar a opção do IPMVP que vai ser usada para avaliar a poupança. Este ponto também deve identificar a Fronteira que limita as medições para a obtenção da poupança.

Adicionalmente, este ponto também deve identificar a natureza de quaisquer efeitos cruzados existentes fora da Fronteira, junto com o possível impacto sobre a poupança do projeto.

d) Período de Referência.

Esta secção do Plano de M&V documenta o consumo de energia no Período de Referência da instalação ou sistema, além dos parâmetros que influenciam o consumo de energia dentro da Fronteira.

A documentação do Período de Referência deve de incluir a seguinte informação:

- Identificação do período. O tempo durante o qual as condições do Período de Referência da instalação são avaliadas e documentadas. Este período, no geral, costuma ser de um ano, mas pode ser adaptado dependendo das necessidades específicas da M&V.
- Informação sobre o consumo de energia. Podem ser usados os dados de faturação para o Período de Referência, se a opção escolhida é a Opção C, ou podem ser dados procedentes de medições se estão a ser usadas as Opções A ou B.
- Condições operacionais. Definir as condições operacionais principais da instalação correspondentes a variáveis dependentes (Por exemplo, níveis de ocupação) ou independentes (Por exemplo, temperatura ambiente).

e) Período de Reporte.

O Período de Reporte é o intervalo de tempo escolhido para avaliar e quantificar a *performance* das MMEE depois ter sido implementadas. O Plano de M&V deve identificar o Período de Reporte durante o qual a MMEE ou o projeto estão a ser avaliados. Isto pode ser para um período tão curto como o tempo que demora em

realizar-se uma medição ou tão amplo como o tempo que demora em recuperar-se o investimento.

f) Base dos ajustes.

As condições operativas que afetam ao consumo de energia podem diferir entre o Período de Referência e o Período de Reporte. É importante realizar ajustes para considerar estas trocas nas condições operativas.

O Plano de M&V deve fornecer os detalhes expondo que o consumo de energia para o Período de Referência e/ou Período de Reporte vai ser ajustado para permitir uma comparação e cálculo de poupança válida.

g) Metodologia de cálculo e procedimento de análise.

O Plano de M&V deve especificar os procedimentos de análise de dados, a descrição dos modelos e as hipóteses utilizadas no cálculo da poupança para o Período de Reporte.

Para cada modelo usado, é necessário identificar e definir todas as variáveis independentes, variáveis dependentes e outros parâmetros relacionados com o modelo.

h) Preços da energia.

O Plano de M&V também deve especificar os preços de faturação do fornecedor de energia ou as tarifas que vão ser usadas para o cálculo da poupança. Além da forma na que é ajustada a poupança com a variação dos preços da energia.

i) Especificações dos equipamentos de medição.

O Plano de M&V deve especificar os equipamentos de medição que vão ser usados para obter dados, bem seja para medições pontuais ou contínuas. Para equipamentos de medição que não sejam da empresa fornecedora de energia, o Plano de M&V deve especificar:

- Tipo de equipamento de medida, fabricante, modelo e características.
- Especificações técnicas dos equipamentos de medida.
- Protocolos de leitura dos equipamentos de medida.
- Procedimento de posta em marcha.

- Procedimento de calibração.
- Metodologia perante a transferência ou perda de dados.

j) Responsáveis da monitorização.

O Plano de M&V deve de assignar responsabilidades para a recolha, registo e análise dos dados. A gestão de dados deve ser assignada a quem esteja qualificado para avaliar, administrar e fornecer dados de maneira eficiente e efetiva. Entre os dados monitorizados que devem ser administrados estão:

- Dados de energia.
- Variáveis independentes.
- Fatores estáticos dentro da Fronteira.
- Achados das inspeções periódicas.

k) Precisão esperada.

O Plano de M&V deve incluir a precisão esperada associada as medições, captação de dados, amostragem e análise dos dados. Esta avaliação deve incluir considerações qualitativas e quantitativas relacionadas com o nível de incerteza das medições e a descrição dos ajustes que vão ser usados no Relatório Demonstrativo de Poupança.

l) Orçamento.

O Plano de M&V deve incluir o orçamento e os recursos requeridos para determinar a poupança, incluindo os custos da implementação inicial e das tarefas de avaliação, documentação e registo da *performance* para o Período de Reporte.

m) Formato do Plano de M&V.

O Plano de M&V deve especificar como vão ser disponibilizados e documentados os resultados para o Período de Reporte.

n) Garantia de qualidade.

O Plano de M&V deve especificar os procedimentos de qualidade que serão utilizados para a recolha de dados no Período de Referência e no Período de Reporte, cálculos, Relatórios Demonstrativos de Poupança e qualquer passo intermedio na preparação destes.

### 7.5.2. Requerimentos adicionais de um Plano de M&V para a Opção A

a) Justificação das estimações.

O Plano de M&V deve identificar claramente as variáveis que vão ser estimadas como parte do cálculo da poupança. Isto inclui os valores reais usados e a fonte de qualquer valor estimado.

b) Inspeções periódicas.

O Plano de M&V deve estabelecer as inspeções periódicas que vão ser realizadas no Período de Reporte para verificar que os equipamentos seguem instalados e funcionando como era espectável.

### 7.5.3. Requerimentos adicionais de um Plano de M&V para a Opção D

a) Nome do *software*.

O Plano de M&V deve incluir o nome e a versão do *software* de simulação usado para o cálculo da poupança.

b) Dados de entrada e saída.

O Plano de M&V deve fornecer uma copia eletrónica e em papel dos ficheiros de entrada e saída, além dos dados climatológicos que foram usados na simulação. Também devem ser incluídos os cálculos e qualquer método de post-processado que for usado.

c) Dados medidos.

O Plano de M&V deve descrever o processo de obtenção de qualquer dado medido, incluindo quais dos parâmetros de entrada foram medidos e quais foram estimados. Os dados reais medidos também devem ser apontados e os dados sem processar devem ser arquivados, mas ficando disponíveis para consulta.

d) Calibração.

O Plano de M&V deve informar sobre os dados de energia e meios utilizados na calibração, incluindo os requisitos e precisão com a que os resultados da simulação se correspondem com os dados da energia calibrada. Os dados fornecidos devem ser em intervalos mínimos de um mês, mesmo que seja preferível uma maior periodicidade.

- e) Trocas futuras.

O Plano de M&V deve conter uma descrição do método para fazer os apropriados Ajustes Não-Rotineiros. Os Ajustes Não-Rotineiros podem precisar de uma revisão do modelo e novos cálculos para a energia no Período de Referência e no Período de Reporte.

## **7.6. ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS DEMONSTRATIVOS DE POUPANÇA**

Os Relatórios Demonstrativos de Poupança são estabelecidos como um método para documentar a *performance* global do projeto e da MMEE, utilizando os processos descritos no Plano de M&V. O relatório deve incluir, no mínimo, as seguintes informações:

- Histórico do projeto.
- Descrição da MMEE.
- Opção selecionada para a MMEE como parte do Plano de M&V.
- Data inicial e final do Período de Reporte.
- Atividades de M&V desenvolvidas durante o Período de Reporte, incluindo:
  - Início e final do período de medição.
  - Dados de uso de energia.
  - Dados para as variáveis independentes e os fatores estáticos.
  - Descrição das atividades de inspeção realizadas.
  - Metodologia e cálculo da poupança verificada.
  - Descrição detalhada da metodologia de análise de dados.
  - Listagem atualizado de hipóteses de cálculo e fonte de dados utilizados.
  - Detalhes de qualquer ajuste no Período de Referência, incluindo Ajustes Rotineiros ou Ajustes Não-Rotineiros para validar as diferentes trocas.
  - Detalhes dos custos de energia usados para o cálculo da poupança obtida.
  - Resumo da poupança verificada, a poupança nos custos e a comparação com a poupança prevista inicialmente.

Cada relatório deve ser concebido individualmente, tendo de ser adaptado as diferentes necessidades dos leitores de um Relatório Demonstrativo de Poupança.

## **8. PLANOS DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO**

No presente capítulo vão ser apresentados os Planos de M&V destinados a avaliar as MMEE implementadas no complexo desportivo que é objeto de estudo desta Dissertação.

A avaliação das MMEE vai ser realizada desde duas óticas diferentes. Por um lado, vai ser elaborado um Plano de M&V para a avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo. Por outro, vão ser elaborados até quatro Planos de M&V para a avaliação individual de cada uma delas.

### **8.1. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO GLOBAL**

#### **8.1.1. Objetivo**

Como já foi referido em capítulos anteriores, as Piscinas Municipais de Silves foram alvo de até quatro MMEE com o objetivo principal de reduzir os consumos energéticos da edificação. Consequentemente, também são espectáveis uma redução significativa dos custos energéticos para o município e uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> do complexo desportivo.

As MMEE que foram executadas nas Piscinas de Municipais de Silves e que vão ser avaliadas com este Plano de M&V são as seguintes:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW.
- Instalação de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas.
- Substituição da iluminação existente por lâmpadas LED.
- Substituição das bombas de circulação existentes por bombas de elevada eficiência.

Os estudos prévios estimavam uma redução do consumo energético de 482.506 kWh anuais.

O propósito principal deste Plano de M&V é definir o processo para demonstrar a redução dos consumos energéticos associados as MMEE mediante uma avaliação Ex-Post.

### 8.1.2. Opção do IPMVP e Fronteira

O Plano de M&V e o posterior Relatório Demonstrativo de Poupança serão elaborados seguindo as diretrizes da Opção C do IPMVP. A Opção C caracteriza-se pela medição de toda a instalação e foi designada pelos seguintes motivos:

Há vários tipos de MMEE na instalação.

- A utilização das técnicas de Medição Isolada (Opções A e B) elevariam em grande medida os custos e a complexidade do processo de M&V.
- É possível ter acesso aos dados dos consumos energéticos (eletricidade e gás) da instalação.
- As poupanças esperadas são grandes em comparação com a variação dos dados no Período de Referência e no Período de Reporte.

Como é característico da Opção C, a Fronteira (ou limite de medição) é toda a instalação.

### 8.1.3. Período de Referência

O Período de Referência definido para a análise é o ano de 2016, ano de referência para a elaboração da candidatura ao CRESC Algarve submetida a finais do ano 2017.

No Período de Referência, isto é, antes de terem sido implementadas as MMEE, o complexo desportivo não dispunha de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, por tanto, toda a energia consumida nas Piscinas Municipais de Silves era fornecida pelos provedores de eletricidade e gás.

Em relação aos consumos de energia elétrica tomada da rede de abastecimento, existem faturas mensais que indicam os kWh consumidos e os custos associados a estes consumos.

Por outra parte, em quanto ao gás fornecido a granel, também existem faturas que indicam os kg de gás propano abastecido e as datas de entrega. Estes, mesmo não sendo valores tão precisos como os aportados por um contador da empresa fornecedora, são de grande relevância para o cálculo da energia consumida com a queima de gás.

Logo, o cálculo da energia consumida no Período de Referência antes da implementação das MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.1:

$$E_{Ref} [kWh] = E_{Elect Ref} [kWh] + E_{Gás Ref} [kWh]$$

**Figura 8.1 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Global)**

Sendo:

- $E_{Ref}$  - Energia consumida durante o Período de Referência.
- $E_{Elect Ref}$  - Energia elétrica consumida no Período de Referência.
- $E_{Gás Ref}$  - Energia consumida através da queima de gás no Período de Referência.

No entanto, uma vez que os abastecimentos de gás propano são dados em kg e não em kWh, tem de ser realizada a conversão/equivalência seguindo a equação da Figura 8.2:

$$E_{Gás Ref} [kWh] = \frac{m_{C_3H_8} [kg] \cdot PCI_{C_3H_8} [kJ/kg]}{3600 [s]}$$

**Figura 8.2 - Equação para o cálculo da energia consumida através da queima de gás no Período de Referência (Global)**

Sendo:

- $E_{Gás Ref}$  - Energia consumida através da queima de gás no Período de Referência.
- $m_{C_3H_8}$  - Massa de gás propano consumida no Período de Referência.
- $PCI_{C_3H_8}$  - Poder Calorífico Inferior do gás propano.

#### 8.1.4. Período de Reporte

Perante a situação pandémica atual, diversas conjunturas impossibilitaram a eleição do ano civil de 2021 para o Período de Reporte. É por isto que foi escolhido o intervalo de tempo de Julho de 2021 a Junho de 2022 para o Período de Reporte.

No Período de Reporte, isto é, depois de terem sido implementadas as MMEE, o processo de medição da energia consumida será efetuado através da informação retirada das:

- Faturas do fornecedor de energia elétrica.
- Faturas do fornecedor de gás.

Por tanto, o cálculo da energia consumida no Período de Reporte depois da implementação das MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.3:

$$E_{Rep} [kWh] = E_{Elect Rep} [kWh] + E_{Gás Rep} [kWh]$$

**Figura 8.3 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Global)**

Sendo:

- $E_{Rep}$  - Energia consumida durante o Período de Reporte.
- $E_{Elect Rep}$  - Energia elétrica consumida no Período de Reporte.
- $E_{Gás Rep}$  - Energia consumida através da queima de gás no Período de Reporte.

É necessário apontar que a forma em que é abastecido o complexo desportivo mudou a finais do ano 2019, passando a ser gás canalizado. Ou seja, para o Período de Reporte, as quantidades de gás propano consumidas serão reportadas em  $m^3$ . Sendo assim, uma vez que os consumos de gás são dados em  $m^3$  e não em kWh, tem de ser realizada a conversão/equivalência seguindo a equação da Figura 8.4:

$$E_{Gás Rep} [kWh] = \frac{V_{C_3H_8} [m^3] \cdot PCI_{C_3H_8} [kJ/m^3]}{3600 [s]}$$

**Figura 8.4 - Equação para o cálculo da energia consumida através da queima de gás no Período de Reporte (Global)**

Sendo:

- $E_{Gás Rep}$  - Energia consumida através da queima de gás no Período de Reporte.
- $V_{C_3H_8}$  - Volume de gás propano consumido no Período de Reporte.
- $PCI_{C_3H_8}$  - Poder Calorífico Inferior do gás propano.

#### 8.1.5. Base dos ajustes

Os ajustes que têm de ser realizados estão associados a duas situações:

- A variação da ocupação.

A variação da ocupação afeta de forma direta à utilização das AQS, e por tanto, a quantidade de gás consumida.

- A supressão de um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro).

Por outra parte, a supressão do Chapinheiro afeta aos consumos de eletricidade e gás. O consumo de eletricidade é influenciado devido à desativação de até três bombas de circulação do sistema de bombagem. No entanto, o consumo de gás é

influenciado devido à redução das necessidades de aquecimento de água destinada a cobrir as perdas por evaporação.

Estes acontecimentos obrigam à correção dos consumos energéticos de eletricidade e gás do Período de Referência.

- Ajuste 1 ( $A_{Occup}$ ) - O nível de ocupação do complexo desportivo sofreu uma variação notável entre o Período de Referência e o Período de Reporte. Por tanto, face à influência que tem a ocupação na utilização de AQS e, por conseguinte, no consumo de gás, deverá de ser realizado um ajuste com base em dados retirados do Relatório da Auditoria Energética realizada ao complexo desportivo.

$$A_{Occup} [kWh] = \frac{N_{Ut} \cdot \left[ \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C])}{3600 [s]} \right]}{\eta_{cal}}$$

Figura 8.5 - Equação para o Ajuste 1 (Global)

Sendo:

- $A_{Occup}$  - Energia consumida pelos utilizadores das AQS.
  - $N_{Ut}$  - Número de utilizadores das AQS.
  - $m$  - Quantidade de água consumida por cada utilizador.
  - $c_p$  - Calor específico da água (Constante).
  - $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
  - $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.
- Ajuste 2 ( $A_{S.B.}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a desativação de até três bombas de circulação do total de dezanove que constituíam o sistema de bombagem.

No Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, não foi possível realizar quaisquer medições nos equipamentos instalados no complexo desportivo. Por tanto, perante este obstáculo, vão ser utilizados os valores das potências declaradas pelos fabricantes para a obtenção do ajuste.

Em relação aos tempos de funcionamento do sistema de bombagem, vão ser utilizados os valores estimados pelos técnicos da Câmara Municipal de Silves para a obtenção do ajuste.

$$A_{S.B.} [kWh] = P_{Fil\ 1} [kW] \cdot t_{Fil\ 1} [h] + P_{Fil\ 2} [kW] \cdot t_{Fil\ 2} [h] + P_{Ida} [kW] \cdot t_{Ida} [h]$$

**Figura 8.6 - Equação para o Ajuste 2 (Global)**

Sendo:

- $A_{S.B.}$  - Energia consumida pelas bombas de circulação desativadas.
  - $P_{Fil\ 1}$  - Potência da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
  - $t_{Fil\ 1}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
  - $P_{Fil\ 2}$  - Potência da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
  - $t_{Fil\ 2}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
  - $P_{Ida}$  - Potência da bomba do Circuito do Coletor de Ida.
  - $t_{Ida}$  - Tempo de funcionamento da bomba do Circuito do Coletor de Ida.
- Ajuste 3 ( $A_{Chap\ 1}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe uma redução significativa das necessidades de aquecimento da água utilizada no reenchimento do vaso devido, principalmente, à evaporação e à retirada pelos utilizadores.

$$A_{Chap\ 1} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

**Figura 8.7 - Equação para o Ajuste 3 (Global)**

Sendo:

- $A_{Chap\ 1}$  - Energia consumida no aquecimento da água dos reenchimentos.
- $m$  - Quantidade de água utilizada no reenchimento.
- $c_p$  - Calor específico da água (Constante).
- $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.

