

Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios nZEB

Filipe Alexandre Oliveira da Cunha

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Armando Carlos Figueiredo Coelho de Oliveira



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2015

à minha Família

Resumo

O elevado consumo de energia nos edifícios tem vindo a ser responsável pela publicação de legislação europeia que visa limitar esse consumo. Nesse contexto, a diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD recast, 2010), vai obrigar todos os edifícios novos a partir de 2018/2020 a serem edifícios com necessidades quase nulas de energia. O conceito nZEB pode ser definido como um edifício que ao longo do ano apresenta um balanço energético quase nulo, devido ao sucesso da adoção de medidas de eficiência conjugadas com produção local de energia renovável.

Nesta perspetiva, o balanço de energia quase nulo pode ser alcançado através de dois passos fundamentais: primeiro, redução das necessidades energéticas do edifício e, segundo, produção de energia através de sistemas de captação de energias renováveis para suprimir as necessidades remanescentes e alcançar o balanço energético pretendido.

Neste trabalho, o principal objetivo é desenvolver um estudo aplicado a dois edifícios-tipo, um edifício de serviços existente e uma reabilitação de uma habitação, em três zonas climáticas de Portugal, onde serão implementadas, por um lado, estratégias passivas (otimização térmica da envolvente) e, por outro lado, soluções ativas (equipamentos de elevada eficiência e otimização do seu controlo) com o intuito de reduzir o consumo de energia dos diferentes usos: aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação. Para além disso, serão implementadas tecnologias de produção de energia a partir de fontes renováveis (sistemas fotovoltaicos para aproveitamento elétrico, sistemas térmicos para aquecimento de água quente e sistemas de aquecimento a biomassa), na tentativa de aproximar estes edifícios-tipo do balanço energético quase nulo. Para a implementação das soluções energeticamente eficientes, é fundamental a utilização de um programa de simulação energética, de forma a prever a solução que vai resultar na melhor performance do edifício com o menor custo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Muitos estudos centram-se apenas nas soluções de eficiência energética e tecnologias de captação de energia renovável, negligenciando a análise do custo ótimo de rentabilidade. Este trabalho relaciona as estratégias a implementar para se atingir o desafio nZEB com o cálculo do nível ótimo de rentabilidade. Sendo o nível ótimo de rentabilidade definido como o nível de desempenho energético, expresso em energia primária, que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado.

Em suma, serão analisadas um conjunto de medidas de eficiência energética combinadas com energia produzida localmente a partir de fontes renováveis, na perspetiva de alcançar o padrão de edifícios de alto desempenho energético, que podem ser enquadrados como edifícios de balanço quase nulo, tendo em conta a viabilidade económica das intervenções.

Abstract

The significant energy consumption in buildings is at the origin of European legislation that intends to limit and revert the current consumption pattern. In this context, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD recast, 2010) requires all new buildings after 2018/2020 to be built as nearly zero energy buildings (nZEB's). The nearly Zero Energy Building concept may be defined as a building that over a year is nearly neutral when energy efficiency measures are successfully combined with on-site energy renewable sources.

According to this, the nearly zero energy performance may be achieved as a result of adopting two fundamental steps: first, reduce building energy demand, and, second, generate energy from renewable sources, to get enough credits to achieve the desired energy balance.

In this work, the main objective is to analyse two case studies, an existing services building and a refurbishment of a residential building, in three climatic zones of Portugal. In this context, a combination of passive strategies (thermal optimization of the building envelope) and active technical solutions (using high efficiency equipment and optimal control systems) will be implemented, in order to reduce the use of energy for heating, cooling, ventilation and lighting, combining also renewable energy technologies (photovoltaic for electricity production, solar thermal energy for hot water and biomass heating systems), which allow these buildings to achieve nearly zero energy balances. For implementing those energy efficient solutions in buildings, it is fundamental to use a dynamic energy simulation program, in order to foresee the solution that results in the best performance for the building with the minimal cost over the estimated life cycle. Most studies have focused on energy efficiency and renewable energy technologies and neglected to analyze the cost optimality of technical solutions. This work considers both possible energy efficiency and cost optimality to achieve the nZEB level. The cost optimal performance level means an energy performance in terms of primary energy leading to minimum life cycle cost.

In conclusion, energy saving measures combined with renewable energy supplies will be analyzed in order to achieve the standard of high performance buildings, which can be considered as nearly zero energy buildings, aiming economic viability of the interventions.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Armando Oliveira, pela partilha do saber científico e as suas contribuições para o trabalho.

À minha família e amigos por todo o apoio que me deram e por sempre terem acreditado no meu trabalho.

À minha esposa Adriana, pelo apoio incondicional, compreensão nos momentos de maior indisponibilidade minha, e por insistentemente me transmitir que se deve terminar o que se começa, independentemente das dificuldades que possam surgir.