- Ajuste 4 ( $A_{Chap 2}$ ) - Ligado ao vaso suprimido (o Chapinheiro), também existe um consumo energético associado à mudança de fase da quantidade de água evaporada. Este ajuste é realizado com base nas diretrizes do Método da ASHRAE para o cálculo deste tipo de processos.

$$A_{Chap 2} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_{l,ev} [kJ/kg]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

**Figura 8.8 - Equação para o Ajuste 4 (Global)**

Sendo:

- $A_{Chap 2}$  - Energia consumida no processo de evaporação da água.
- $m$  - Quantidade de água evaporada (Em base ao Método da ASHRAE).
- $c_{l,ev}$  - Calor latente da água (Em base ao Método da ASHRAE).
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.

#### 8.1.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise

O cálculo das poupanças das MMEE tem de ser corrigido com ajuda de vários ajustes que equiparam as condições do Período de Referência com as do Período de Reporte. Sendo assim, da energia consumida durante o Período de Referência tem de ser retirada a energia resultante dos quatro ajustes criados, de forma que o consumo de energia no Período de Referência é redefinido seguindo a equação da Figura 8.9.

$$E_{Ref Red} = E_{Ref} - (A_{Ocup} + A_{S.B.} + A_{Chap 1} + A_{Chap 2})$$

**Figura 8.9 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Global)**

As poupanças serão determinadas pela diferença entre o consumo de energia antes da implementação das MMEE e o consumo de energia depois da implementação das MMEE.

$$Poupanças = E_{Ref Red} - E_{Rep}$$

**Figura 8.10 - Equação para o cálculo das poupanças (Global)**

#### 8.1.7. Preço da energia

Na candidatura foram considerados uns valores de 0,14€ o kWh de eletricidade e de 0,10€ o kWh de gás (Propano).

#### 8.1.8. Especificações dos equipamentos de medição

As medições dos consumos de eletricidade e gás da edificação serão feitas em base as leituras dos equipamentos (os contadores) das empresas fornecedoras.

#### 8.1.9. Responsabilidade de monitorização

As faturas dos consumos mensais de eletricidade e gás associados ao complexo desportivo serão fornecidas pelos técnicos da Câmara Municipal de Silves.

Serão também os técnicos da Câmara Municipal de Silves os encarregados de fornecer os dados relativos aos níveis de ocupação do complexo desportivo.

Da mesma maneira, os relatórios mensais obtidos no *software* de telegestão do sistema solar fotovoltaico serão fornecidos pelo Engenheiro encarregado das instalações das Piscinas Municipais de Silves.

#### 8.1.10. Precisão esperada

Não determinada.

#### 8.1.11. Orçamento

O valor estimado para o processo de M&V encontra-se definido na candidatura ao CRESC Algarve e representa menos de 5% do valor do investimento.

#### 8.1.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança

O Relatório Demonstrativo de Poupança será um documento independente elaborado seguindo as diretrizes e considerações realizadas neste Plano de M&V.

O documento estará organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo serão definidos os objetivos do Relatório Demonstrativo de Poupança, no segundo capítulo será feita uma caracterização do cenário apresentado na candidatura ao CRESC Algarve, no terceiro capítulo serão mostrados os dados observados no Período de Referência, no quarto serão mostrados os dados observados no Período de Reporte e no quinto serão descritos os ajustes realizados. Por último, será avaliada a poupança medida e serão descritas as considerações finais do estudo.

#### 8.1.13. Garantia de qualidade

A elaboração do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança são supervisionados por um Técnico com o título de *Certified Measurement and Verification Professional* (CMVP).

## **8.2. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

### **8.2.1. Objetivo**

Uma vez que já foi definido o Plano de M&V para a avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo, todas e cada uma das MMEE serão avaliadas individualmente mediante Planos de M&V específicos. De este modo, poderá ser verificado se a poupança estimada para a MMEE nos estudos prévios está em linha com os resultados obtidos depois da intervenção.

A MMEE que foi executada nas Piscinas de Municipais de Silves e que vai ser avaliada com este Plano de M&V é a seguinte:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW.

Os estudos prévios estimavam a geração de energia em 182.721 kWh anuais.

O propósito principal deste Plano de M&V é definir o processo para demonstrar a geração de energia associada a esta MMEE mediante uma avaliação Ex-Post.

### **8.2.2. Opção do IPMVP e Fronteira**

O Plano de M&V e o posterior Relatório Demonstrativo de Poupança serão elaborados seguindo as diretrizes da Opção B do IPMVP. A Opção B caracteriza-se pela medição isolada da MMEE a través da medição de todos os parâmetros, sendo designada pelos seguintes motivos:

- A MMEE implementada possui um sistema de telegestão capaz de fornecer todos os dados da instalação.
- A medição dos parâmetros é menos custosa que desenvolver uma simulação calibrada (Opção D).
- A poupança gerada pela MMEE dentro da Fronteira pode variar consoante as condições climatéricas.

A Fronteira (ou limite de medição) é o próprio sistema solar fotovoltaico instalado no complexo desportivo.

### 8.2.3. Período de Referência

O Período de Referência definido para a análise é o ano de 2016, ano de referência para a elaboração da candidatura ao CRESC Algarve submetida a finais do ano 2017.

No Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, o complexo desportivo não dispunha de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, por tanto, não existe nenhum ponto de referência para a avaliação das poupanças da MMEE. É por isto que vai ser considerada a estimacão de geracão de energia do estudo prévio à implementacão da MMEE.

### 8.2.4. Período de Reporte

Perante a situacão pandémica atual, diversas conjunturas impossibilitaram a eleicão do ano civil de 2021 para o Período de Reporte. É por isto que foi escolhido o intervalo de tempo de Julho de 2021 a Junho de 2022 para o Período de Reporte.

No Período de Reporte, isto é, depois de ter sido implementada a MMEE, o processo de mediçao será efetuado através da informacão retirada das leituras mensais do *software* de telegestao do sistema solar fotovoltaico.

### 8.2.5. Base dos ajustes

Não foram determinados ajustes para esta MMEE.

### 8.2.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise

As poupanças, que neste caso correspondem a uma avaliacao direta da *performance* do sistema solar fotovoltaico com base nas estimativas prévias à implementacão da MMEE, serão determinadas mediante a expressao da Figura 8.11.

$$Poupanças = E_{Ref} - E_{Rep}$$

Figura 8.11 - Equacão para o cálculo das poupanças (Sistema solar fotovoltaico)

Sendo:

- $E_{Ref}$  - Energia gerada no Período de Referência.
- $E_{Rep}$  - Energia gerada no Período de Reporte.

### 8.2.7. Preço da energia

Na candidatura foi considerado um valor de 0,14€ o kWh de eletricidade.

#### 8.2.8. Especificações dos equipamentos de medição

Não determinadas.

#### 8.2.9. Responsabilidade de monitorização

Os relatórios mensais obtidos no *software* de telegestão do sistema solar fotovoltaico serão fornecidos pelo Engenheiro encarregado das instalações das Piscinas Municipais de Silves.

#### 8.2.10. Precisão esperada

Não determinada.

#### 8.2.11. Orçamento

O valor estimado para este processo de M&V já está refletido no orçamento associado à avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo.

#### 8.2.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança

O Relatório Demonstrativo de Poupança será um documento independente elaborado seguindo as diretrizes e considerações realizadas neste Plano de M&V.

O documento estará organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo serão definidos os objetivos do Relatório Demonstrativo de Poupança, no segundo capítulo será feita uma caracterização do cenário apresentado na candidatura ao CRESC Algarve, no terceiro capítulo serão mostrados os dados observados no Período de Referência e no quarto serão mostrados os dados observados no Período de Reporte. Por último, será avaliada a poupança medida e serão descritas as considerações finais do estudo.

#### 8.2.13. Garantia de qualidade

A elaboração do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança são supervisionados por um Técnico com o título de *Certified Measurement and Verification Professional* (CMVP).

### **8.3. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

#### 8.3.1. Objetivo

Uma vez que já foi definido o Plano de M&V para a avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo, todas e cada uma das MMEE serão avaliadas individualmente mediante Planos de M&V específicos. De este modo, poderá ser

verificado se a poupança estimada para a MMEE nos estudos prévios está em linha com os resultados obtidos depois da intervenção.

A MMEE que foi executada nas Piscinas de Municipais de Silves e que vai ser avaliada com este Plano de M&V é a seguinte:

- Instalação de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas.

Os estudos prévios estimavam uma redução do consumo energético de 163.527 kWh anuais.

O propósito principal deste Plano de M&V é definir o processo para demonstrar a redução dos consumos energéticos parciais associados a esta MMEE mediante uma avaliação Ex-Post.

### 8.3.2. Opção do IPMVP e Fronteira

O Plano de M&V e o posterior Relatório Demonstrativo de Poupança serão elaborados seguindo as diretrizes da Opção C do IPMVP. A Opção C caracteriza-se pela medição de toda a instalação e foi designada pelos seguintes motivos:

- A utilização das técnicas de Medição Isolada (Opções A e B) elevariam em grande medida os custos e a complexidade do processo de M&V. De igual modo, desenvolver uma simulação calibrada (Opção D) tampouco seria uma escolha viável.
- É possível ter acesso aos dados dos consumos energéticos da instalação.
- Os Ajustes Não-Rotineiros que devem ser realizados são facilmente identificáveis.

Como é característico da Opção C, a Fronteira (ou limite de medição) é toda a instalação, mas com a singularidade de estar sensivelmente restrita. Nesta ocasião, a Fronteira é menos abrangente que de costume, deixando sem efeito todos os consumos energéticos associados à eletricidade e sendo considerados unicamente os consumos energéticos associados ao gás.

### 8.3.3. Período de Referência

O Período de Referência definido para a análise é o ano de 2016, ano de referência para a elaboração da candidatura ao CRESC Algarve submetida a finais do ano 2017.

No Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, o processo de medição será efetuado através das faturas que indicam os kg de gás propano abastecido e as datas de entrega. Estes, mesmo não sendo valores tão precisos como os aportados por um contador da empresa fornecedora, são de grande relevância para o cálculo da energia consumida com a queima de gás.

No entanto, uma vez que os abastecimentos de gás propano são dados em kg e não em kWh, tem de ser realizada a conversão/equivalência seguindo a equação da Figura 8.12:

$$E_{Ref} [kWh] = \frac{m_{C_3H_8} [kg] \cdot PCI_{C_3H_8} [kJ/kg]}{3600 [s]}$$

**Figura 8.12 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Sistema solar térmico)**

Sendo:

- $E_{Ref}$  - Energia consumida no Período de Referência.
- $m_{C_3H_8}$  - Massa de gás propano consumida no Período de Referência.
- $PCI_{C_3H_8}$  - Poder Calorífico Inferior do gás propano.

#### 8.3.4. Período de Reporte

Perante a situação pandémica atual, diversas conjunturas impossibilitaram a eleição do ano civil de 2021 para o Período de Reporte. É por isto que foi escolhido o intervalo de tempo de Julho de 2021 a Junho de 2022 para o Período de Reporte.

No Período de Reporte, isto é, depois de ter sido implementada a MMEE, o processo de medição dos consumos de gás será efetuado através da informação retirada das faturas mensais do fornecedor.

É necessário apontar que a forma em que é abastecido o complexo desportivo mudou a finais do ano 2019, passando a ser gás canalizado. Ou seja, para o Período de Reporte, as quantidades de gás propano consumidas serão reportadas em m<sup>3</sup>. Sendo assim, uma vez que os consumos de gás são dados em m<sup>3</sup> e não em kWh, tem de ser realizada a conversão/equivalência seguindo a equação da Figura 8.13:

$$E_{Rep} [kWh] = \frac{V_{C_3H_8} [m^3] \cdot PCI_{C_3H_8} [kJ/m^3]}{3600 [s]}$$

**Figura 8.13 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Sistema solar térmico)**

Sendo:

- $E_{Rep}$  - Energia consumida no Período de Reporte.
- $V_{C_3H_8}$  - Volume de gás propano consumido no Período de Reporte.
- $PCI_{C_3H_8}$  - Poder Calorífico Inferior do gás propano.

### 8.3.5. Base dos ajustes

As medições dos consumos energéticos associados à utilização de gás têm de ser corrigidas com ajuda de três ajustes:

- Ajuste 1 ( $A_{Ocup}$ ) - O nível de ocupação do complexo desportivo sofreu uma variação notável entre o Período de Referência e o Período de Reporte. Por tanto, face à influência que tem a ocupação na utilização de AQS e, por conseguinte, no consumo de gás, deverá de ser realizado um ajuste com base em dados retirados do Relatório da Auditoria Energética realizada ao complexo desportivo.

$$A_{Ocup} [kWh] = \frac{N_{Ut} \cdot \left[ \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C])}{3600 [s]} \right]}{\eta_{cal}}$$

Figura 8.14 - Equação para o Ajuste 1 (Sistema solar térmico)

Sendo:

- $A_{Ocup}$  - Energia consumida pelos utilizadores das AQS.
- $N_{Ut}$  - Número de utilizadores das AQS.
- $m$  - Quantidade de água consumida por cada utilizador.
- $c_p$  - Calor específico da água (Constante).
- $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.
- Ajuste 2 ( $A_{Chap1}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe uma redução significativa das necessidades de aquecimento da água utilizada no reenchimento do vaso devido, principalmente, à evaporação e à retirada pelos utilizadores.

$$A_{Chap 1} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

**Figura 8.15 - Equação para o Ajuste 2 (Sistema solar térmico)**

Sendo:

- $A_{Chap 1}$  - Energia consumida no aquecimento da água dos reenchimentos.
  - $m$  - Quantidade de água utilizada no reenchimento.
  - $c_p$  - Calor específico da água (Constante).
  - $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
  - $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.
- Ajuste 3 ( $A_{Chap 2}$ ) - Ligado ao vaso suprimido (o Chapinheiro), também existe um consumo energético associado à mudança de fase da quantidade de água evaporada. Este ajuste é realizado com base nas diretrizes do Método da ASHRAE para o cálculo deste tipo de processos.

$$A_{Chap 2} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_{l,ev} [kJ/kg]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

**Figura 8.16 - Equação para o Ajuste 3 (Sistema solar térmico)**

Sendo:

- $A_{Chap 2}$  - Energia consumida no processo de evaporação da água.
- $m$  - Quantidade de água evaporada (Em base ao Método da ASHRAE).
- $c_{l,ev}$  - Calor latente da água (Em base ao Método da ASHRAE).
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira.

### 8.3.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise

O cálculo das poupanças da MMEE tem de ser corrigido com ajuda de vários ajustes que equiparam as condições do Período de Referência com as do Período de Reporte. Sendo assim, da energia consumida durante o Período de Referência tem de ser retirada a energia resultante dos três ajustes criados, de forma que o consumo de energia no Período de Referência é redefinido seguindo a equação da Figura 8.17.

$$E_{Ref Red} = E_{Ref} - (A_{Ocup} + A_{Chap 1} + A_{Chap 2})$$

**Figura 8.17 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema solar térmico)**

As poupanças serão determinadas pela diferença entre o consumo de energia antes da implementação da MMEE e o consumo de energia depois da implementação da MMEE.

$$Poupanças = E_{Ref Red} - E_{Rep}$$

**Figura 8.18 - Equação para o cálculo das poupanças (Sistema solar térmico)**

### 8.3.7. Preço da energia

Na candidatura foi considerado um valor de 0,10€ o kWh de gás (Propano).

### 8.3.8. Especificações dos equipamentos de medição

As medições dos consumos de gás da edificação serão feitas em base as leituras do equipamento (o contador) da empresa fornecedora.

### 8.3.9. Responsabilidade de monitorização

As faturas dos consumos mensais de gás associados ao complexo desportivo serão fornecidas pelos técnicos da Câmara Municipal de Silves.

Serão também os técnicos da Câmara Municipal de Silves os encarregados de fornecer os dados relativos aos níveis de ocupação do complexo desportivo.

### 8.3.10. Precisão esperada

Não determinada.

### 8.3.11. Orçamento

O valor estimado para este processo de M&V já está refletido no orçamento associado à avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo.

### 8.3.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança

O Relatório Demonstrativo de Poupança será um documento independente elaborado seguindo as diretrizes e considerações realizadas neste Plano de M&V.

O documento estará organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo serão definidos os objetivos do Relatório Demonstrativo de Poupança, no segundo capítulo será feita uma caracterização do cenário apresentado na candidatura ao CRESC Algarve, no terceiro capítulo serão mostrados os dados observados no Período de Referência, no

quarto serão mostrados os dados observados no Período de Reporte e no quinto serão descritos os ajustes realizados. Por último, será avaliada a poupança medida e serão descritas as considerações finais do estudo.

#### 8.3.13. Garantia de qualidade

A elaboração do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança são supervisionados por um Técnico com o título de *Certified Measurement and Verification Professional* (CMVP).

### **8.4. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO**

#### 8.4.1. Objetivo

Uma vez que já foi definido o Plano de M&V para a avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo, todas e cada uma das MMEE serão avaliadas individualmente mediante Planos de M&V específicos. De este modo, poderá ser verificado se a poupança estimada para a MMEE nos estudos prévios está em linha com os resultados obtidos depois da intervenção.

A MMEE que foi executada nas Piscinas de Municipais de Silves e que vai ser avaliada com este Plano de M&V é a seguinte:

- Substituição da iluminação existente por lâmpadas LED.

Os estudos prévios estimavam uma redução do consumo energético de 45.436 kWh anuais.

O propósito principal deste Plano de M&V é definir o processo para demonstrar a redução dos consumos energéticos parciais associados a esta MMEE mediante uma avaliação Ex-Post.

#### 8.4.2. Opção do IPMVP e Fronteira

O Plano de M&V e o posterior Relatório Demonstrativo de Poupança serão elaborados seguindo as diretrizes da Opção A do IPMVP. A Opção A caracteriza-se pela medição isolada da MMEE a través da medição de parâmetros chave, sendo designada pelos seguintes motivos:

- Só há que determinar a *performance* do sistema que está afetado pela MMEE.
- Os parâmetros chave usados para avaliar a *performance* da MMEE são de simples identificação.

- As incertezas criadas pelas estimações são aceitáveis.

A Fronteira (ou limite de medição) são os circuitos das luminárias que foram afetadas pela MMEE, isto é, as 579 luminárias do complexo desportivo.

#### 8.4.3. Período de Referência

O Período de Referência definido para a análise é o ano de 2016, ano de referência para a elaboração da candidatura ao CRESC Algarve submetida a finais do ano 2017.

No Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, não foi possível realizar quaisquer medições nos equipamentos instalados no complexo desportivo. Por tanto, perante este obstáculo, vão ser utilizados os valores das potências declaradas pelos fabricantes.

Em relação ao tempo de funcionamento, vai ser utilizada uma estimacão de 8 horas/dia durante 260 dias/ano.

Logo, o cálculo da energia consumida no Período de Referência antes da implementação da MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.19:

$$E_{Ref} [kWh] = \sum_{i=1}^n P_i [kW] \cdot t [h]$$

**Figura 8.19 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Iluminação)**

Sendo:

- $E_{Ref}$  - Energia consumida no Período de Referência.
- $P$  - Potência das luminárias.
- $t$  - Tempo de funcionamento durante o Período de Referência.

#### 8.4.4. Período de Reporte

Perante a situação pandémica atual, diversas conjunturas impossibilitaram a eleição do ano civil de 2021 para o Período de Reporte. É por isto que foi escolhido o intervalo de tempo de Julho de 2021 a Junho de 2022 para o Período de Reporte.

No Período de Reporte, isto é, depois de ter sido implementada a MMEE, o processo de medição da energia consumida será efetuado em base a medições pontoais dos parâmetros chave (Tensão e Intensidade de corrente) com ajuda de um analisador de energia.

O tempo de funcionamento de todas as luminárias manteve-se constante, pois a implementação da MMEE não alterou as condições de funcionamento.

Por tanto, o cálculo da energia consumida no Período de Reporte depois da implementação da MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.20:

$$E_{Ref} [kWh] = \sum_{i=1}^n P_i [kW] \cdot t [h]$$

**Figura 8.20 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Iluminação)**

Sendo:

- $E_{Rep}$  - Energia consumida no Período de Reporte.
- $P$  - Potência das luminárias.
- $t$  - Tempo de funcionamento durante o Período de Reporte.

#### 8.4.5. Base dos ajustes

Não foram determinados ajustes para esta MMEE.

#### 8.4.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise

As poupanças serão determinadas pela diferença entre o consumo de energia antes da implementação da MMEE e o consumo de energia depois da implementação da MMEE.

$$Poupanças = E_{Ref} - E_{Rep}$$

**Figura 8.21 - Equação para o cálculo das poupanças (Iluminação)**

#### 8.4.7. Preço da energia

Na candidatura foi considerado um valor de 0,14€ o kWh de eletricidade.

#### 8.4.8. Especificações dos equipamentos de medição

Não determinadas.

#### 8.4.9. Responsabilidade de monitorização

A medição instantânea dos parâmetros chave (Tensão e Intensidade de corrente) nas luminárias instaladas após implementação da MMEE será realizada pelo técnico CMVP em presença dos técnicos da Câmara Municipal de Silves

#### 8.4.10. Precisão esperada

Não determinada.

#### 8.4.11. Orçamento

O valor estimado para este processo de M&V já está refletido no orçamento associado à avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo.

#### 8.4.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança

O Relatório Demonstrativo de Poupança será um documento independente elaborado seguindo as diretrizes e considerações realizadas neste Plano de M&V.

O documento estará organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo serão definidos os objetivos do Relatório Demonstrativo de Poupança, no segundo capítulo será feita uma caracterização do cenário apresentado na candidatura ao CRESC Algarve, no terceiro capítulo serão mostrados os dados observados no Período de Referência e no quarto serão mostrados os dados observados no Período de Reporte. Por último, será avaliada a poupança medida e serão descritas as considerações finais do estudo.

#### 8.4.13. Garantia de qualidade

A elaboração do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança são supervisionados por um Técnico com o título de *Certified Measurement and Verification Professional* (CMVP).

### **8.5. PLANO DE M&V - AVALIAÇÃO SISTEMA DE BOMBAGEM**

#### 8.5.1. Objetivo

Uma vez que já foi definido o Plano de M&V para a avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo, todas e cada uma das MMEE serão avaliadas individualmente mediante Planos de M&V específicos. De este modo, poderá ser verificado se a poupança estimada para a MMEE nos estudos prévios está em linha com os resultados obtidos depois da intervenção.

A MMEE que foi executada nas Piscinas de Municipais de Silves e que vai ser avaliada com este Plano de M&V é a seguinte:

- Substituição das bombas de circulação existentes por bombas de elevada eficiência.

Os estudos prévios estimavam uma redução do consumo energético de 90.822 kWh anuais.

O propósito principal deste Plano de M&V é definir o processo para demonstrar a redução dos consumos energéticos parciais associados a esta MMEE mediante uma avaliação Ex-Post.

### 8.5.2. Opção do IPMVP e Fronteira

O Plano de M&V e o posterior Relatório Demonstrativo de Poupança serão elaborados seguindo as diretrizes da Opção A do IPMVP. A Opção A caracteriza-se pela medição isolada da MMEE a través da medição de parâmetros chave, sendo designada pelos seguintes motivos:

- Só há que determinar a *performance* do sistema que está afetado pela MMEE.
- Os parâmetros chave usados para avaliar a *performance* da MMEE são de simples identificação.
- As incertezas criadas pelas estimações são aceitáveis.

A Fronteira (ou limite de medição) são os circuitos das bombas de circulação que foram afetadas pela MMEE.

### 8.5.3. Período de Referência

O Período de Referência definido para a análise é o ano de 2016, ano de referência para a elaboração da candidatura ao CRESC Algarve submetida a finais do ano 2017.

No Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, não foi possível realizar quaisquer medições nos equipamentos instalados no complexo desportivo. Por tanto, perante este obstáculo, vão ser utilizados os valores das potências declaradas pelos fabricantes.

Em relação aos tempos de funcionamento do sistema de bombagem, vão ser utilizados os valores estimados pelos técnicos da Câmara Municipal de Silves.

Logo, o cálculo da energia consumida no Período de Referência antes da implementação da MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.22:

$$E_{Ref} [kWh] = \sum_{i=1}^n P_i [kW] \cdot t [h]$$

**Figura 8.22 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Referência (Sistema de bombagem)**

Sendo:

- $E_{Ref}$  - Energia consumida no Período de Referência.
- $P$  - Potência das bombas de circulação.
- $t$  - Tempo de funcionamento durante o Período de Referência.

#### 8.5.4. Período de Reporte

Perante a situação pandémica atual, diversas conjunturas impossibilitaram a eleição do ano civil de 2021 para o Período de Reporte. É por isto que foi escolhido o intervalo de tempo de Julho de 2021 a Junho de 2022 para o Período de Reporte.

No Período de Reporte, isto é, depois de ter sido implementada a MMEE, o processo de medição da energia consumida será efetuado em base a medições pontoais dos parâmetros chave (Tensão e Intensidade de corrente) com ajuda de um analisador de energia.

O tempo de funcionamento do sistema de bombagem manteve-se constante, pois a implementação da MMEE não alterou as condições de funcionamento.

Por tanto, o cálculo da energia consumida no Período de Reporte depois da implementação da MMEE é realizado mediante a equação da Figura 8.23:

$$E_{Ref} [kWh] = \sum_{i=1}^n P_i [kW] \cdot t [h]$$

**Figura 8.23 - Equação para o cálculo da energia consumida no Período de Reporte (Sistema de bombagem)**

Sendo:

- $E_{Rep}$  - Energia consumida no Período de Reporte.
- $P$  - Potência das bombas de circulação.
- $t$  - Tempo de funcionamento durante o Período de Reporte.

#### 8.5.5. Base dos ajustes

As medições dos consumos energéticos associados ao funcionamento do sistema de bombagem do complexo desportivo, têm de ser corrigidas com ajuda do seguinte ajuste:

- Ajuste ( $A_{S.B.}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a desativação de até três bombas de circulação do total de dezanove que constituíam o sistema de bombagem.

$$A_{S.B.} [kWh] = P_{Fil\ 1} [kW] \cdot t_{Fil\ 1} [h] + P_{Fil\ 2} [kW] \cdot t_{Fil\ 2} [h] + P_{Ida} [kW] \cdot t_{Ida} [h]$$

**Figura 8.24 - Equação para o Ajuste (Sistema de bombagem)**

Sendo:

- $A_{S.B.}$  - Energia consumida pelas bombas de circulação desativadas.
- $P_{Fil\ 1}$  - Potência da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
- $t_{Fil\ 1}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
- $P_{Fil\ 2}$  - Potência da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
- $t_{Fil\ 2}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
- $P_{Ida}$  - Potência da bomba do Circuito do Coletor de Ida.
- $t_{Ida}$  - Tempo de funcionamento da bomba do Circuito do Coletor de Ida.

#### 8.5.6. Metodologia de cálculo e procedimento de análise

O cálculo das poupanças da MMEE tem de ser corrigido com ajuda de um ajuste que equipara as condições do Período de Referência com as do Período de Reporte. Sendo assim, da energia consumida durante o Período de Referência tem de ser retirada a energia resultante do ajuste criado, de forma que o consumo de energia no Período de Referência é redefinido seguindo a equação da Figura 8.25.

$$E_{Ref\ Red} = E_{Ref} - A_{S.B.}$$

**Figura 8.25 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema de bombagem)**

As poupanças serão determinadas pela diferença entre o consumo de energia antes da implementação da MMEE e o consumo de energia depois da implementação da MMEE.

$$Poupanças = E_{Ref\ Red} - E_{Rep}$$

**Figura 8.26 - Equação para o cálculo das poupanças (Sistema de bombagem)**

#### 8.5.7. Preço da energia

Na candidatura foi considerado um valor de 0,14€ o kWh de eletricidade.

#### 8.5.8. Especificações dos equipamentos de medição

Não determinadas.

#### 8.5.9. Responsabilidade de monitorização

A medição instantânea dos parâmetros chave (Tensão e Intensidade de corrente) nas bombas de circulação instaladas após implementação da MMEE será realizada pelo técnico CMVP em presença dos técnicos da Câmara Municipal de Silves

#### 8.5.10. Precisão esperada

Não determinada.

#### 8.5.11. Orçamento

O valor estimado para este processo de M&V já está refletido no orçamento associado à avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo.

#### 8.5.12. Formato do Relatório Demonstrativo de Poupança

O Relatório Demonstrativo de Poupança será um documento independente elaborado seguindo as diretrizes e considerações realizadas neste Plano de M&V.

O documento estará organizado da seguinte forma: No primeiro capítulo serão definidos os objetivos do Relatório Demonstrativo de Poupança, no segundo capítulo será feita uma caracterização do cenário apresentado na candidatura ao CRESC Algarve, no terceiro capítulo serão mostrados os dados observados no Período de Referência, no quarto serão mostrados os dados observados no Período de Reporte e no quinto serão descritos os ajustes realizados. Por último, será avaliada a poupança medida e serão descritas as considerações finais do estudo.

#### 8.5.13. Garantia de qualidade

A elaboração do Plano de M&V e do Relatório Demonstrativo de Poupança são supervisionados por um Técnico com o título de *Certified Measurement and Verification Professional* (CMVP).

## **9. RELATÓRIOS DEMONSTRATIVOS DE POUPANÇA**

No presente capítulo vão ser apresentados os Relatórios Demonstrativos de Poupança, sendo estes o resultado da aplicação dos Planos de M&V definidos para as MMEE implementadas no complexo desportivo que é objeto de estudo desta Dissertação.

Os Relatórios Demonstrativos de Poupança provaram se as estimações realizadas nos estudos prévios à implementação das MMEE estão em linha com os resultados obtidos nas medições realizadas nas Piscinas Municipais de Silves. Al igual que aconteceu com os Planos de M&V, haverá um Relatório Demonstrativo de Poupança com os resultados da avaliação do total das MMEE implementadas no complexo desportivo e outros quatro Relatórios Demonstrativos de Poupança com os resultados da avaliação individual de cada uma delas.

### **9.1. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO GLOBAL**

#### **9.1.1. Objetivo**

Pretende-se com este Relatório Demonstrativo de Poupança aplicar o Plano de M&V, descrever os dados observados durante o período de determinação das poupanças (ou Período de Reporte) e justificar as poupanças de energia elétrica e consumo de gás na edificação.

As poupanças são obtidas devido à:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW.
- Instalação de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas.
- Substituição da iluminação existente por lâmpadas LED.

Isto é, a substituição de 579 lâmpadas de diferentes tipos (CFL's, fluorescentes tubulares, halógenas, incandescentes e iodetos metálicos) por lâmpadas LED, sendo alvo da MMEE as 493 lâmpadas e 86 luminárias da instalação.

- Substituição das bombas de circulação existentes por bombas de elevada eficiência.

Isto é, a substituição das dezanove bombas de circulação que compõem o sistema de bombagem da instalação, por bombas de elevada eficiência com motores de ímanes permanentes e variadores de frequência.

O principal objetivo deste trabalho é verificar que as poupanças obtidas com a implementação das MMEE estejam de acordo com as estimações dos estudos que serviram de base para a candidatura ao CRESC Algarve.

### 9.1.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura

No ano 2016, as Piscinas Municipais de Silves não dispunham de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, logo toda a energia elétrica necessária para alimentar os diferentes sistemas do complexo desportivo provinha da rede de abastecimento. De igual modo acontecia com o gás, sendo esta a fonte de energia que sustentava as duas caldeiras encargadas do aquecimento da água usada para as AQS, o aquecimento dos vasos das piscinas e as unidades de termoventilação.

Por outra parte, a iluminação existente estava obsoleta e era constituída basicamente por lâmpadas dos tipos: CFL's, fluorescentes tubulares, halógenas, incandescentes e de iodetos metálicos.

Em último lugar, o sistema de bombagem, embora bem mantido, estava composto por um conjunto de bombas de circulação antigas e sem as opções controlo ou gestão de consumo que permitem as atuais bombas de circulação.

Para a candidatura foram considerados os seguintes cenários de consumo de energia antes e depois da implementação da MMEE no complexo desportivo (Tabela 9.1 e Tabela 9.2).

Fonte de energia	Consumo de energia (kWh)
Eletricidade	750.906
Gás	637.837
<b>Total</b>	<b>1.388.743</b>

Tabela 9.1 - Cenário de Referência na candidatura (Global)

Fonte de energia	MMEE	Consumo de energia (kWh)	Poupança gerada pela MMEE (kWh)
Eletricidade	(-)	750.906	(-)
(-)	Sistema solar fotovoltaico	(-)	182.721
(-)	Iluminação	(-)	45.436
(-)	Sistema de bombagem	(-)	90.822
Gás	(-)	637.837	(-)

(-)	Sistema solar térmico	(-)	163.527
<b>Total</b>		<b>906.237</b>	

**Tabela 9.2 - Cenário de Reporte na candidatura (Global)**

Usando estas estimações como referência, a poupança prevista na candidatura era de:

Poupanças previstas (1.388.743 kWh - 906.237 kWh)	<b>482.506 kWh</b>
---	--------------------

**Tabela 9.3 - Poupanças previstas na candidatura (Global)**

### 9.1.3. Dados observados no Período de Referência

Para a avaliação das poupanças geradas pelo conjunto das quatro MMEE implementadas nas Piscinas Municipais de Silves, foi aplicada a Opção C do IPMVP que se caracteriza pela medição de toda a instalação.

Para a medição dos consumos de energia na edificação durante este período foram usadas as faturas das empresas fornecedoras de eletricidade e gás. Na Tabela 9.4 e na Tabela 9.5 podem ver-se refletidos os valores dos consumos de eletricidade e as quantidades de gás propano fornecidas no decorrer do ano 2016.

<b>Mês</b>	<b>Consumo da rede (kWh)</b>
Janeiro	69.201
Fevereiro	63.175
Março	65.173
Abril	65.214
Maio	69.444
Junho	59.994
Julho	62.398
Agosto	43.767
Setembro	56.723
Outubro	65.245
Novembro	65.647
Dezembro	64.925
<b>Total</b>	<b>750.906</b>

**Tabela 9.4 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Eletricidade)**

<b>Mês</b>	<b>Quantidade fornecida (kg)</b>	<b>Energia fornecida (kWh)</b>
Janeiro	5.870	75.573

Fevereiro	5.467	70.384
Março	10.256	132.040
Abril	5.216	67.153
Maio	4.581	58.978
Junho	2.144	27.603
Julho	1.982	25.517
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	2.517	32.405
Novembro	5.718	73.616
Dezembro	5.792	74.569
<b>Total</b>	<b>49.543</b>	<b>637.837</b>

**Tabela 9.5 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Gás)**

Por tanto, considerando os consumos de eletricidade e as quantidades de gás fornecidas, o consumo de energia durante o Período de Referência foi de:

Consumo de energia antes da implementação da MMEE	<b>1.388.743 kWh</b>
---	----------------------

**Tabela 9.6 - Período de Referência (Global)**

Em relação á ocupação, os dados registados durante o Período de Referência foram:

<b>Mês</b>	<b>Nº de utilizadores</b>
Janeiro	1.636
Fevereiro	6.626
Março	7.707
Abril	7.201
Maio	7.577
Junho	5.603
Julho	4.479
Agosto	0
Setembro	3.549
Outubro	7.397
Novembro	7.824
Dezembro	5.409
<b>Total</b>	<b>65.008</b>

**Tabela 9.7 - Registo da ocupação no Período de Referência (Global)**

#### 9.1.4. Dados observados no Período de Reporte

Como foi definido no Plano de M&V, e ante a impossibilidade de poder utilizar o ano civil de 2021, o Período de Reporte decorre desde o mês de Julho de 2021 até o mês de Junho de 2022.