Índice de Conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura.....	2
2	O Setor Energético.....	4
2.1	O panorama energético no Mundo.....	4
2.2	O panorama energético na Europa.....	7
2.3	O panorama energético em Portugal.....	10
3	Energia e Edifícios.....	13
3.1	Caraterização do parque edificado na Europa.....	13
3.2	Caraterização do parque edificado em Portugal.....	15
3.3	Utilização de Energia nos edifícios Europeus.....	16
3.4	Utilização de Energia nos edifícios Portugueses.....	20
4	Edifícios de Balanço energético quase zero.....	24
4.1	Considerações gerais.....	24
4.2	Estado do Conhecimento.....	26
4.3	Implementação do conceito e as bases fundamentais para atingir nZEB.....	27
4.4	Definições e Balanço energético.....	30
4.5	Rumo aos nZEB no Sul da Europa.....	35
4.5.1	Instalação de equipamentos de elevada eficiência.....	37
4.5.2	Recurso a soluções construtivas de elevada qualidade térmica.....	37
4.5.3	Soluções de arquitetura apropriadas ao clima mediterrânico.....	37
4.5.4	Sistemas de iluminação energeticamente eficientes.....	38
4.5.5	Sistemas AVAC energeticamente eficientes.....	39
4.5.6	Produção de energia no local (ou proximidades) a partir de fontes renováveis.....	41
4.5.7	Utilização racional do edifício e dos seus sistemas e equipamentos.....	42
5	Caso de estudo – Edifícios de Serviços.....	43
5.1	Introdução ao caso de estudo.....	43
5.2	Caraterização geral do edifício.....	43
5.3	Caraterização da envolvente.....	45
5.3.1	Envolvente opaca exterior e interior.....	45
5.3.2	Envidraçados e dispositivos de proteção solar.....	47
5.4	Caraterização do sistema de climatização.....	48
5.5	Caraterização do sistema de preparação de AQS.....	49
5.6	Caraterização do sistema de aproveitamento de energias renováveis.....	49
5.7	Caraterização das cargas internas.....	50
5.8	Simulação e cálculo do desempenho energético.....	52
5.8.1	Simulação dinâmica.....	52

5.8.2	Indicador de Eficiência Energética previsto (IEE_{pr}).....	54
5.9	Medidas de eficiência energética e produção de energia local	57
5.9.1	Envolvente térmica.....	59
5.9.2	Influência das infiltrações e ventilação noturna.....	62
5.9.3	Otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC	63
5.9.4	Eficiência do sistema de tratamento e distribuição da rede do ar	67
5.9.5	Otimização dos consumos energéticos associados à iluminação.....	67
5.9.6	Conjugação de estratégias de eficiência energética e utilização de energias renováveis	68
5.9.7	Método oferta de energia (G) – procura de energia (L).....	80
5.9.8	Avaliação da influência climática.....	81
5.10	Análise económica.....	84
5.10.1	Análise de sensibilidade.....	87
5.10.2	Outros indicadores económicos	88
6	Caso de estudo – Edifício de Habitação	91
6.1	Introdução ao caso de estudo	91
6.2	Caraterização geral do edifício	91
6.3	Caraterização da envolvente	93
6.3.1	Envolvente opaca exterior e interior	93
6.3.2	Envidraçados e dispositivos de proteção solar.....	94
6.3.3	Classe de inércia térmica.....	94
6.4	Renovação do ar interior	96
6.5	Caraterização do sistema de climatização.....	96
6.6	Caraterização do sistema de preparação de AQS	96
6.7	Caraterização do sistema de aproveitamento de energias renováveis	97
6.8	Contexto metodológico de cálculo do desempenho energético	97
6.9	Indicadores de desempenho energético	104
6.10	Medidas de eficiência energética e produção de energia local	106
6.10.1	Otimização da envolvente térmica.....	107
6.10.2	Otimização da Ventilação	113
6.10.3	Otimização dos consumos de climatização e água quente sanitária	118
6.10.4	Utilização de energias renováveis.....	122
6.10.5	Método oferta de energia (G) – procura de energia (L).....	126
6.11	Análise económica.....	128
6.11.1	Análise de sensibilidade.....	131
6.11.2	Outros indicadores económicos	133
7	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	137
8	Referências e Bibliografia	142
ANEXO A:	Caraterização do edifício de serviços.....	146

A.1. Soluções construtivas que compõem a envolvente do edifício de serviços	146
A.2. Cálculo da inércia térmica	148
A.3. Resultados anuais da simulação dinâmica do edifício base nas três zonas climáticas	149
A.4. Balanço energético das análises paramétricas nas três zonas climáticas	153
ANEXO B: Caracterização do edifício de habitação.....	155
B.1. Caracterização da envolvente do edifício de habitação	155
B.2. Cálculo da inércia térmica	161
B.3. Resultados de cálculo do edifício base nas três zonas climáticas	162
B.4. Síntese das análises paramétricas e balanços energéticos nas três zonas climáticas	165

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo total de energia primária no Mundo (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	5
Figura 2 – Consumo total de energia primária por região (global, 1973 e 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	5
Figura 3 – Consumo total de energia final no Mundo, por forma de energia (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	6
Figura 4 – Consumo total de energia final no Mundo, por setor (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	7
Figura 5 – Consumo total de energia primária em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	8
Figura 6 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	9
Figura 7 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	9
Figura 8 – Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte (dados da referência: DGEG, 2015).....	10
Figura 9 – Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015) ..	11
Figura 10 – Evolução do consumo de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015) ..	11
Figura 11 – Evolução da dependência energética em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015)	12
Figura 12 – Distribuição do espaço útil dos edifícios pelo território Europeu (BPIE, 2011)	13
Figura 13 – Distribuição dos edifícios residenciais em função da idade, por região da Europa (BPIE, 2011).....	14
Figura 14 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia, na Europa (BPIE, 2011).....	14
Figura 15 – Distribuição dos edifícios não residenciais em função da idade, na Europa (Tabula, 2014)	14
Figura 16 – Distribuição dos edifícios residenciais por tipologia e por período de construção em Portugal (Entranze, 2008a)	15
Figura 17 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia em Portugal (DGEG, 2014).....	15
Figura 18 – Edifícios concluídos em 2000 e 2012 (dados da referência: DGEG, 2014).....	16
Figura 19 – Distribuição do consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	17
Figura 20 – Consumo específico de aquecimento em função da idade e por região da Europa (BPIE, 2011)	17
Figura 21 – Consumo específico de energia no setor residencial na Europa (Entranze, 2008b)	18
Figura 22 – Distribuição do consumo de energia final, por tipo de edifício na Europa (BPIE, 2011)	18
Figura 23 – Consumo específico de energia no setor não residencial na Europa (Entranze, 2008c)	19
Figura 24 – Consumo específico de energia por região da Europa (Entranze, 2008d)	19
Figura 25 – Consumo específico de energia na Letónia, por tipologia, período entre 2003 – 2010 (Entranze, 2008d).....	20

Figura 26 – Distribuição do consumo total de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015).....	20
Figura 27 – Evolução do consumo de eletricidade e o seu peso no consumo final (dados da referência: DGEG, 2015).....	21
Figura 28 – Desagregação das utilizações de energia no setor residencial (Matriz Porto, 2008)	21
Figura 29 – Impacto da grande reabilitação nas necessidades de energia na habitação por período de construção (ADENE, 2015).....	22
Figura 30 – Desagregação das utilizações de energia no setor não residencial (Dados do autor, 2009)	23
Figura 31 – Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (Kurnitski et al., 2014)	25
Figura 32 – Exemplos de edifícios de escritórios nZEB (ECB Annex 52, 2014)	27
Figura 33 – Representação esquemática do caminho para atingir um balanço energético nulo	29
Figura 34 – Balanço de energia primária: (a) método <i>E-D</i> e (b) método <i>G-L</i> (Gonçalves & Panão, 2013)	31
Figura 35 – Representação esquemática do balanço energético nulo	31
Figura 36 – Fronteiras e fluxos energéticos num edifício de escritórios nZEB (Kurnitski, 2013).....	33
Figura 37 – Fluxos energéticos num edifício de escritórios nZEB com produção renovável nas proximidades (Kurnitski, 2013)	34
Figura 38 – Rede sinérgica, partilha de energia a nível local (Virta et al., 2012)	35
Figura 39 – Esquema básico de um <i>chiller</i> /bomba-de-calor	40
Figura 40 – Fachadas principais do edifício.....	44
Figura 41 – Planta do R/C e do 1º andar (delimitação).....	47
Figura 42 – Cortes do edifício (delimitação).....	48
Figura 43 – Sistemas técnicos de climatização.....	49
Figura 44 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico para o Porto	50
Figura 45 – Consumo anual de energia final: (a) por uso, (b) estrutura de uso em [%] e (c) consumo por fonte de energia	53
Figura 46 – (a) Desempenho energético por uso tipo S e (b) IEE_{pr} s/ equipamentos elétricos	56
Figura 47 – Consumo de energia de cada análise medida em percentagem [%]	59
Figura 48 – Comportamento de dispositivos de controlo solar no Verão	60
Figura 49 – Comportamento de diferentes vãos envidraçados no consumo energético	61
Figura 50 – Comparação da alteração da cobertura no consumo energético	61
Figura 51 – (a) Indicadores de desempenho AP1 – AP7 e (b) IEE sem consumos do tipo T	62
Figura 52 – Influência da ventilação noturna	63
Figura 53 – Efeito da temperatura interior na energia utilizada no edifício.....	64
Figura 54 – (a) EER vs. Temperatura exterior do Ch/BC do edifício (b) COP vs. Temperatura exterior do Ch/BC do edifício	65
Figura 55 – Otimização do set-point da temperatura de evaporação do Ch/BC	65