Para a medição dos consumos de energia na edificação durante este período foram usadas as faturas das empresas fornecedoras de eletricidade e gás. Na Tabela 9.8 e na Tabela 9.9 podem ver-se refletidos os valores de eletricidade e gás propano consumidos no decorrer da segunda metade do ano 2021 e na primeira metade do ano 2022.

Mês		Consumo da rede (kWh)
2022	Janeiro	48.938
2022	Fevereiro	39.587
2022	Março	34.800
2022	Abril	27.262
2022	Maio	34.771
2022	Junho	34.460
2021	Julho	42.537
2021	Agosto	40.008
2021	Setembro	38.945
2021	Outubro	42.998
2021	Novembro	47.038
2021	Dezembro	47.765
<b>Total</b>		<b>479.109</b>

**Tabela 9.8 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Eletricidade)**

Mês		Quantidade consumida (m <sup>3</sup> )	Energia consumida (kWh)
2022	Janeiro	1.987	47.512
2022	Fevereiro	2.080	49.735
2022	Março	1.905	45.551
2022	Abril	2.071	49.520
2022	Maio	882	21.090
2022	Junho	134	3.204
2021	Julho	0	0
2021	Agosto	0	0
2021	Setembro	0	0
2021	Outubro	399	9.541
2021	Novembro	785	18.770

2021	Dezembro	1.994	47.679
<b>Total</b>		<b>12.237</b>	<b>292.602</b>

**Tabela 9.9 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Gás)**

Por tanto, considerando os valores de eletricidade e gás propano consumidos, o consumo de energia durante o Período de Reporte foi de:

Consumo de energia depois da implementação da MMEE	<b>771.711 kWh</b>
--	--------------------

**Tabela 9.10 - Período de Referência (Global)**

Em relação á ocupação, os dados registados durante o Período de Reporte foram:

Mês		Nº de utilizadores
2022	Janeiro	5.170
2022	Fevereiro	6.287
2022	Março	7.713
2022	Abril	6.030
2022	Maio	6.667
2022	Junho	5.739
2021	Julho	2.211
2021	Agosto	2.097
2021	Setembro	2.635
2021	Outubro	5.214
2021	Novembro	4.336
2021	Dezembro	4.119
<b>Total</b>		<b>58.218</b>

**Tabela 9.11 - Registo da ocupação no Período de Reporte (Global)**

#### 9.1.5. Ajustes realizados

- Ajuste 1 ( $A_{ocup}$ ) - O nível de ocupação do complexo desportivo sofreu uma variação notável entre o Período de Referência e o Período de Reporte (-10,5%). Por tanto, face à influência que tem a ocupação na utilização de AQS e, por conseguinte, no consumo de gás, tem de ser realizado um ajuste com base em dados retirados do Relatório da Auditoria Energética realizada ao complexo desportivo (Tabela 9.12).

Pessoas que utilizam AQS	75%
Consumo unitário de AQS (litros) (Baseado na informação recolhida no local)	40

Salto térmico da água (°C)	35
----------------------------	----

**Tabela 9.12 - Base para o Ajuste 1 (Global)**

Face à diminuição de 6.790 utilizadores entre o Período de Referência e o Período de Reporte, onde só 5.093 pessoas fariam uso das AQS, é obtido um ajuste de energia de 8.953 kWh.

Ajuste 1 (Variação na ocupação)	<b>8.953 kWh</b>
---------------------------------	------------------

**Tabela 9.13 - Ajuste 1 (Global)**

- Ajuste 2 ( $A_{S.B.}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a desativação de até três bombas de circulação do total de dezanove que constituíam o sistema de bombagem.

Consumo de energia das bombas de circulação desativadas	
Bombas do Circuito de Filtragem	Consumo anual = 14.256 kWh
Bomba do Circuito do Coletor de Ida	Consumo anual = 1.485 kWh

**Tabela 9.14 - Base para o Ajuste 2 (Global)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente desativação das bombas de circulação, da como resultado um ajuste de energia de 15.741 kWh.

Ajuste 2 (Bombas desativadas)	<b>15.741 kWh</b>
-------------------------------	-------------------

**Tabela 9.15 - Ajuste 2 (Global)**

- Ajuste 3 ( $A_{Chap 1}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe uma redução significativa das necessidades de aquecimento da água utilizada no reenchimento do vaso devido, principalmente, à evaporação e à retirada pelos utilizadores. Por tanto tem de ser realizado um ajuste com base nos dados da Tabela 9.16.

Parâmetros que afetam às quantidades de água dos reenchimentos	
Taxa de evaporação	3%
Medidas do vaso (m) / Volume (m <sup>3</sup> )	8x8x0,8 / 51,2
Temperatura da água da rede (°C)	15
Temperatura da água da piscina (°C)	32

**Tabela 9.16 - Base para o Ajuste 3 (Global)**

A supressão do Chapinheiro, e a consequente desnecessidade de realizar reenchimentos, da como resultado um ajuste de energia de 11.082 kWh.

Ajuste 3 (Reenchimentos do Chapinheiro)	<b>11.968 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.17 - Ajuste 3 (Global)**

- Ajuste 4 ( $A_{Chap 2}$ ) - Ligado ao vaso suprimido (o Chapinheiro), também existe um consumo energético associado à mudança de fase da quantidade de água evaporada. Este ajuste é realizado com base nas diretrizes do Método da ASHRAE para o cálculo deste tipo de processos, estando refletidos todos os dados necessários na Tabela 9.18.

Parâmetros que afetam à quantidade de água evaporada do Chapinheiro	
Taxa de evaporação (mg/s.m <sup>2</sup> ) Método da ASHRAE (T = 32°C)	56,5
Calor latente de evaporação (kJ/kg) Para T = 32°C	2.425
Medidas do vaso (m) / Área (m <sup>2</sup> )	8x8 / 64

**Tabela 9.18 - Base para o Ajuste 4 (Global)**

A supressão do Chapinheiro, e a consequente não evaporação da água do vaso, da como resultado um ajuste de energia de 82.953 kWh.

Ajuste 4 (Evaporação da água do Chapinheiro)	<b>82.987 kWh</b>
--	-------------------

**Tabela 9.19 - Ajuste 4 (Global)**

Com a aplicação dos três ajustes anteriores, o consumo de energia para o Período de Referência é redefinido seguindo a expressão da Figura 9.1.

$$E_{Ref Red} = E_{Ref} - (A_{Ocup} + A_{S.B.} + A_{Chap 1} + A_{Chap 2})$$

**Figura 9.1 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Global)**

Consumo de energia antes da implementação da MMEE (Ajustado)	<b>1.269.094 kWh</b>
--	----------------------

**Tabela 9.20 - Período de Referência Ajustado (Global)**

#### 9.1.6. Poupança medida

A poupança obtida é determinada pela diferença de consumo de energia entre o Período de Referência e o Período de Reporte, isto é, a diferença entre o consumo de energia antes da implementação da MMEE e o consumo de energia depois da implementação da MMEE.

Poupanças (1.269.094 kWh - 771.711 kWh)	<b>497.383 kWh</b>
---	--------------------

**Tabela 9.21 - Poupanças (Global)**

#### 9.1.7. Considerações finais

A principal conclusão que se pode obter deste trabalho é que a avaliação Ex-Post confirma uma notável redução dos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves de mais de 39%.

O facto de que as poupanças estejam acima do previsto, precisa de um aponte, e é que no decorrer do Período de Reporte estavam instaladas umas coberturas térmicas nos vasos das piscinas a fim de diminuir a evaporação a água durante o período noturno.

Também é importante realçar que existe um fator marcante em relação à geração de energia por parte do sistema solar fotovoltaico, e é que uma parte da energia produzida pelo sistema é injetada na rede. De forma anual são injetados na rede mais de 22.000 kWh que o complexo desportivo não tem capacidade para consumir ou armazenar.

Por último, mas não menos relevante, é preciso salientar que a metodologia seguida privilegiou sempre as condições mais conservadoras, por isso, as poupanças serão seguramente superiores aos valores determinados pela M&V.

## **9.2. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

### 9.2.1. Objetivo

Pretende-se com este Relatório Demonstrativo de Poupança aplicar o Plano de M&V, descrever os dados observados durante o período de determinação das poupanças (ou Período de Reporte) e justificar as poupanças de energia elétrica na edificação.

As poupanças são obtidas devido à:

- Instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de 125 kW.

O principal objetivo deste trabalho é verificar que as poupanças obtidas com a implementação da MMEE estejam de acordo com as estimações do estudo que serviu de base para a candidatura ao CRESC Algarve.

### 9.2.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura

No ano 2016, as Piscinas Municipais de Silves não dispunham de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, logo toda a energia elétrica necessária para alimentar os diferentes sistemas do complexo desportivo provinha da rede de abastecimento.

A candidatura teve por base um estudo realizado por uma empresa externa que estimava que um sistema solar fotovoltaico de 125 kW poderia reduzir em 182.721 kWh os consumos energéticos anuais do complexo desportivo.

### 9.2.3. Dados observados no Período de Referência

Para a avaliação das poupanças geradas pela MMEE implementada nas Piscinas Municipais de Silves, foi aplicada a Opção B do IPMVP que se caracteriza pela medição isolada da MMEE a través da medição de todos os parâmetros.

Como já foi mencionado anteriormente, no Período de Referência, isto é, antes de ter sido implementada a MMEE, o complexo desportivo não dispunha de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, por tanto, não existe nenhum ponto de referência para a avaliação das poupanças da MMEE. É por isto que vai ser considerada a estimacão de geracão de energia do estudo prévio à implementação da MMEE.

Geraçao de energia no Período de Referência com a MMEE	<b>182.721 kWh</b>
--	--------------------

**Tabela 9.22 - Período de Referência (Sistema solar fotovoltaico)**

Desafortunadamente, não existem dados parciais (mensais, por exemplo) com as estimacões do sistema solar fotovoltaico, só existe a estimativa da quantidade total de energia que é capaz de gerar anualmente.

#### 9.2.4. Dados observados no Período de Reporte

Como foi definido no Plano de M&V, e ante a impossibilidade de poder utilizar o ano civil de 2021, o Período de Reporte decorre desde o mês de Julho de 2021 até o mês de Junho de 2022.

No Período de Reporte, o processo de medição foi efetuado através da informação retirada das leituras mensais do *software* de telegestão do sistema solar fotovoltaico. Os dados das correspondentes leituras estão refletidos na Tabela 9.23 mostrada a seguir.

Mês		Autoconsumo (kWh)	Injeção na rede (kWh)	Energia gerada (kWh)
2022	Janeiro	9.118	480	9.598
2022	Fevereiro	10.188	1.259	11.447
2022	Março	10.228	1.384	11.612
2022	Abril	12.424	2.977	15.401
2022	Maio	15.944	1.873	17.817
2022	Junho	15.749	1.871	17.620
2021	Julho	16.912	2.558	19.470
2021	Agosto	13.765	3.899	17.664
2021	Setembro	11.900	3.037	14.937
2021	Outubro	11.552	1.956	13.508
2021	Novembro	8.885	650	9.535
2021	Dezembro	6.030	281	6.311
<b>Total</b>		<b>142.695</b>	<b>22.225</b>	<b>164.920</b>

**Tabela 9.23 - Relação de dados retirados do *software* de telegestão (Sistema solar fotovoltaico)**

Por tanto, considerando os dados retirados do *software* de telegestão durante o Período de Reporte, a energia gerada pelo sistema foi de:

Geração de energia no Período de Reporte com a MMEE	<b>164.920 kWh</b>
---	--------------------

**Tabela 9.24 - Período de Reporte (Sistema solar fotovoltaico)**

#### 9.2.5. Poupança medida

O valor da poupança medida utilizando a metodologia de M&V descrita no IPMVP é ligeiramente inferior ao valor da poupança estimada na candidatura, sendo estes de 164.920 kWh e 182.721 kWh, respetivamente.

Poupanças / Energia gerada	<b>164.920 kWh</b>
----------------------------	--------------------

**Tabela 9.25 - Poupanças (Sistema solar fotovoltaico)**

A energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico é 17.801 kWh menor ao estimado.

#### 9.2.6. Considerações finais

A principal conclusão que se pode obter deste trabalho é que a avaliação Ex-Post da MMEE confirma uma redução relevante dos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves.

Existem dois fatores que é necessário destacar na avaliação da MMEE:

- A estimacão das poupanças do estudo prévio de 182.721 kWh são 17.801 kWh superiores às obtidas neste trabalho de avaliação (164.920 kWh), o que supõe 9,7% menos do estimado.
- A *performance* deste tipo de sistemas está sensivelmente influenciada por diferentes situações que podem favorecer ou dificultar a geracão de energia elétrica (Sujidade nos painéis, zonas de sombreamento ou condições climatéricas menos favoráveis como dias nublados ou dias de temperaturas muito elevadas).

Para finalizar, a pesar de que as estimacões não estão totalmente alinhadas com os resultados obtidos, não há dúvida de que o investimento realizado tem permitido (e continuará permitindo ao longo da vida útil do sistema) obter umas poupanças consideráveis para o Município de Silves.

### **9.3. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

#### 9.3.1. Objetivo

Pretende-se com este Relatório Demonstrativo de Poupança aplicar o Plano de M&V, descrever os dados observados durante o período de determinacão das poupanças (ou Período de Reporte) e justificar as poupanças de energia (gás) na edificacão.

As poupanças são obtidas devido à:

- Instalacão de um sistema solar térmico para as AQS e os vasos das piscinas.

O principal objetivo deste trabalho é verificar que as poupanças obtidas com a implementacão da MMEE estejam de acordo com as estimacões do estudo que serviu de base para a candidatura ao CRESC Algarve.

### 9.3.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura

No ano 2016, as Piscinas Municipais de Silves não dispunham de quaisquer sistemas de aproveitamento de energia renovável, logo uma grande parte das necessidades de energia térmica do complexo desportivo eram cobertas por duas caldeiras alimentadas a gás propano. Estas são as encargadas do aquecimento da água usada para as AQS, o aquecimento dos vasos das piscinas e as unidades de termoventilação.

A candidatura teve por base um estudo realizado por uma empresa externa que estimava que um sistema solar térmico, destinado ao aquecimento da água usada para as AQS e o aquecimento dos vasos das piscinas, poderia reduzir em 163.527 kWh os consumos energéticos anuais do complexo desportivo.

Para a candidatura foram considerados os seguintes cenários de consumo de energia antes e depois da implementação da MMEE no complexo desportivo (Tabela 9.26 e Tabela 9.27).

Fonte de energia	Consumo de energia (kWh)
Gás	637.837
<b>Total</b>	<b>637.837</b>

Tabela 9.26 - Cenário de Referência na candidatura (Sistema solar térmico)

Fonte de energia	MMEE	Consumo de energia (kWh)	Poupança gerada pela MMEE (kWh)
Gás	(-)	637.837	(-)
(-)	Sistema solar térmico	(-)	163.527
<b>Total</b>		<b>474.310</b>	

Tabela 9.27 - Cenário de Reporte na candidatura (Sistema solar térmico)

Usando estas estimações como referência, a poupança prevista na candidatura era de:

Poupanças previstas (637.837 kWh - 474.310 kWh)	<b>163.527 kWh</b>
---	--------------------

Tabela 9.28 - Poupanças previstas na candidatura (Sistema solar térmico)

### 9.3.3. Dados observados no Período de Referência

Para a avaliação das poupanças geradas pela MMEE implementada nas Piscinas Municipais de Silves, foi aplicada a Opção C do IPMVP que se caracteriza pela medição

de toda a instalação. Mas sempre com a singularidade de estar sensivelmente restrita aos consumos que afetam ao gás como fonte de energia.

Para a medição dos consumos de energia na edificação durante este período foram usadas as faturas da empresa fornecedora de gás. Na Tabela 9.29 podem ver-se refletidos os valores das quantidades de gás propano fornecidas no decorrer do ano 2016.

<b>Mês</b>	<b>Quantidade fornecida (kg)</b>	<b>Energia fornecida (kWh)</b>
Janeiro	5.870	75.573
Fevereiro	5.467	70.384
Março	10.256	132.040
Abril	5.216	67.153
Maio	4.581	58.978
Junho	2.144	27.603
Julho	1.982	25.517
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	2.517	32.405
Novembro	5.718	73.616
Dezembro	5.792	74.569
<b>Total</b>	<b>49.543</b>	<b>637.837</b>

**Tabela 9.29 - Relação de consumos energéticos no Período de Referência (Sistema solar térmico)**

Por tanto, considerando as quantidades de gás fornecidas, o consumo de energia durante o Período de Referência foi de:

Consumo de energia antes da implementação da MMEE	<b>637.837 kWh</b>
---	--------------------

**Tabela 9.30 - Período de Referência (Sistema solar térmico)**

Em relação á ocupação, os dados registados durante o Período de Referência foram:

<b>Mês</b>	<b>Nº de utilizadores</b>
Janeiro	1.636
Fevereiro	6.626
Março	7.707
Abril	7.201
Maio	7.577
Junho	5.603
Julho	4.479
Agosto	0

Setembro	3.549
Outubro	7.397
Novembro	7.824
Dezembro	5.409
<b>Total</b>	<b>65.008</b>

**Tabela 9.31 - Registo da ocupação no Período de Referência (Sistema solar térmico)**

#### 9.3.4. Dados observados no Período de Reporte

Como foi definido no Plano de M&V, e ante a impossibilidade de poder utilizar o ano civil de 2021, o Período de Reporte decorre desde o mês de Julho de 2021 até o mês de Junho de 2022.

Para a medição dos consumos de energia na edificação durante este período foram usadas as faturas da empresa fornecedora de gás. Na Tabela 9.32 podem ver-se refletidos os valores das quantidades de gás propano consumidas no decorrer da segunda metade do ano 2021 e na primeira metade do ano 2022.

Mês		Quantidade consumida (m <sup>3</sup> )	Energia consumida (kWh)
2022	Janeiro	1.987	47.512
2022	Fevereiro	2.080	49.735
2022	Março	1.905	45.551
2022	Abril	2.071	49.520
2022	Maio	882	21.090
2022	Junho	134	3.204
2021	Julho	0	0
2021	Agosto	0	0
2021	Setembro	0	0
2021	Outubro	399	9.541
2021	Novembro	785	18.770
2021	Dezembro	1.994	47.679
<b>Total</b>		<b>12.237</b>	<b>292.602</b>

**Tabela 9.32 - Relação de consumos energéticos no Período de Reporte (Sistema solar térmico)**

Por tanto, considerando as quantidades de gás consumidas, o consumo de energia durante o Período de Reporte foi de:

Consumo de energia depois da implementação da MMEE	<b>292.602 kWh</b>
--	--------------------

**Tabela 9.33 - Período de Referência (Sistema solar térmico)**

Em relação á ocupação, os dados registados durante o Período de Reporte foram:

Mês		Nº de utilizadores
2022	Janeiro	5.170
2022	Fevereiro	6.287
2022	Março	7.713
2022	Abril	6.030
2022	Maiο	6.667
2022	Junho	5.739
2021	Julho	2.211
2021	Agosto	2.097
2021	Setembro	2.635
2021	Outubro	5.214
2021	Novembro	4.336
2021	Dezembro	4.119
<b>Total</b>		<b>58.218</b>

Tabela 9.34 - Registo da ocupação no Período de Reporte (Sistema solar térmico)

### 9.3.5. Ajustes realizados

- Ajuste 1 ( $A_{Ocup}$ ) - O nível de ocupação do complexo desportivo sofreu uma variação notável entre o Período de Referência e o Período de Reporte (-10,5%). Por tanto, face à influência que tem a ocupação na utilização de AQS e, por conseguinte, no consumo de gás, tem de ser realizado um ajuste com base em dados retirados do Relatório da Auditoria Energética realizada ao complexo desportivo (Tabela 9.35).

Pessoas que utilizam AQS	75%
Consumo unitário de AQS (litros) (Baseado na informação recolhida no local)	40
Salto térmico da água (°C)	35

Tabela 9.35 - Base para o Ajuste 1 (Sistema solar térmico)

Face à diminuição de 6.790 utilizadores entre o Período de Referência e o Período de Reporte, onde só 5.093 pessoas fariam uso das AQS, é obtido um ajuste de energia de 8.953 kWh.

Ajuste 1 (Variação na ocupação)	<b>8.953 kWh</b>
---------------------------------	------------------

Tabela 9.36 - Ajuste 1 (Sistema solar térmico)

- Ajuste 2 ( $A_{Chap 1}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o

Chapinheiro). Isto supõe uma redução significativa das necessidades de aquecimento da água utilizada no reenchimento do vaso devido, principalmente, à evaporação e à retirada pelos utilizadores. Por tanto tem de ser realizado um ajuste com base nos dados da Tabela 9.37.

Parâmetros que afetam às quantidades de água dos reenchimentos	
Taxa de evaporação	3%
Medidas do vaso (m) / Volume (m <sup>3</sup> )	8x8x0,8 / 51,2
Temperatura da água da rede (°C)	15
Temperatura da água da piscina (°C)	32

**Tabela 9.37 - Base para o Ajuste 2 (Sistema solar térmico)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente desnecessidade de realizar reenchimentos, da como resultado um ajuste de energia de 11.968 kWh.

Ajuste 2 (Reenchimentos do Chapinheiro)	<b>11.968 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.38 - Ajuste 2 (Sistema solar térmico)**

- Ajuste 3 ( $A_{Chap 2}$ ) - Ligado ao vaso suprimido (o Chapinheiro), também existe um consumo energético associado à mudança de fase da quantidade de água evaporada. Este ajuste é realizado com base nas diretrizes do Método da ASHRAE para o cálculo deste tipo de processos, estando refletidos todos os dados necessários na Tabela 9.39.

Parâmetros que afetam à quantidade de água evaporada do Chapinheiro	
Taxa de evaporação (mg/s·m <sup>2</sup> ) Método da ASHRAE (T = 32°C)	56,5
Calor latente de evaporação (kJ/kg) Para T = 32°C	2.425
Medidas do vaso (m) / Área (m <sup>2</sup> )	8x8 / 64

**Tabela 9.39 - Base para o Ajuste 3 (Sistema solar térmico)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente não evaporação da água do vaso, da como resultado um ajuste de energia de 82.987 kWh.

Ajuste 3 (Evaporação da água do Chapinheiro)	<b>82.987 kWh</b>
--	-------------------

**Tabela 9.40 - Ajuste 3 (Sistema solar térmico)**

Com a aplicação dos três ajustes anteriores, o consumo de energia para o Período de Referência é redefinido seguindo a expressão da Figura 9.2.

$$E_{Ref\ Red} = E_{Ref} - (A_{Ocup} + A_{Chap\ 1} + A_{Chap\ 2})$$

**Figura 9.2 - Equação para redefinir o consumo de energia no Período de Referência (Sistema solar térmico)**

Consumo de energia antes da implementação da MMEE (Ajustado)	<b>533.929 kWh</b>
--	--------------------

**Tabela 9.41 - Período de Referência Ajustado (Sistema solar térmico)**

### 9.3.6. Poupança medida

A poupança obtida é determinada pela diferença de consumo de energia entre o Período de Referência e o Período de Reporte, isto é, a diferença entre o consumo de energia antes da implementação da MMEE e o consumo de energia depois da implementação da MMEE.

Poupanças (533.929 kWh - 292.602 kWh)	<b>241.327 kWh</b>
---------------------------------------	--------------------

**Tabela 9.42 - Poupanças (Sistema solar térmico)**

### 9.3.7. Considerações finais

A principal conclusão que se pode obter deste trabalho é que a avaliação Ex-Post da MMEE confirma uma redução significativa nos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves.

Os resultados obtidos confirmam uma redução nos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves de 242.247 kWh, isto é, uma redução de mais de 45% em comparação com o Período de Referência.

Por último, a pesar de que a metodologia seguida privilegiou sempre as condições mais conservadoras, é provável que as coberturas térmicas instaladas nos vasos das piscinas durante a noite (que não fazem parte da candidatura), tenham influenciado na correta avaliação desta MMEE. Isto é, para uma melhor avaliação da MMEE, seria necessário realizar novos ajustes com base em medições que, nesta ocasião, não foi possível realizar no local.

## 9.4. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO

### 9.4.1. Objetivo

Pretende-se com este Relatório Demonstrativo de Poupança aplicar o Plano de M&V, descrever os dados observados durante o período de determinação das poupanças (ou Período de Reporte) e justificar as poupanças de energia elétrica na edificação.

As poupanças são obtidas devido à:

- Substituição da iluminação existente por lâmpadas LED.

O principal objetivo deste trabalho é verificar que as poupanças obtidas com a implementação da MMEE estejam de acordo com as estimações do estudo que serviu de base para a candidatura ao CRESC Algarve.

### 9.4.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura.

No ano 2016, a iluminação existente estava obsoleta e era constituída basicamente por lâmpadas dos tipos: CFL's, fluorescentes tubulares, halógenas, incandescentes e de iodetos metálicos; com potências unitárias de 9 W, 18 W, 36 W e 400 W.

A MMEE se fundamentava na substituição de 579 lâmpadas, isto é, as 493 lâmpadas e 86 luminárias da instalação, por lâmpadas (e luminárias) LED com potências unitárias de 9 W, 18 W, 22 W, 43 W e 106 W.

Para a candidatura foram considerados os seguintes cenários de consumo de energia antes e depois da implementação da MMEE no complexo desportivo (Tabela 9.43 e Tabela 9.44).

<b>Tipo de Lâmpada/Luminária</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência unitária (W)</b>	<b>Tempo de funcionamento (horas / dias)</b>	<b>Consumo de energia (kWh)</b>
CFL's	307	18	8 / 260	11.494
	85	50	8 / 260	8.840
Fluorescentes tubulares	54	36	8 / 260	4.044
	41	58	8 / 260	4.946
Halógenas	46	36x2	8 / 260	6.889
Incandescentes	6	18	8 / 260	225
Iodetos metálicos	40	400	8 / 260	33.280
<b>Total</b>	<b>579</b>	<b>33.518</b>	<b>(-)</b>	<b>69.717</b>

Tabela 9.43 - Cenário de Referência na candidatura (Iluminação)

<b>Tipo de Lâmpada/Luminária</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência unitária (W)</b>	<b>Tempo de funcionamento (horas / dias)</b>	<b>Consumo de energia (kWh)</b>
LED em substituição das CFL's	307	9	8 / 260	5.747
	85	9	8 / 260	1.591
LED em substituição dos Fluor. tubulares	54	18	8 / 260	2.022
	41	22	8 / 260	1.876
LED em substituição das Halógenas	46	43	8 / 260	4.114
LED em substituição das Incandescentes	6	9	8 / 260	112
LED em substituição dos Iodetos metálicos	40	106	8 / 260	8.819
<b>Total</b>	<b>579</b>	<b>11.674</b>	<b>(-)</b>	<b>24.282</b>

**Tabela 9.44 - Cenário de Reporte na candidatura (Iluminação)**

As estimativas de consumo apresentadas são obtidas através das potências declaradas pelos fabricantes das lâmpadas e o número de horas de funcionamento.

Usando estas estimações como referência, a poupança prevista na candidatura era de:

Poupanças previstas (69.717 kWh - 24.282 kWh)	<b>45.436 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.45 - Poupanças previstas na candidatura (Iluminação)**

#### 9.4.3. Dados observados no Período de Referência

Para a avaliação das poupanças geradas pela MMEE implementada nas Piscinas Municipais de Silves, foi aplicada a Opção A do IPMVP que se caracteriza pela medição isolada da MMEE a través da medição de parâmetros chave.

Desafortunadamente, para o Período de Referência, isto é, antes de ser implementada a MMEE, não existem dados de medições prévias, nem foi possível realizar medições equivalentes. Perante esta situação, optou-se por utilizar os valores das potências declaradas pelos fabricantes das lâmpadas, que certamente, são a opção mais conservadora.

Assim, o valor considerado para o consumo de energia no Período de Referência é igual ao valor estimado para a candidatura.

Consumo de energia antes da implementação da MMEE	<b>69.717 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.46 - Período de Referência (Iluminação)**

#### 9.4.4. Dados observados no Período de Reporte

Como foi definido no Plano de M&V, e ante a impossibilidade de poder utilizar o ano civil de 2021, o Período de Reporte decorre desde o mês de Julho de 2021 até o mês de Junho de 2022.

No dia 11 de agosto de 2022, foram realizadas diversas medições instantâneas em vários circuitos de iluminação do complexo desportivo. Perante a numerosa quantidade de circuitos de iluminação existentes, foram seleccionados aleatoriamente quatro deles para realizar as medições, sendo obtidos os seguintes resultados:

- Medição 1. Circuito composto por cinco lâmpadas de 14,5 W e duas de 20 W.

<b>Voltagem (V)</b>	<b>Intensidade (A)</b>	<b>Potência (Medida) (W)</b>	<b>Potência (Estimada) (W)</b>
238	0,457	108,77	112,5

**Tabela 9.47 - Medição instantânea 1 (Iluminação)**

- Medição 2. Circuito composto por oito lâmpadas de 42 W.

<b>Voltagem (V)</b>	<b>Intensidade (A)</b>	<b>Potência (Medida) (W)</b>	<b>Potência (Estimada) (W)</b>
238	1,293	307,73	336,0

**Tabela 9.48 - Medição instantânea 2 (Iluminação)**

- Medição 3. Circuito composto por seis lâmpadas de 42 W.

<b>Voltagem (V)</b>	<b>Intensidade (A)</b>	<b>Potência (Medida) (W)</b>	<b>Potência (Estimada) (W)</b>
238	1,114	265,13	252,0

**Tabela 9.49 - Medição instantânea 3 (Iluminação)**

- Medição 4. Circuito composto por oito lâmpadas de 42 W.

<b>Voltagem (V)</b>	<b>Intensidade (A)</b>	<b>Potência (Medida) (W)</b>	<b>Potência (Estimada) (W)</b>
238	1,346	320,11	336,0

**Tabela 9.50 - Medição instantânea 4 (Iluminação)**

\*\*Observação: No Anexo 6 se encontram algumas fotografias tomadas durante o processo de medição realizado nas Piscinas Municipais de Silves.

As medições instantâneas dos valores de tensão e intensidade de corrente realizadas no local, confirmam que, no geral, a energia consumida pelas lâmpadas é inferior á declarada pelos fabricantes.

Durante o processo de medição foi verificado que face as necessidades do complexo desportivo, foi instalada uma iluminação ligeiramente menos potente à indicada na candidatura. É por isto que se optou por utilizar os valores das potências declaradas na candidatura, que são uma opção mais conservadora.

Assim, o valor considerado para o consumo de energia no Período de Reporte é igual ao valor estimado para a candidatura.

Consumo de energia depois da implementação da MMEE	<b>24.282 kWh</b>
--	-------------------

**Tabela 9.51 - Período de Reporte (Iluminação)**

#### 9.4.5. Poupança medida

A poupança obtida é determinada pela diferencia de consumo de energia entre o Período de Referência e o Período de Reporte, isto é, a diferencia entre o consumo de energia estimado antes da implementação da MMEE e o consumo de energia estimado depois da implementação da MMEE.

Poupanças (69.717 kWh - 24.282 kWh)	<b>45.436 kWh</b>
-------------------------------------	-------------------

**Tabela 9.52 - Poupanças (Iluminação)**

Como era espectável, o valor da poupança medida utilizando a metodologia de M&V descrita no IPMVP é igual ao valor da poupança prevista na candidatura.

#### 9.4.6. Considerações finais

A principal conclusão que se pode obter deste trabalho é que a avaliação Ex-Post da MMEE confirma uma grande redução nos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves.

O estudo realizado, mesmo estando fundamentado em estimativas, garante umas poupanças de 45.436 kWh no complexo desportivo, isto é, um 65% no consumo energético da iluminação.

O facto de terem sido instaladas em certos pontos do complexo desportivo lâmpadas com menor potência à indicada na candidatura, dificultou o trabalho de estabelecer uma comparação direta com as medições, mas acaba por confirmar as poupanças obtidas com a implementação da MMEE.

Por último, mas não menos relevante, é preciso salientar que a metodologia seguida privilegiou sempre as condições mais conservadoras, por isso, as poupanças serão seguramente superiores aos valores determinados pela M&V.

## **9.5. RELAT. DEMONSTRATIVO DE POUPANÇA - AVALIAÇÃO SISTEMA DE BOMBAGEM**

### **9.5.1. Objetivo**

Pretende-se com este Relatório Demonstrativo de Poupança aplicar o Plano de M&V, descrever os dados observados durante o período de determinação das poupanças (ou Período de Reporte) e justificar as poupanças de energia elétrica na edificação.

As poupanças são obtidas devido à:

- Substituição das bombas de circulação existentes por bombas de elevada eficiência.

O principal objetivo deste trabalho é verificar que as poupanças obtidas com a implementação da MMEE estejam de acordo com as estimações do estudo que serviu de base para a candidatura ao CRESC Algarve.

### **9.5.2. Caracterização do cenário apresentado na candidatura**

No ano 2016, o sistema de bombagem estava composto por um conjunto de dezanove bombas de circulação de potências variadas. Embora bem mantidas, as bombas não dispunham de quaisquer opções de controlo ou gestão de consumo.

A MMEE se fundamentava na substituição total do sistema de bombagem, sendo instaladas novas bombas de circulação com motores de ímanes permanentes e variadores de frequência que permitiriam um consumo de energia mais eficiente.

A candidatura teve por base um estudo realizado por uma empresa externa que estimava os seguintes cenários de consumo de energia antes e depois da implementação da MMEE no complexo desportivo (Tabela 9.53 e Tabela 9.54).