Figura 56 – (a) Indicadores de desempenho AP8 – AP11 e (b) IEE sem consumos do tipo T	66
Figura 57 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP12	67
Figura 58 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP13	68
Figura 59 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com: (a) AP14 (b) AP15	68
Figura 60 – Comparação da eficiência sensível no recuperador de calor ar/ar: (a) RC UTAN1 (b) UTAN1 A....	69
Figura 61 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP16	70
Figura 62 – (a) Indicadores de desempenho AP12 – AP16 e (b) IEE sem consumos do tipo T	70
Figura 63 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico	72
Figura 64 – Comparação do comportamento do consumo anual e mensal dos sistemas de apoio para satisfazer a preparação de AQS.....	72
Figura 65 – (a) Indicadores de desempenho AP17 – AP19 e (b) IEE sem consumos do tipo T	73
Figura 66 – (a) EER vs. Temperatura exterior do Ch/BC base e Ch/BC classe A (b) COP vs. Temperatura exterior do Ch/BC base e Ch/BC classe A	75
Figura 67 – Curvas de performance em aquecimento e arrefecimento	76
Figura 68 – (a) Indicadores de desempenho AP20 – AP22 e (b) IEE sem consumos do tipo T	77
Figura 69 – Resultados da simulação dos sistemas fotovoltaicos (a) 22 kWp e (b) 11 kWp.....	78
Figura 70 – (a) Consumos por forma de energia e (b) IEE sem consumos do tipo T	79
Figura 71 – Balanço de energia primária, método <i>G-L</i>	80
Figura 72 – (a) Indicadores de desempenho – consumos anuais de energia final por uso e (b) Índice de eficiência energética s/ consumos do tipo T	81
Figura 73 – Consumos anuais de energia final por uso: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	82
Figura 74 – Índice de eficiência energética s/ consumos do tipo T e penetração de energia renovável expressa em energia primária	82
Figura 75 – Balanço de energia primária, método <i>G-L</i> : (a) Bragança e (b) Faro.....	83
Figura 76 – Nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético (taxa de desconto 4% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo da energia 3,3%): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	86
Figura 77 – Nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético (taxa de desconto 4% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo de energia 4,5%): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	88
Figura 78 – Fachadas principais do edifício.....	92
Figura 79 – Planas e cortes da moradia e respetiva delimitação da envolvente.....	95
Figura 80 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico para Faro	97
Figura 81 – (a) Necessidades de energia útil e consumo anual de energia final: (b) por uso e (c) por fonte de energia	104
Figura 82 – (a) Desempenho energético por uso (b) Necessidades anuais de energia primária (Ntc)	105
Figura 83 – Consumo de energia de cada análise quantificada em [%]: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro.....	107
Figura 84 – Indicadores de desempenho AP1 – AP4: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro.....	108

Figura 85 – Indicadores de desempenho AP5 – AP8: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro.....	111
Figura 86 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base e AP1 a AP8.....	112
Figura 87 – Perdas de calor associadas à ventilação no Inverno Q_{ve}, i'	114
Figura 88 – Indicadores de desempenho AP9 – AP12: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	116
Figura 89 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base e AP9 a AP12, AP10a, AP12a e AP12b	117
Figura 90 – Consumos anuais de energia final por uso: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	120
Figura 91 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base a AP16	120
Figura 92 – Resultados da estimativa da energia produzida a partir dos sistemas fotovoltaicos para os três climas	123
Figura 93 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	126
Figura 94 – Balanço de energia primária, método $G-L$: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	128
Figura 95 – Nível ótimo de rentabilidade (taxa de desconto 3% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo da energia 3,3%: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	130
Figura 96 – Nível ótimo de rentabilidade (taxa de desconto 3% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo da energia 2%: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro	133
 Figura A 1 – Simulação energética base Porto.....	 149
Figura A 2 – Simulação energética base Bragança.....	149
Figura A 3 – Simulação energética base Faro	150
 Figura B 1 – Pormenores construtivos	 160
Figura B 2 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes no Porto.....	169
Figura B 3 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes em Bragança.....	169
Figura B 4 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes em Faro	169

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Desagregação dos consumos de energia por tipologia (Fernandes, 2013)	22
Tabela 2 – Paradigma atual versus Paradigma futuro na conceção de edifícios	36
Tabela 3 – Critérios chave para conceção de nZEB, em climas frios e em climas temperados (Virta et al., 2012).	36
Tabela 4 – Áreas da envolvente.....	45
Tabela 5 – Áreas por orientação [m ²]	45
Tabela 6 – Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca	46
Tabela 7 – Espaços sem necessidade térmicas e sem ocupação permanente.....	46
Tabela 8 – Potência total instalada por luminárias	51
Tabela 9 – Densidade de iluminação interior	51
Tabela 10 – Consumo anual de energia final (por tipo de uso)	53
Tabela 11 – Dados climáticos das três zonas	57
Tabela 12 – Resumo dos principais indicadores e IEE sem consumos tipo T	57
Tabela 13 – Análises paramétricas realizadas no edifício base	58
Tabela 14 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP1 - AP7.....	62
Tabela 15 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP8 - AP11.....	66
Tabela 16 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP12 - AP16.....	71
Tabela 17 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP17 - AP19.....	74
Tabela 18 – Pressupostos de cálculo dos permutadores de calor geotérmicos verticais.....	76
Tabela 19 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP20 - AP22.....	77
Tabela 20 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP23 - AP26.....	79
Tabela 21 – Preços considerados no cálculo dos custos energéticos do edifício de serviços (retirados dos contratos de fornecimento de energia do proprietário do edifício, relativos a 2014).....	85
Tabela 22 – Principais indicadores económicos avaliados no Porto: cenário base e AP1 – AP15	89
Tabela 23 – Principais indicadores económicos AP16 – AP26 (taxa de desconto 4% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo de energia 3,3%)	89
Tabela 24 – Custo energético anual e custo global atualizado AP16 – AP26 (taxa de desconto 4% taxa de inflação 2,5% taxa de inflação do custo de energia 3,3%)	90
Tabela 25 – Reflexo da economia de energia no edifício em valores monetários e energéticos AP16 – AP26	90
Tabela 26 – Áreas por orientação [m ²]	92
Tabela 27 – Áreas da envolvente.....	93
Tabela 28 – Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca	94

Tabela 29 – Espaços não úteis identificados	94
Tabela 30 – Resumo dos principais indicadores de desempenho	105
Tabela 31 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP1 – AP4.....	109
Tabela 32 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP1 – AP4.....	109
Tabela 33 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP1 – AP4.....	109
Tabela 34 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP5 – AP8.....	111
Tabela 35 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP5 – AP8.....	111
Tabela 36 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP5 – AP8.....	112
Tabela 37 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP1 – AP8.....	112
Tabela 38 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP1 – AP8.....	113
Tabela 39 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP1 – AP8.....	113
Tabela 40 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP9 – AP12.....	116
Tabela 41 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP9 – AP12.....	116
Tabela 42 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP9 – AP12b.....	116
Tabela 43 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP9 – AP12.....	117
Tabela 44 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP9 – AP12.....	117
Tabela 45 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP9 – AP12b.....	118
Tabela 46 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP13 – AP16.....	121
Tabela 47 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP13 – AP16.....	121
Tabela 48 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP13 – AP16.....	122
Tabela 49 – Análises paramétricas realizadas com os sistemas fotovoltaicos	123
Tabela 50 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP17 – AP23.....	124
Tabela 51 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP17 – AP25.....	124
Tabela 52 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP17 – AP23.....	125
Tabela 53 – Preços considerados no cálculo dos custos energéticos do edifício de habitação (retirados de contratos de fornecimento de energia no setor doméstico, relativos a 2015)	128
Tabela 54 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Porto.....	134
Tabela 55 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Bragança.....	135
Tabela 56 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Faro.....	136
 Tabela A 1 – Soluções construtivas que compõem a envolvente do edifício de serviços	 147
Tabela A 2 – Cálculo da inércia térmica do edifício de serviços.....	148
Tabela A 3 – Relação de caudais de ar novo do piso 0 contabilizados na simulação energética.....	151

Tabela A 4 – Relação de caudais de ar novo do piso 1 contabilizados na simulação energética	152
Tabela A 5 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Porto	153
Tabela A 6 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Bragança	154
Tabela A 7 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Faro.....	154
Tabela B 1 – Envolvente opaca por orientação [m ²].....	155
Tabela B 2 – Envolvente não opaca por orientação.....	155
Tabela B 3 – Soluções construtivas PE_01 e PE_01_PTP.....	156
Tabela B 4 – Soluções construtivas PE_02 e PE_02_PTP.....	157
Tabela B 5 – Soluções construtivas: PTP_03, PI_01 e COB_01.....	158
Tabela B 6 – Soluções construtivas COB_02, PAV_EXT e PAV_INT.....	159
Tabela B 7 – Cálculo da inércia térmica	161
Tabela B 8 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base no Porto	162
Tabela B 9 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base em Bragança	163
Tabela B 10 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base em Faro.....	164
Tabela B 11 – Análises paramétricas realizadas nos três climas	166
Tabela B 12 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Porto.....	166
Tabela B 13 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Bragança.....	167
Tabela B 14 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Faro	168