Circuito		Referência	Quant.	Em reserva	Potência (kW)	Tempo de operação (horas)	Consumo anual (kWh)
Filtragem	Piscina Desportiva	BR01	4	1	5,50	7.920	174.046
	Piscina de Aprendizagem	BR05	2	1	4,00	7.920	40.839
	Chapinheiro	BR07	2	1	1,80	7.920	34.335
Coletor de Ida	Piscina Desportiva	BC03	1	0	1,10	1.980	2.658
	Piscina de Aprendizagem, Chapinheiro, Unid. de Desumidif. 1 e 2, Unid. de Desumidif. 3 e 4, UTV e AQS	BC01, BC02, BC04, BC05, BC06 e BC07	6	0	0,75	1.980	7.800
Coletor de Retorno		EB01 e EB02	2	0	1,10	4.320	11.088
Permutador de calor das AQS		BC08	1	0	0,37	5.280	3.509
Recirculação das AQS		BC09	1	0	0,55	5.280	1.426
<b>Total (kWh)</b>							<b>275.702</b>

**Tabela 9.53 - Cenário de Referência na candidatura (Sistema de bombagem)**

Circuito		Referência	Quant.	Em reserva	Potência (kW)	Tempo de operação (horas)	Consumo anual (kWh)
Filtragem	Piscina Desportiva	BR01	4	1	5,50	7.920	118.078
	Piscina de Aprendizagem	BR05	2	1	4,00	7.920	27.007
	Chapinheiro	BR07	2	1	2,20	7.920	25.661
Coletor de Ida	Piscina Desportiva	BC03	1	0	1,10	1.980	1.445
	Piscina de Aprendizagem, Chapinheiro, Unid. de Desumidif. 1 e 2, Unid. de Desumidif. 3 e 4, UTV e AQS	BC01, BC02, BC04, BC05, BC06 e BC07	6	0	0,55	1.980	4.158
Coletor de Retorno		EB01 e EB02	2	0	1,10	4.320	6.048
Permutador de calor das AQS		BC08	1	0	0,37	5.280	1.742
Recirculação das AQS		BC09	1	0	0,25	5.280	739
<b>Total (kWh)</b>							<b>184.879</b>

**Tabela 9.54 - Cenário de Reporte na candidatura (Sistema de bombagem)**

Usando estas estimações como referência, a poupança prevista na candidatura era de:

Poupanças previstas (275.702 kWh - 184.879 kWh)	<b>90.822 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.55 - Poupanças previstas na candidatura (Sistema de bombagem)**

### 9.5.3. Dados observados no Período de Referência

Para a avaliação das poupanças geradas pela MMEE implementada nas Piscinas Municipais de Silves, foi aplicada a Opção A do IPMVP que se caracteriza pela medição isolada da MMEE a través da medição de parâmetros chave.

Desafortunadamente, para o Período de Referência, isto é, antes de ser implementada a MMEE, não existem dados de medições prévias, nem foi possível realizar medições equivalentes. Perante esta situação, optou-se por utilizar os valores dos consumos de energia do estudo prévio à implementação da MMEE.

Na sequência dessa decisão, foi descoberta uma incoerência nas estimações dos consumos de energia de referência, pelo que foi necessário realizar a correspondente correção (Tabela 9.56).

Circuito		Referência	Quant.	Em reserva	Potência (kW)	Tempo de operação (horas)	Consumo anual (kWh)
Filtragem	Piscina Desportiva	BR01	4	1	5,50	7.920	130.680
	Piscina de Aprendizagem	BR05	2	1	4,00	7.920	31.680
	Chapinheiro	BR07	2	1	1,80	7.920	14.256
Coletor de Ida	Piscina Desportiva	BC03	1	0	1,10	1.980	2.178
	Piscina de Aprendizagem, Chapinheiro, Unid. de Desumidif. 1 e 2, Unid. de Desumidif. 3 e 4, UTV e AQS	BC01, BC02, BC04, BC05, BC06 e BC07	6	0	0,75	1.980	8.910
Coletor de Retorno		EB01 e EB02	2	0	1,10	4.320	9.504
Permutador de calor das AQS		BC08	1	0	0,37	5.280	1.954
Recirculação das AQS		BC09	1	0	0,55	5.280	2.904
<b>Total (kWh)</b>							<b>202.066</b>

**Tabela 9.56 - Cenário de Referência corrigido (Sistema de bombagem)**

Assim, o valor considerado para o consumo de energia no Período de Referência é igual ao valor estimado para a candidatura.

Consumo de energia antes da implementação da MMEE	<b>202.066 kWh</b>
---	--------------------

**Tabela 9.57 - Período de Referência (Sistema de bombagem)**

#### 9.5.4. Dados observados no Período de Reporte

Como foi definido no Plano de M&V, e ante a impossibilidade de poder utilizar o ano civil de 2021, o Período de Reporte decorre desde o mês de Julho de 2021 até o mês de Junho de 2022.

Para a medição dos consumos de energia da MMEE durante este período foram realizados vários tipos de comprovações, sempre tendo como objeto de estudo o conjunto de bombas que compõem o circuito de filtragem da piscina desportiva, já que é neste conjunto onde se concentram a maior parte dos consumos energéticos do sistema de bombagem.

No dia 11 de agosto de 2022 foram realizadas (e iniciadas) diferentes tipos de medições:

- As medições instantâneas dos parâmetros chave (Tensão e Intensidade de corrente) numa das quatro bombas que compõem o conjunto, apresentaram os resultados da Tabela 9.58.

<b>Voltagem (V)</b>	<b>Intensidade (A)</b>	<b>Potência (Medida) (kW)</b>
411	7,01	4,29

**Tabela 9.58 - Medição instantânea 1 (Sistema de bombagem)**

A bomba que foi objeto desta medição têm uma potência de 5,5 kW e o tempo de operação estimado é de 7.920 horas anuais.

Tomando esta bomba como referência, o conjunto das três bombas do circuito poderia fazer um consumo de energia anual de 101.968 kWh o que é inferior às estimações do estudo.

- As medições instantâneas realizadas com um analisador de energia ao grupo de quatro bombas que compõem o conjunto (sempre com uma em reserva), apresentaram os resultados da Tabela 9.59.

<b>Potência Bomba 1 (kW)</b>	<b>Potência Bomba 2 (kW)</b>	<b>Potência Bomba 3 (kW)</b>	<b>Potência Total (kW)</b>
3,84	4,01	9,40 (*)	17,25

**Tabela 9.59 - Medição instantânea 2 (Sistema de bombagem)**

(\*) Na terceira linha de medição, o analisador de energia registou 9,40 kW devido a que nessa mesma linha há outros equipamentos ligados. Se estimará para essa linha um valor igual ao maior dos outros valores registados, isto é, 4,01 kW.

Nesta ocasião, foram objeto de medição as três bombas do circuito que estavam em funcionamento, sendo a potência unitária de 5,5 kW. Novamente, o tempo de operação estimado é de 7.920 horas anuais.

Com estas medições de referência, o conjunto das três bombas do circuito poderia fazer um consumo de energia anual de 93.931 kWh o que também é inferior às estimações do estudo.

- Por último, o mesmo analisador de energia utilizado nas medições anteriores, foi aproveitado para avaliar o desempenho do conjunto de três bombas durante um período de uma semana, sendo obtidos os resultados da Tabela 9.60.

	<b>Potência Bomba 1 (kW)</b>	<b>Potência Bomba 2 (kW)</b>	<b>Potência Bomba 3 (kW)</b>	<b>Potência Total (kW)</b>
Mínimo Registado	2,96	3,02	3,48 (*)	10,37
Máximo Registado	3,62	3,85	8,63 (*)	15,79
Média (7 dias)	3,52	3,58	5,41 (*)	12,52
Total (7 dias)	536,08	545,78	824,26 (*)	1.906,06

**Tabela 9.60 - Medição semanal (Sistema de bombagem)**

(\*) Como aconteceu na anterior medição instantânea do conjunto de bombas de circulação, a terceira linha regista consumos de outros equipamentos ligados. Se estimará para essa linha um valor igual ao maior dos outros valores registados.

Com estas medições de referência, e utilizando a média, o conjunto das três bombas do circuito poderia fazer um consumo de energia anual de 84.586 kWh o que também é inferior às estimações do estudo.

\*\*Observação: No Anexo 7 se encontram algumas fotografias tomadas durante o processo de medição realizado nas Piscinas Municipais de Silves.

As várias medições realizadas verificam que o consumo de energia do conjunto de bombas do circuito analisado (o mais potente de todo o sistema de bombagem), é menor ao estimado. Por tanto, perante estes resultados, e ante a impossibilidade de fazer

medições específicas para cada bomba, optou-se por usar para o Período de Reporte a opção mais conservadora, ou seja, utilizar os dados dos consumos de energia do estudo prévio á implementação da MMEE.

Assim, o valor considerado para o consumo de energia no Período de Reporte é igual ao valor estimado para a candidatura.

Consumo de energia depois da implementação da MMEE	<b>184.879 kWh</b>
--	--------------------

**Tabela 9.61 - Período de Reporte (Sistema de bombagem)**

#### 9.5.5. Ajustes realizados

- Ajuste 1 ( $A_{S.B.}$ ) - Numa intervenção prévia à implementação da MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a desativação de até três bombas de circulação do total de dezanove que constituíam o sistema de bombagem.

Consumo de energia das bombas de circulação desativadas	
Bombas do Circuito de Filtragem	Consumo anual = 14.256 kWh
Bomba do Circuito do Coletor de Ida	Consumo anual = 1.485 kWh

**Tabela 9.62 - Base para o Ajuste 1 (Sistema de bombagem)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente desativação das bombas de circulação, da como resultado um ajuste de energia de 15.741 kWh.

Ajuste 1 (Bombas desativadas - Período de Referência)	<b>15.741 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela 9.63 - Ajuste 1 (Sistema de bombagem)**

- Ajuste 2 ( $A_{S.B.}$ ) - Na sequência do anterior ajuste, e ligado à decisão de utilizar os dados dos consumos de energia do estudo prévio a implementação da MMEE, é necessário realizar um ajuste semelhante nos dados do Período de Reporte.

Consumo de energia das bombas de circulação desativadas	
Bombas do Circuito de Filtragem	Consumo anual = 25.661 kWh
Bomba do Circuito do Coletor de Ida	Consumo anual = 693 kWh

**Tabela 9.64 - Base para o Ajuste 2 (Sistema de bombagem)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente desativação das bombas de circulação, da como resultado um ajuste de energia de 26.354 kWh.

Ajuste 2 (Bombas desativadas - Período de Reporte)	<b>26.354 kWh</b>
--	-------------------

**Tabela 9.65 - Ajuste 2 (Sistema de bombagem)**

#### 9.5.6. Poupança medida

A poupança obtida é determinada pela diferença de consumo de energia entre o Período de Referência e o Período de Reporte, isto é, a diferença entre o consumo de energia estimado antes da implementação das MMEE (com ajustes) e o consumo de energia estimado depois da implementação das MMEE (com ajustes).

Poupanças (202.066 kWh - 15.741 kWh) - (184.879 kWh - 26.354 kWh)	<b>27.800 kWh</b>
--	-------------------

**Tabela 9.66 - Poupanças (Sistema de bombagem)**

O valor da poupança medida utilizando a metodologia de M&V descrita no IPMVP é sensivelmente inferior ao valor da poupança estimada na candidatura.

#### 9.5.7. Considerações finais

A principal conclusão que se pode obter deste trabalho é que a avaliação Ex-Post da MMEE confirma uma leve redução nos consumos energéticos das Piscinas Municipais de Silves.

A análise realizada, mesmo estando parcialmente fundamentada nas estimações do estudo realizado antes da implementação da MMEE, supõe para o complexo desportivo uma poupança de 27.800 kWh anuais, isto é, um 15% no consumo energético do sistema de bombagem.

Nesta ocasião, o facto de que o estudo realizado pela empresa externa apresentasse consumos referência sensivelmente inflacionados, penalizou à avaliação da MMEE. Com tudo, também ficou demonstrado que os consumos realizados pelo novo sistema de bombagem do complexo desportivo são inferiores aos esperados (até 28% a baixo do estimado), sendo as poupanças geradas pelas novas bombas de circulação de elevada eficiência ainda maiores que as obtidas com os cálculos.

Por último, mas não menos relevante, é preciso salientar que a metodologia seguida privilegiou sempre as condições mais conservadoras, por isso, as poupanças serão seguramente superiores aos valores determinados pela M&V.

## 10. CONCLUSÕES

Desde sempre, a Europa tem-se mostrado como uma região energeticamente dependente. Embora não tenha sido muito significativo nos últimos anos, este facto tem ficado totalmente clarificado desde há uns meses atrás, onde conflitos que envolvem países exportadores de energia como Rússia, podem condicionar o presente e o futuro de todo um continente.

Nas Piscinas Municipais de Silves foram investidos um total de 456.506,09€ na implementação de quatro medidas de melhoria da eficiência energética. A intervenção realizada no complexo desportivo serviu para dotar a edificação de vários sistemas de aproveitamento de energia renovável, principalmente na produção de energia elétrica e aquecimento de água, e para atuar sobre dois dos sistemas que concentram uma percentagem importante dos consumos de energia da edificação, a iluminação e o sistema de bombagem.

Depois de terem sido implementadas as medidas de melhoria da eficiência energética, o complexo desportivo conseguiu reduzir os consumos energéticos em 498.303 kWh, o que supõe uma redução de 39% em relação ao ano de referência.

Realizando uma análise mais pormenorizado de cada uma das medidas de melhoria da eficiência energética implementadas nas Piscinas Municipais de Silves, pode concluir-se:

- O sistema solar fotovoltaico para autoconsumo, embora possa ter uma *performance* ligeiramente variável devido a diferentes fatores, demonstrou ser um investimento com grande potencial para reduzir o consumo energético da edificação. Sem dúvida, este sistema seria ainda mais benéfico para o complexo desportivo, se conseguisse aproveitar os excedentes de produção de energia que atualmente são injetados na rede de abastecimento.
- O sistema solar térmico revelou ser um sistema de enorme contribuição para o aquecimento de água, conseguindo reduzir em grande parte os consumos de gás da edificação. Este sistema foi projetado como um apoio para as caldeiras de gás, contudo tem-se revelado quase como o sistema principal, deixando as caldeiras como sistemas auxiliares aos que só se recorre em situações pontuais.

- A iluminação é um dos pontos onde é mais simples obter uma redução nos consumos energéticos de uma edificação. As lâmpadas LED permitem, além de diminuir sensivelmente os consumos de energia, obter uma melhor iluminação. As Piscinas Municipais de Silves não foram uma exceção, e a substituição da iluminação existente por lâmpadas LED tem levado a uma redução considerável dos consumos energéticos.
- O sistema de bombagem tem se manifestado como a medida de melhoria da eficiência energética menos relevante das implementadas no complexo desportivo (em base aos dados teóricos). Mesmo assim, a substituição do sistema de bombagem tem permitido, além de uma ligeira redução nos consumos energéticos, uma maior capacidade de gestão na operação de cada uma das bombas de circulação.

A aposta do Município de Silves na eficiência energética, mostrou ser rentável, pois verificou-se com a implementação das quatro medidas de melhoria da eficiência energética, uma redução considerável dos custos energéticos da instalação. Esta aposta mostrou-se uma mais-valia em vários sentidos, mas atualmente com especial significado devido à inflação generalizada. Note-se, por exemplo, que para o Município de Silves, no ano 2016, o custo médio do kWh era de 0,11€, mas na primeira metade do ano 2022, o custo médio do kWh disparou para 0,23€.

Considera-se assim que, as Piscinas Municipais de Silves foram um exemplo de adaptação para um consumo mais eficiente dos recursos energéticos. Os investimentos em eficiência energética por parte de organismos governamentais são necessários, mas este é um claro exemplo de que, mesmo sem investimento público, as medidas de melhoria da eficiência energética (quando devidamente projetadas e implementadas) podem ter um período de retorno (ou *payback*) muito menor do que o esperado.

Desde o ponto de vista académico, este estudo tem permitido pôr em prática grande parte dos conhecimentos adquiridos nas diferentes Unidades Curriculares do Mestrado em Engenharia Mecânica: Energia, Climatização e Refrigeração. Desde o ponto de vista profissional, tem sido possível a familiarização com uma ferramenta como o IPMVP, um instrumento de grande potencial para o desenvolvimento socioeconómico do país e da região.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Agência para a Energia - ADENE. (2016). Relatório da Auditoria de Desempenho Energético das Piscinas Municipais de Silves.
- [2] Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S. e Said, Z. (2022). Up-to-date literature review on Solar PV systems: Technology progress, market status and R&D.
- [3] Almeida, B. (2014). Eficiência Energética em Complexos Desportivos: Complexo Olímpico de Piscinas de Coimbra (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [4] American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE. (2007). The Twin Pillars of Sustainable Energy: Synergies between Energy Efficiency and Renewable Energy Technology and Policy.
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer - ASHRAE. (2021). Acedido em 28 de novembro de 2021, em <https://www.ashrae.org>
- [6] Apolinário, J. (2015). Eficiência Energética em Complexos de Piscinas Interiores: Complexo de Piscinas Rui Abreu (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [7] Archi Expo. (2022). Caldeira Lamborghini MegaPrex. Acedido em 2 de julho de 2022, em <https://www.archiexpo.com/pt/prod/lamborghini-calor-spa/product-102066-1741818.html>
- [8] Câmara Municipal de Silves. (2017). Otimização da Eficiência Energética das Piscinas Municipais de Silves (Memória Descritiva e Justificativa).
- [9] Câmara Municipal de Silves. (2022). Acedido em 15 de novembro de 2021, em <https://www.cm-silves.pt/>
- [10] Chandrasekar, M. e Senthilkumar, T. (2021). Five decades of evolution of Solar Photovoltaic Thermal (PVT) technology - A critical insight on review articles.
- [11] Correia, V. (2012). Influência das áreas transparentes no balanço energético em piscinas interiores aquecidas (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve.

- [12] Direção-Geral de Energia e Geologia - DGEG. (2021). Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios. Acedido em 12 de dezembro de 2021, em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>
- [13] Efficiency Valuation Organization - EVO. (2012). International Performance, Measurement and Verification Protocol - Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings (Volume 1).
- [14] Efficiency Valuation Organization - EVO. (2016). Core Concepts. International Performance, Measurement and Verification Protocol.
- [15] Efficiency Valuation Organization - EVO. (2019). Measurement & Verification - Issues and Examples. International Performance, Measurement and Verification Protocol.
- [16] Eurostat. (2021). Produção e importações de energia (2008-2018). Acedido em 21 de novembro de 2021, em [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Producción e importaciones de energ%C3%ADa&direction=next&oldid=537618#Tanto\\_la\\_UE\\_como\\_sus\\_Estados\\_miembros\\_son\\_importadores\\_netos\\_de\\_energ.C3.ADa](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Producción e importaciones de energ%C3%ADa&direction=next&oldid=537618#Tanto_la_UE_como_sus_Estados_miembros_son_importadores_netos_de_energ.C3.ADa)
- [17] Grillone, B., Danov, S., Sumper, A., Cipriano, J. e Mor, G. (2020). A review of deterministic and data-driven methods to quantify Energy Efficiency savings and to predict retrofitting scenarios in buildings.
- [18] Grundfos. (2022). Motores de ímanes permanentes. Acedido em 10 de julho de 2022, em <https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/developing-the-high-efficiency-grundfos-mge-motor>
- [19] Grundfos. (2022). Bombas de elevada eficiência. Acedido em 10 de julho de 2022, em <https://product-selection.grundfos.com/co/products/tp-tpe/tpe-series-1000-b-north-america/tpe-40-1602-98539042?tab=variant-curves>
- [20] Helioesfera. (2022). Sistema solar fotovoltaico. Acedido em 5 de julho de 2022, em <https://www.helioesfera.com/diagrama-sistema-fotovoltaico/>
- [21] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE. (2006). Manual de Energías Renovables N°4: Energía solar térmica.

- [22] International Energy Agency - IEA. (1994). The history of the International Energy Agency. The first twenty years (Volume I - Origins and Structures of the IEA).
- [23] International Energy Agency - IEA. (2021). Areas of Work. Acedido em 21 de novembro de 2021, em <https://www.iea.org/areas-of-work>
- [24] Korpela, S. (2012). Principles of Turbomachinery.
- [25] National Park Service - NPS. (2021). What is Climate Change? Acedido em 5 de dezembro de 2021, em <https://www.nps.gov/goga/learn/nature/climate-change-causes.htm>
- [26] Parlamento Europeu e do Conselho. (2009). Diretiva 2009/125/CE de 21 de outubro de 2009 relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia.
- [27] Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - PNAEE. (2008 e 2013). Resolução de Conselho de Ministros N°80/2008 e Resolução de Conselho de Ministros N°20/2013.
- [28] Programa de Eficiência de Recursos na Administração Pública - ECO.AP. (2011 e 2020). Resolução do Conselho de Ministros N°2/2011 e Resolução do Conselho de Ministros N°104/2020.
- [29] Watson, R.T., Meira Filho, L.G., Sanhueza, E. e Janetos, A. (1992). Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment (Chapter A1 - Greenhouse Gases: Sources and Sinks).
- [30] Taller de Electrónica. (2022). Lâmpadas LED. Acedido em 7 de julho de 2022, em <https://tallerelectronica.com/diodo-led/>
- [31] Trianti-Stourna, E., Spyropoulou, K., Theofylakto, C., Droutsas, K., Balaras, C.A., Santamouris, M., Asimakopoulos, D.N., Lazaropoulou, G. e Papanikolaou, N. (1998). Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools.
- [32] U.S. Department of Energy - DOE. (2015). M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts (Version 4.0).



# **ANEXOS**



## Anexo 1 - Tabela de características técnicas do Gás Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) da BP Portugal.



### Características do GPL

Os Gases de Petróleo Liquefeitos (GPL), dos quais os mais conhecidos são o **Butano** e o **Propano**, são hidrocarbonetos cujas características fazem deles combustíveis versáteis e muito vantajosos em termos energéticos.

Para a sua utilização correcta é importante conhecer as suas principais características:

	<b>Butano</b>	<b>Propano</b>
<b>Densidade (líquido) a 15°C</b>	0,578	0,511
<b>Densidade (gás) a (15°C e 1,013 bar)</b>	2	1,5
<b>Pressão de vapor a 40°C (bar)</b>	5,2	15
<b>Ponto de ebulição (à P<sub>atm</sub>) (°C)</b>	-2	-45
<b>Limites de inflamabilidade no ar</b>		
- superior (% vol.)	9,5	10
- inferior (% vol.)	1,8	2
<b>Poder calorífico</b>		
- superior (MJ/Kg)	49,3	50
(Kcal/Kg)	11770	11940
(Kcal/m <sup>3</sup> )	29100	22200
- inferior (MJ/Kg)	45,8	46,3
(Kcal/Kg)	10900	11070
(Kcal/m <sup>3</sup> )	26970	20560
<b>Ar para combustão (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	30	24
<b>Temperatura de inflamação (°C)</b>	450	510

(\*) O valor do PCI do gás propano usado para obter os kWh equivalentes das quantidades de gás fornecidas durante o Período de Referência foi 11.070 kcal/kg (ou 46.347,88 kJ/kg).

(\*) O valor do PCI do gás propano usado para obter os kWh equivalentes das quantidades de gás consumidas durante o Período de Reporte foi 20.560 kcal/m<sup>3</sup> (ou 86.080,61 kJ/m<sup>3</sup>).

## Anexo 2 - Cálculo do Ajuste “Variação da ocupação”.

O nível de ocupação do complexo desportivo sofreu uma variação notável entre o Período de Referência e o Período de Reporte (-10,5%). Por tanto, face à influência que tem a ocupação na utilização de AQS e, por conseguinte, no consumo de gás, tem de ser realizado um ajuste com base em dados retirados do Relatório da Auditoria de Desempenho Energético realizada à edificação.

$$A_{ocup} [kWh] = \frac{N_{Ut} \cdot \left[ \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C])}{3600 [s]} \right]}{\eta_{cal}}$$

Figura A.1 - Equação para o Ajuste (Variação da ocupação)

Sendo:

- $A_{ocup}$  - Energia consumida pelos utilizadores das AQS.
- $N_{Ut}$  - Número de utilizadores das AQS.
- $m$  - Quantidade de água consumida por cada utilizador.
- $c_p$  - Calor específico da água (Constante | 4,186 kJ/kg·°C).
- $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira (Dado do fabricante | 92,6%).

---

### Desenvolvimento dos cálculos:

A ocupação do complexo desportivo no Período de Referência foi de 65.008 utilizadores, frente aos 58.218 do Período de Reporte. Isto supõe uma diminuição de 6.790 utilizadores.

Em base aos dados retirados do Relatório da Auditoria de Desempenho Energético realizada à edificação (Tabela A.1), serão calculados o número de utilizadores de AQS para, posteriormente, obter a quantidade de energia que estes consumiriam.

Pessoas que utilizam AQS	75%
Consumo unitário de AQS (litros) (Baseado na informação recolhida no local)	40
Salto térmico da água (°C)	35

Tabela A.1 - Base para o Ajuste (Variação da ocupação)

Face à diminuição de 6.790 utilizadores entre o Período de Referência e o Período de Reporte, só o 75% destes fariam uso das AQS, isto é, 5.093 pessoas.

$$A_{ocup} = \frac{5.093 \text{ Utilizadores} \cdot \left[ \frac{\left( 40 \text{ l} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 35 ^\circ\text{C} \right)}{3600 \text{ s}} \right]}{0,926}$$

**Figura A.2 - Cálculos do Ajuste (Variação da ocupação)**

A variação da ocupação da como resultado um ajuste de energia de:

Ajuste (Variação da ocupação)	<b>8.953 kWh</b>
-------------------------------	------------------

**Tabela A.2 - Ajuste (Variação da ocupação)**

### Anexo 3 - Cálculo do Ajuste “Bombas de circulação desativadas”.

Numa intervenção prévia à implementação das MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a desativação de até três bombas de circulação do total de dezanove que constituíam o sistema de bombagem.

$$A_{S.B.} [kWh] = P_{Fil\ 1} [kW] \cdot t_{Fil\ 1} [h] + P_{Fil\ 2} [kW] \cdot t_{Fil\ 2} [h] + P_{Ida} [kW] \cdot t_{Ida} [h]$$

Figura A.3 - Equação para o Ajuste (Bombas de circulação desativadas)

Sendo:

- $A_{S.B.}$  - Energia consumida pelas bombas de circulação desativadas.
- $P_{Fil\ 1}$  - Potência da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
- $t_{Fil\ 1}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°1 do Circuito de Filtragem.
- $P_{Fil\ 2}$  - Potência da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
- $t_{Fil\ 2}$  - Tempo de funcionamento da bomba N°2 do Circuito de Filtragem.
- $P_{Ida}$  - Potência da bomba do Circuito do Coletor de Ida.
- $t_{Ida}$  - Tempo de funcionamento da bomba do Circuito do Coletor de Ida.

---

#### **Desenvolvimento dos cálculos:**

As potencias das bombas de circulação que foram desativadas são de: 1,8 kW para as duas bombas de circulação que faziam parte do Circuito de Filtragem e 0,75 kW para a bomba de circulação localizada no Circuito do Coletor de Ida.

Em relação aos tempos de funcionamento das bombas de circulação que foram desativadas são de: 7.920 horas para as duas bombas de circulação que faziam parte do Circuito de Filtragem (com uma unidade sempre em reserva) e 1.980 horas para a bomba de circulação localizada no Circuito do Coletor de Ida.

$$A_{S.B.} = 1,8\ kW \cdot \frac{7.920\ h}{2} + 1,8\ kW \cdot \frac{7.920\ h}{2} + 0,75 \cdot 1.980\ h$$

Figura A.4 - Cálculos do Ajuste (Bombas de circulação desativadas)

A supressão do Chapinheiro, e a consequente desativação das bombas de circulação, da como resultado um ajuste de energia de 15.741 kWh.

Ajuste (Bombas de circulação desativadas)	<b>15.741 kWh</b>
---	-------------------

**Tabela A.3 - Ajuste (Bombas de circulação desativadas)**

## Anexo 4 - Cálculo do Ajuste “Reenchimentos do Chapinheiro”.

Numa intervenção prévia à implementação das MMEE, mas posterior ao Período de Referência, foi suprimido um dos vasos das piscinas (o Chapinheiro). Isto supõe a eliminação da necessidade de aquecimento da água que seria utilizada nos reenchimentos do vaso.

$$A_{Chap1} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_p [kJ/kg \cdot ^\circ C] \cdot \Delta T [^\circ C]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

Figura A.5 - Equação para o Ajuste (Reenchimentos do Chapinheiro)

Sendo:

- $A_{Chap1}$  - Energia consumida no aquecimento da água dos reenchimentos.
- $m$  - Quantidade de água utilizada nos reenchimentos anualmente.
- $c_p$  - Calor específico da água (Constante | 4,186 kJ/kg·°C).
- $\Delta T$  - Salto térmico que tem de ser vencido pela caldeira.
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira (Dado do fabricante | 92,6%).

---

### Desenvolvimento dos cálculos:

Para o cálculo do ajuste vão ser usados os dados da Tabela A.4 que resume os principais parâmetros que afetariam aos consumos energéticos derivados dos reenchimentos realizados no vaso suprimido.

Parâmetros que afetam à quantidade de água dos reenchimentos	
Taxa de renovação da água	3% (*)
Medidas do vaso (m) / Volume (m <sup>3</sup> )	8x8x0,8 / 51,2
Temperatura da água da rede (°C)	15
Temperatura da água da piscina (°C)	32

Tabela A.4 - Base para o Ajuste (Reenchimentos do Chapinheiro)

(\*) A Taxa de renovação da água dos vasos das piscinas é um valor normalizado que oscila entre 3% e 5%. Nesta ocasião, já que é uma piscina interior que dispõe de diversos equipamentos para o controlo e tratamento da qualidade da água, vai ser utilizado um valor de 3%.

A quantidade de água que teria de ser utilizada anualmente nos reenchimentos do Chapinheiro é obtida a través da expressão da Figura A.6.

$$m = 0,03 \cdot 51,2 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \cdot 365 \text{ dias}; \quad m = 560.640 \text{ kg}$$

**Figura A.6 - Equação para o cálculo da massa de água (Reenchimentos do Chapinheiro)**

A partir do valor da massa de água que se utilizaria anualmente para realizar os reenchimentos, é calculada a quantidade de energia que teria de ser usada nas caldeiras para elevar a temperatura da água desde os 15°C até os 32°C.

$$A_{Chap 1} = \frac{560.640 \text{ kg} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (32 - 15)^\circ\text{C}}{3600 \text{ s} \cdot 0,926}$$

**Figura A.7 - Cálculos do Ajuste (Reenchimentos do Chapinheiro)**

A supressão do Chapinheiro, e a consequente desnecessidade de realizar reenchimentos, da como resultado um ajuste de energia de 11.968 kWh.

Ajuste (Reenchimentos do Chapinheiro)	<b>11.968 kWh</b>
---------------------------------------	-------------------

**Tabela A.5 - Ajuste (Reenchimentos do Chapinheiro)**

## Anexo 5 - Cálculo do Ajuste “Evaporação no Chapinheiro”.

Ligado ao vaso suprimido (o Chapinheiro), também existe um consumo energético associado à mudança de fase da quantidade de água evaporada. Este ajuste é realizado com base nas diretrizes do Método da ASHRAE para o cálculo deste tipo de processos.

$$A_{Chap 2} [kWh] = \frac{(m [kg] \cdot c_{l,ev} [kJ/kg]) / 3600 [s]}{\eta_{cal}}$$

Figura A.8 - Equação para o Ajuste (Evaporação no Chapinheiro)

Sendo:

- $A_{Chap 2}$  - Energia consumida no processo de evaporação da água.
- $m$  - Quantidade de água evaporada (Em base ao Método da ASHRAE).
- $c_{l,ev}$  - Calor latente da água (Em base ao Método da ASHRAE).
- $\eta_{cal}$  - Rendimento da caldeira (Dado do fabricante | 92,6%).

---

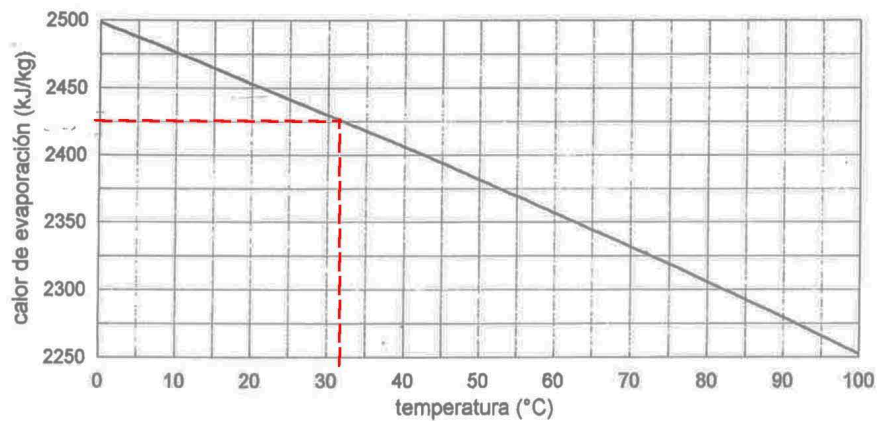
### Desenvolvimento dos cálculos:

Para o cálculo do ajuste vão ser usados os dados da Tabela A.6 que resume os principais parâmetros que afetariam aos consumos energéticos derivados da quantidade de água evaporada do vaso suprimido.

Parâmetros que afetam à quantidade de água evaporada do Chapinheiro	
Taxa de evaporação (mg/s.m <sup>2</sup> ) Método da ASHRAE (T = 32°C)	56,5 (*)
Calor latente de evaporação (kJ/kg) Para T = 32°C	2.426 (**)
Medidas do vaso (m) / Área (m <sup>2</sup> )	8x8 / 64

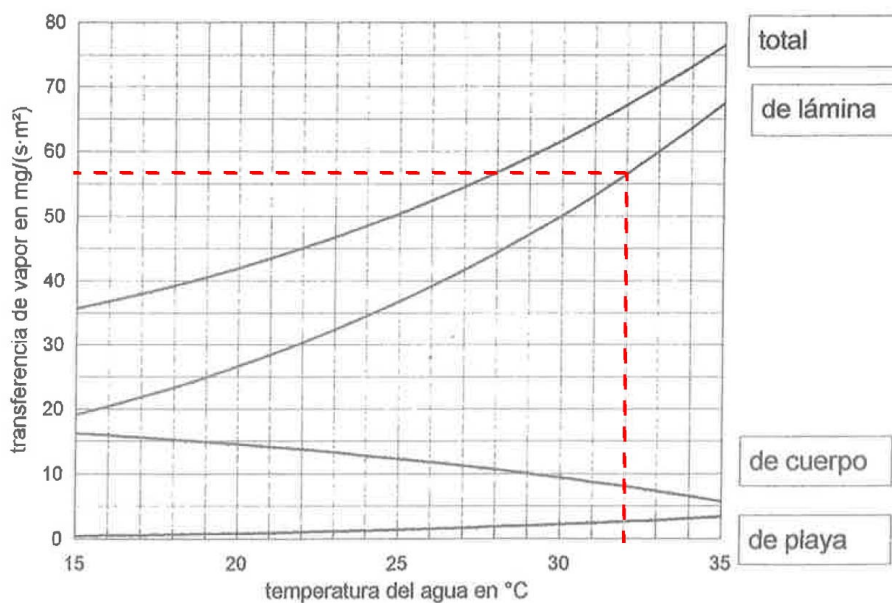
Tabela A.6 - Base para o Ajuste (Evaporação no Chapinheiro)

(\*) O Calor latente de evaporação, embora possa ser obtido através do gráfico da Figura A.9 sendo T = 32 °C o dado de entrada, é o valor da entalpia da água saturada para T = 32 °C. Este valor pode ser retirado das Tabelas de Propriedades Termofísicas da Água Saturada sendo também o dado de entrada a temperatura do vaso (T = 32 °C).