Notação e Glossário

a	Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica	-
A_f	Área da caixilharia	[m ²]
A_g	Área do vidro	[m ²]
A_{pav}	Área de pavimento útil	[m ²]
A_{pavn}	Área de pavimento de acordo com definição nacional	[m ²]
$A_p \cdot pd$	Volume do edifício ou fração	[m ³]
$A_{s,nj}$	Área efetiva de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j	[m ²]
b_{tr}	Coeficiente de redução de perdas	-
$b_{ve,i'}$	Coeficiente de correção da temperatura na estação de aquecimento	
C_{aqs}	Consumo anual de água quente sanitária (AQS)	[l/ano]
C_{ga}	Custo global do valor atual	[€]
C_I	Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas	[€]
C_0	Custo energético anual no ano de início	[€]
c_p	Calor específico a pressão constante	[kJ/kg.°C]
e	Taxa anual da inflação da energia ou da inflação geral	
$E_{del,i}$	Energia fornecida ao edifício por fonte de energia i , para os diferentes usos	[kWh/a]
$E_{exp,i}$	Energia exportada pelo edifício por fonte de energia i	[kWh/a]
E_i	Consumo de energia por fonte i	[kWh/a]
EP_P	Indicador de energia primária	[kWh _{EP} /m ² .a]
$E_{REN,i}$	Produção de energia elétrica e térmica a partir de fonte renovável, i	[kWh/a]
E_{solar}	Fornecimento de energia solar térmica	[kWh/a]
F_i	Fator de conversão de energia final para energia primária de origem não renovável, por fonte de energia i	[kWh _{EP} /kWh]
$f_{n,k}$	Fração das necessidades de energia para o uso n , suprimidas pelo sistema k	-
$F_{pu,i}$	Fator de conversão de energia final para energia primária, por fonte de energia i	[kWh _{EP} /kWh]
$F_{s,nj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j	-
GD	Graus-dia de aquecimento associados à estação de aquecimento	[°C.dia]
$g_{\perp,v}$	Fator solar do vidro, para uma incidência solar normal à superfície do vidro	-
G_{Sul}	Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento	[kWh/m ² .mês]
g_T	Fator solar do vão envidraçado com proteções solares totalmente ativadas	-
H_t	Coeficiente global de transferência de calor	[W/°C]

H_{tr}	Coeficiente de transferência de calor pela envolvente	[W/°C]
H_{ve}	Coeficiente de transferência de calor por ventilação	[W/°C]
i_a	Taxa anual de atualização ou desconto da análise do investimento	
$IEE_{(1)}$	Indicador de eficiência energética previsto “técnico”	[kWh _{EP} /m ² .a]
IEE_{pr}	Indicador de eficiência energética previsto	[kWh _{EP} /m ² .a]
$IEE_{pr,REN}$	Indicador de eficiência energética previsto renovável	[kWh _{EP} /m ² .a]
$IEE_{pr,S}$	Indicador de eficiência energética previsto de consumos tipo S	[kWh _{EP} /m ² .a]
$IEE_{pr,T}$	Indicador de eficiência energética previsto de consumos tipo T	[kWh _{EP} /m ² .a]
I_{sol}	Intensidade média de radiação total incidente na orientação j , ao longo da estação de arrefecimento	[kWh/m ²]
I_t	Massa superficial útil por área de pavimento	[kg/m ²]
lg	Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro	[m]
M	Duração média da estação convencional de aquecimento	[meses]
m_i	Massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior	[kg/m ²]
M_{Si}	Massa superficial útil do elemento	[kg/m ²]
m_t	Massa total do elemento	[kg/m ²]
n_a	Número de anos a partir do período inicial	
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária	[kWh _{EP} /m ² .a]
$P_{arr,v}$	Potência térmica total útil a retirar ao ar interior para realizar o seu arrefecimento	[kW]
$P_{int,v}$	Potência térmica devida aos ganhos internos na estação de arrefecimento	[kW]
$P_{saq,i'}$	Potência térmica sensível útil a fornecer ao ar interior para realizar o seu aquecimento	[kW]
$P_{solar,v}$	Potência térmica requerida de arrefecimento devida aos ganhos solares na estação de arrefecimento	[kW]
$P_{trans,v}$	Potência térmica sensível de arrefecimento (a retirar ao ar interior)	[kW]
q	Fluxo de calor específico transferido entre o fluido e o furo	[W/m]
Q_a	Necessidades de energia para a preparação de AQS	[kWh/a]
$\dot{Q}_{cond}$	Potência calorífica (calor libertado no condensador por unidade de tempo)	[kW]
$\dot{Q}_{c,r}$	Potência calorífica (calor rejeitado para o solo por unidade de tempo)	[kW]
$\dot{Q}_{evap}$	Potência calorífica (calor trocado no evaporador por unidade de tempo)	[kW]
Q_g	Ganhos térmicos brutos na estação em estudo (aquecimento ou arrefecimento)	[kWh]
$\dot{Q}_{h,a}$	Potência calorífica (calor aproveitado do solo por unidade de tempo)	[kW]
$Q_{i'c}$	Necessidades anuais de aquecimento	[kWh/a]
Q_{int}	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor	[kWh]
Q_n	Necessidades de energia para o uso n	[kWh/a]
$Q_{senvidra,v}$	Ganhos solares pela envolvente envidraçada na estação de arrefecimento	[kWh]
$Q_{sol,i'}$	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos	[kWh]

	envidraçados na estação de aquecimento	
$Q_{sol,v}$	Ganhos térmicos resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada na estação de arrefecimento	[kWh]
$Q_{Sopaco,v}$	Ganhos solares pela envolvente opaca na estação de arrefecimento	[kWh]
Q_{tr}	Transferência de calor por transmissão pela envolvente	[kWh]
Q_{vc}	Necessidades anuais de arrefecimento	[kWh/a]
Q_{ve}	Transferência de calor por ventilação	[kWh]
r	Fator de redução da massa superficial útil	-
R	Resistência térmica	[m ² .°C/W]
R_{ph}	Taxa nominal horária de renovação do ar interior	[h ⁻¹]
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior	[m ² .°C/W]
R_{si}	Resistência térmica superficial interior	[m ² .°C/W]
R_t	Resistência térmica total	[m ² .°C/W]
S_i	Área da superfície interior do elemento	[m ²]
U	Coeficiente de transmissão térmica	[W/(m ² .°C)]
U_f	Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia	[W/(m ² .°C)]
U_g	Coeficiente de transmissão térmica do vidro	[W/(m ² .°C)]
U_w	Coeficiente de transmissão Térmica do conjunto do vão envidraçado	[W/(m ² .°C)]
U_{wdn}	Coeficiente de transmissão térmica do vão médio dia-noite	[W/(m ² .°C)]
V_{ins}	Caudal de ar insuflado	[m ³ /h]
W_n	Consumo de energia para o uso n	[kWh/a]
W_{vm}	Consumo de ventilação mecânica	[kWh/a]
X_j	Fator de orientação para as diferentes exposições	-
Letras gregas		
γ	Relação entre os ganhos térmicos brutos e a transferência de calor pela envolvente e por ventilação na estação em análise (aquecimento ou arrefecimento)	-
ΔT	Diferencial de temperatura	[°C]
η_g	Fator de utilização de ganhos térmicos	-
$\eta_{n,k}$	Eficiência do sistema k , servindo o uso n	-
η_{RC}	Rendimento do recuperador de calor	-
$\theta_{v,ext,p}$	Temperatura do ar exterior do projeto na estação de arrefecimento	[°C]
$\theta_{i',ext,p}$	Temperatura do ar exterior do projeto na estação de aquecimento	[°C]
$\theta_{i,i'}$	Temperatura do ar interior para o projeto na estação de aquecimento	[°C]
$\theta_{i,v}$	Temperatura do ar interior para o projeto na estação de arrefecimento	[°C]
$\theta_{v,ext}$	Temperatura de média do ar exterior na estação de arrefecimento	[°C]
$\theta_{v,ref}$	Temperatura de referência na estação de arrefecimento	[°C]

λ	Condutibilidade térmica	[W/(m.°C)]
λ_s	Condutividade térmica do solo	[W/(m.°C)]
ρ	Massa volúmica aparente	[kg/m ³]
$\rho_{\text{água}}$	Massa volúmica da água	[kg/l]
ρ_{ar}	Massa volúmica do ar	[kg/m ³]
ψ	Coefficiente de transmissão linear	[W/m.°C]
ψ_g	Coefficiente de transmissão linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro	[W/m.°C]

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A evidência científica e os inúmeros relatórios que atestam o estado fragilizado do nosso ecossistema, bem como as preocupações relativas ao custo e segurança do abastecimento energético, fazem com que se reconheça a importância e urgência da definição de políticas com objetivos claros e ambiciosos para a Energia. É de conhecimento global, que o progresso e o crescimento económico não ocorrem sem colocar graves problemas. A confrontação é inevitável quando se coloca a questão de saber se o crescimento contínuo do consumo da energia nos traz mais efeitos perversos do que benefícios, quer para a humanidade quer para o sistema ecológico. A problemática, do consumo da energia ultrapassa o quadro puramente técnico, já que são colocadas em jogo questões fundamentais que dizem respeito quer à atualidade, quer ao futuro da nossa sociedade.

A energia desempenha um papel fundamental na economia e no seu desenvolvimento. Esta constatação, indiscutível, não justifica um crescimento, indisciplinado, quer na procura, quer da oferta de energia. Problemas diversos impedem claramente o procedimento sobre a via da inflação energética. Neste enquadramento, a eficiência energética, nas utilizações finais, é de significativa importância, apresentando-se como sendo um cenário mais eficaz tanto do ponto de vista técnico, como do ponto de vista económico, e permite responder à procura, mantendo o mesmo nível das prestações energéticas, com menos quantidade de energia.

Ao nível dos edifícios, os desafios que se colocam são cada vez maiores e mais exigentes. A revisão, em 2010, da diretiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios definiu, como metas que em 2018 os novos edifícios públicos, e que em 2020 todos os edifícios novos, sejam edifícios de balanço energético quase nulo, nZEB (*nearly zero energy buildings*), ou seja, “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, de acordo com a tradução adotada para Portugal da Diretiva 2010/31/EU (EPBD Recast, 2010). A definição de nZEB ou “quase” ZEB sintetiza dois eixos de atuação para se alcançar o objetivo: redução da “procura” da energia e produção de energia, de preferência local, com recurso a fontes renováveis. É irrecusável o recurso à eficiência energética e às fontes renováveis de energia, bem como, a avaliação de novas oportunidades de negócio na área do solar e no aproveitamento de outras formas de energias renováveis, que concorram para uma maior autonomia energética dos edifícios e para responder ao desafio de “quase” ENERGIA ZERO.