**Figura A.9 - Variação do calor latente de evaporação da água com a temperatura (Evaporação no Chapinheiro)**

(\*\*) Valor obtido graficamente através do gráfico da Figura A.10 sendo o dado de entrada a temperatura do vaso ( $T = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Para este cálculo, a referência é a curva de “lâmina” (ou superfície do vaso).



**Figura A.10 - Transferência de vapor de água em função da temperatura (Evaporação no Chapinheiro)**

A quantidade de água evaporada anualmente do Chapinheiro é obtida a través da expressão da Figura A.11.

$$m = 56,5 \frac{\text{mg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ ano}} \cdot 64 \text{ m}^2 ; \quad m = 114.034 \text{ kg}$$

**Figura A.11 - Equação para o cálculo da massa de água (Evaporação no Chapinheiro)**

A partir do valor da massa de água que evaporaria anualmente, é calculada a quantidade de energia que teria de ser usada nas caldeiras para que decorra o processo de mudança de fase.

$$A_{Chap 2} [kWh] = \frac{114.034 \text{ kg} \cdot 2.426 \text{ kJ/kg} / 3600 \text{ s}}{0,926}$$

**Figura A.12 - Cálculos do Ajuste (Evaporação no Chapinheiro)**

A supressão do Chapinheiro, e a conseqüente não evaporação da água do vaso, da como resultado um ajuste de energia de 82.987 kWh.

Ajuste (Evaporação no Chapinheiro)	<b>82.987 kWh</b>
------------------------------------	-------------------

**Tabela A.7 - Ajuste (Evaporação no Chapinheiro)**

## Anexo 6 - Processo de Medição e Verificação (Iluminação).



Figura A.13 - Quadro da Iluminação (1)



Figura A.14 - Quadro da Iluminação (2)



Figura A.15 - Iluminação LED (1)



**Figura A.16 - Iluminação LED (2)**



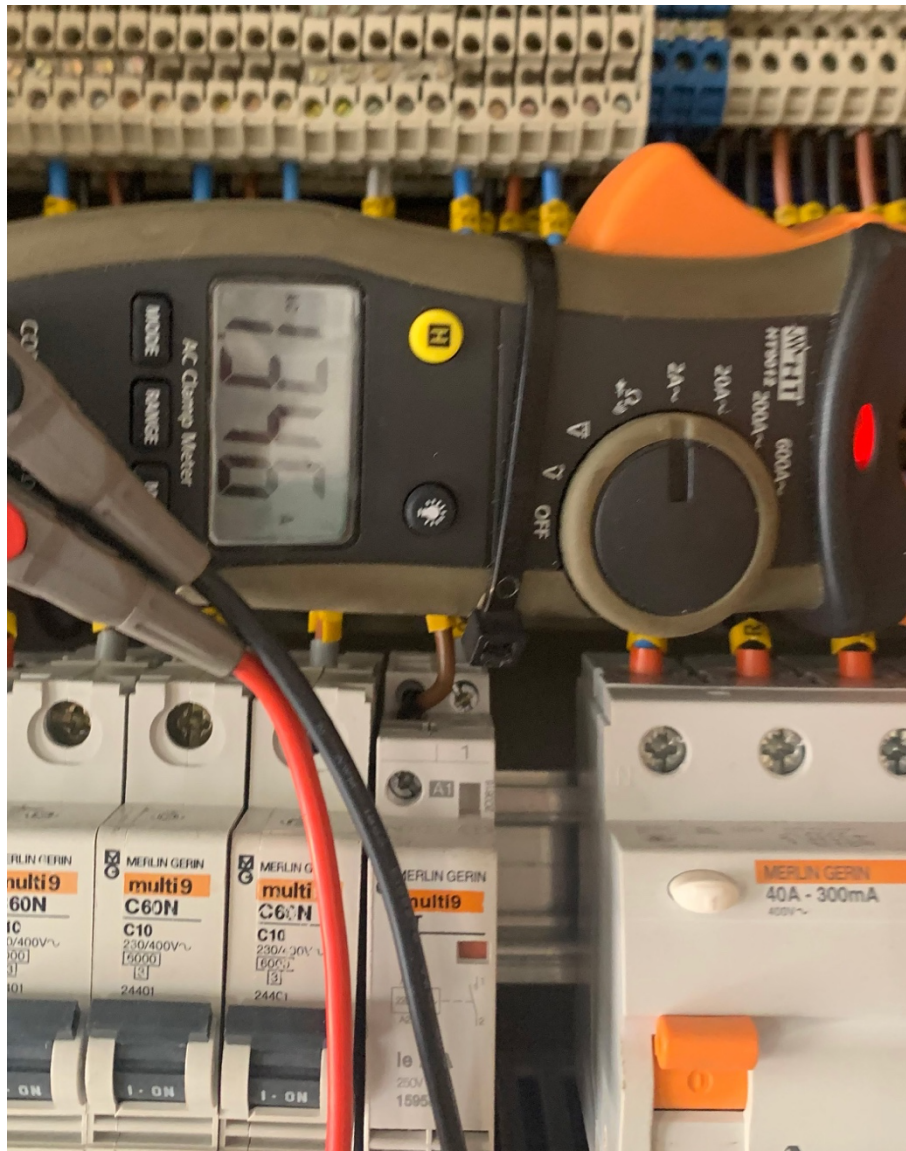
**Figura A.17 - Dados da Iluminação LED**



**Figura A.17 - Medições na Iluminação LED (1)**



**Figura A.18 - Medições na Iluminação LED (2)**



**Figura A.19 - Medições na Iluminação LED (3)**

## Anexo 7 - Processo de Medição e Verificação (Sistema de bombagem).



Figura A.20 - Quadro do Sistema de bombagem (1)



Figura A.21 - Quadro do Sistema de bombagem (2)



Figura A.22 - Sistema de bombagem

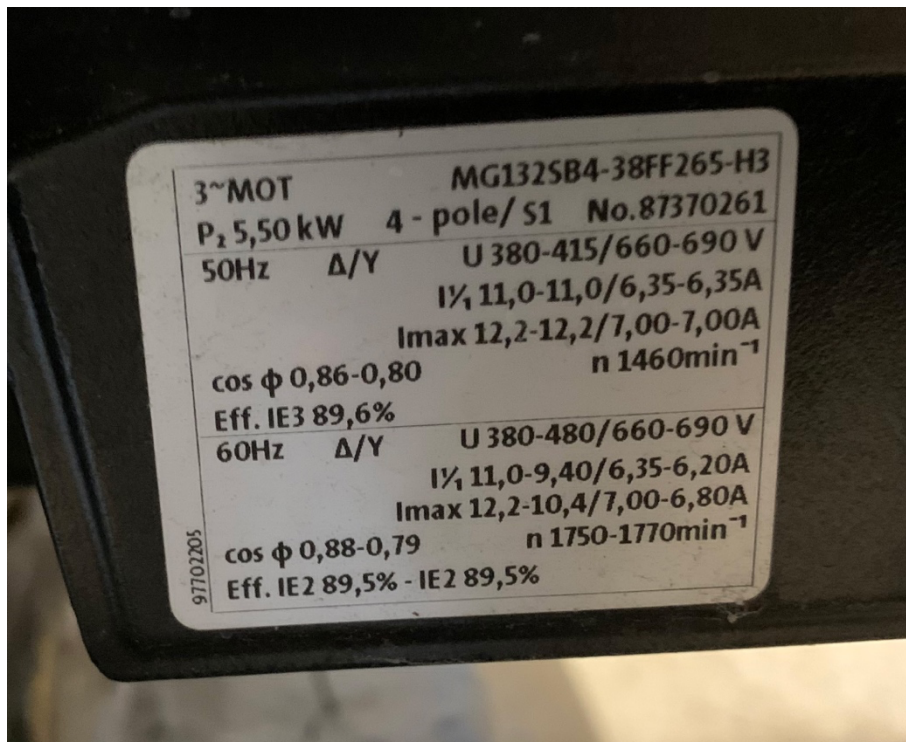
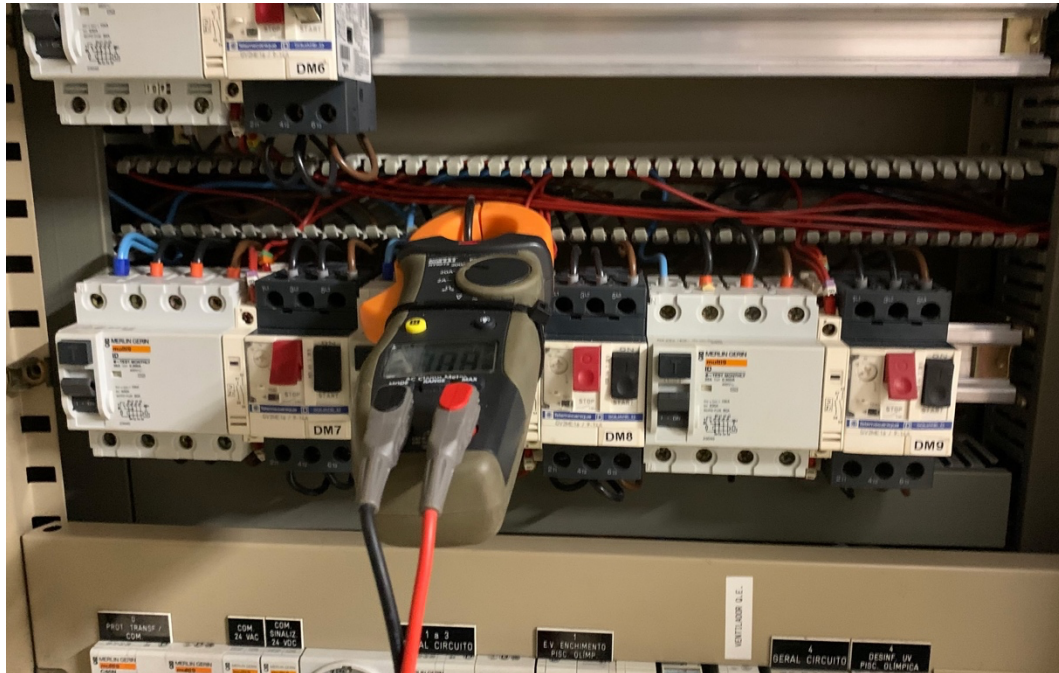
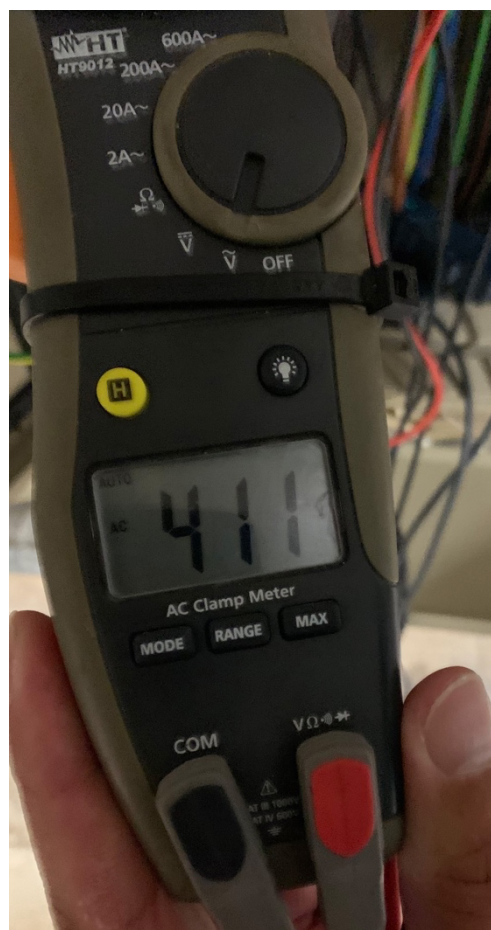


Figura A.23 - Dados Bomba de circulação



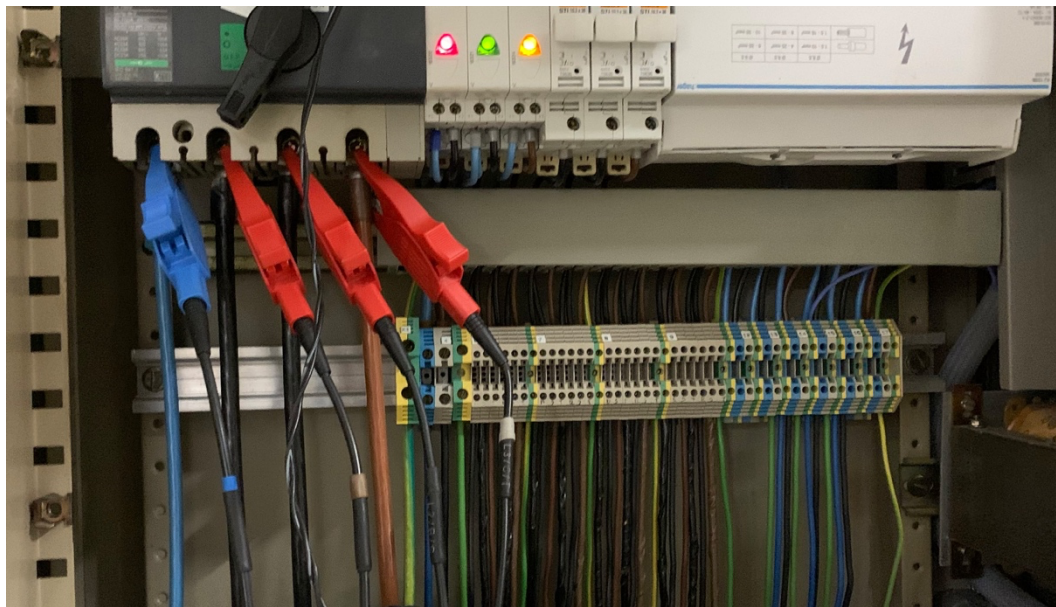
**Figura A.24 - Medições no Sistema de bombagem (1)**



**Figura A.25 - Medições no Sistema de bombagem (2)**



**Figura A.26 - Medições no Sistema de bombagem (3)**



**Figura A.27 - Medições no Sistema de bombagem (4)**

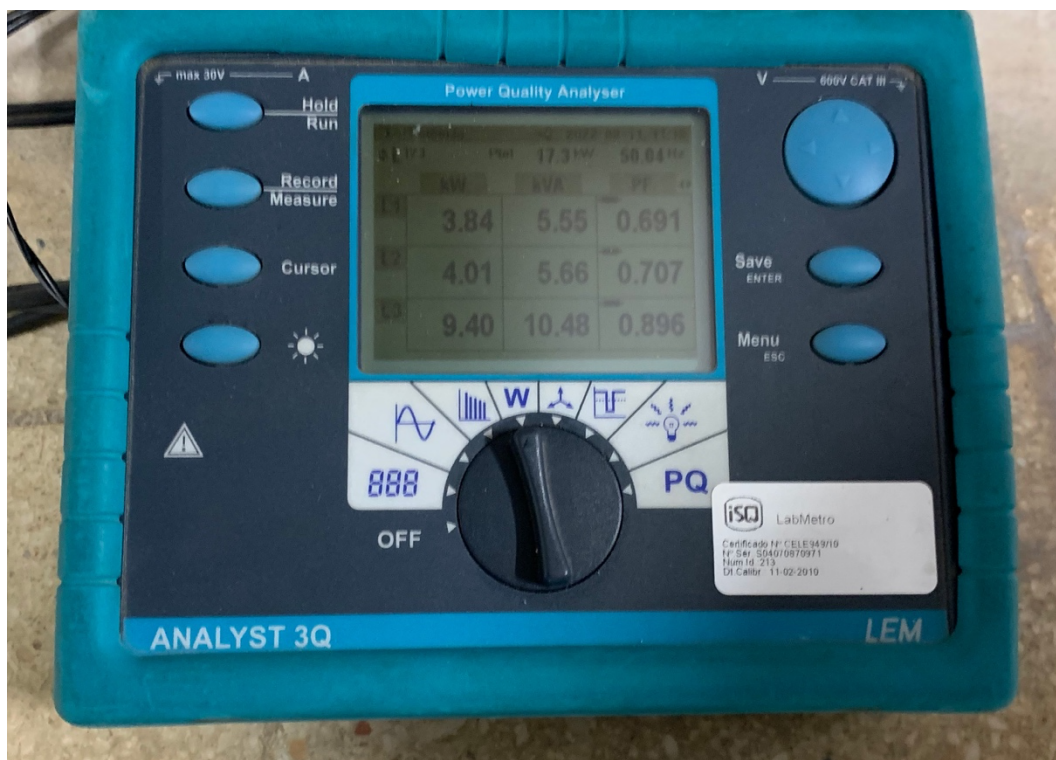


Figura A.28 - Medições no Sistema de bombagem (5)