1.2 Objetivos

Nos edifícios, a sustentabilidade não tem a ver apenas com o ambiente e os aspetos construtivos, é uma questão que se reconhece transversal a todo o conjunto de sistemas e instalações que o integram. A climatização é uma componente essencial dessas infraestruturas e representa geralmente um investimento significativo, há que refletir sobre o seu impacto nos diferentes níveis: conforto, desempenho, eficiência energética e sustentabilidade. Apenas com uma integração consciente e multidisciplinar das várias especialidades que intervêm desde da fase do projeto, construção e exploração do edificado, será possível desenhar soluções passivas (arquitetura, soluções construtivas), ativas (climatização e iluminação artificial) e combinar tecnologias de produção energética renovável (preferencialmente locais), de uma forma eficiente e competitiva para que seja atingido o objetivo de edifícios de balanço energético “quase” nulo. Para tal, é fundamental a utilização de ferramentas de simulação, de forma a prever corretamente o desempenho energético do edifício.

Dentro deste contexto, pretende-se desenvolver um estudo aplicado a dois edifícios-tipo, denominados cenário base, onde serão implementadas, por um lado, estratégias e tecnologias de climatização, conducentes à redução do eixo da procura de energia e portanto ao aumento da eficiência energética, através da otimização na afetação de recursos disponíveis. Por outro lado, implementar tecnologias de origem renovável na perspetiva de produção de energia, para se alcançar o balanço energético quase nulo numa base anual. Para estudar a viabilidade destas soluções (estratégias e tecnologias de climatização), será utilizado um programa de simulação dinâmica detalhada, de forma a simular e avaliar o desempenho energético do edifício com as novas soluções propostas, comparando-as com as soluções base do edifício-tipo.

1.3 Estrutura

A metodologia do estudo compreende as etapas distintas, a seguir discriminadas:

- O estado global do setor energético, através do panorama Mundial, Europeu e Nacional. Em complemento, a relação da energia com setor dos edifícios residenciais e não residenciais;
- A Revisão ao Estado-da-Arte, do conceito *nearly zero energy buildings* (nZEB), o seu enquadramento nas políticas e estratégias energéticas dos vários Estados-Membros da União Europeia. As definições de balanço energético enquadrados dentro nesta temática. A necessidade de mudança de paradigma na procura de energia nos edifícios, das formas de utilização das energias renováveis e a sua integração nos edifícios e sistemas de climatização.
- Apresentação, caracterização e avaliação energética de dois cenários base (edifício de serviços e edifício residencial), a saber:
 - \ No caso do edifício de serviços, avaliação energética com recurso a programa de simulação de referência, que satisfaz os requisitos da norma ASHRAE¹ 140, contemplando resumidamente os seguintes passos: criação do modelo térmico do edifício no programa “*Hourly Analysis Program*”; caracterização da envolvente térmica; caracterização das cargas internas e perfis de utilização; avaliação do comportamento térmico e estimativa das necessidades térmicas de aquecimento e arrefecimento; caracterização e

¹American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

- criação do modelo dos sistemas de climatização e do sistema de preparação de água quente sanitária (AQS); análise e discussão de resultados dos consumos energéticos por forma de energia, por uso final, por energia primária, por emissões equivalente de dióxido de carbono (CO₂).
- \ No caso da moradia, caracterização da envolvente térmica; cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento; caracterização do sistema de climatização e preparação de água quente sanitária (AQS); avaliação do desempenho energético através da metodologia cálculo suportada pelo despacho 15793-I/2013, no âmbito do REH (Regulamento de desempenho Energético dos Edifícios de Habitação); análise e discussão de resultados dos consumos energéticos por forma de energia, por uso final, por energia primária, por emissões equivalente de dióxido de carbono (CO₂).
 - Parametrização de estratégias passivas e ativas nos cenários base, através da integração de medidas de melhoria da eficiência energética, com recurso à simulação térmica (no caso do edifício de serviços). Os estudos irão ter incidência, de forma hierárquica, na redução das necessidades energéticas por intervenção na envolvente térmica, otimização do sistema de iluminação e otimização do sistema de climatização e preparação de AQS. O outro passo fundamental para atingir o desafio do balanço energético quase nulo, é a produção de energia através de sistemas de captação das energias renováveis, serão então quantificados no balanço energético, sistemas de produção origem renovável pensados para os edifícios. Será ainda avaliada a influência da alteração climática, usando dados climáticos de regiões distintas de Portugal (Porto, Bragança e Faro).
 - Avaliação do impacto económico das parametrizações propostas para os edifícios. A análise económica vai-se centrar no critério do nível ótimo de rentabilidade, que é definido como o nível de desempenho energético que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Paralelamente, aborda-se o nível de rentabilidade ótima pela perspetiva dos critérios clássicos mais frequentemente utilizados na avaliação de investimentos, nomeadamente o Valor atual líquido (VAL) e período de recuperação do capital.
 - Finalmente, o último capítulo é relativo às conclusões e perspetivas de trabalho futuro.

2 O Setor Energético

2.1 O panorama energético no Mundo

O desenvolvimento do mundo esteve sempre associado à energia, ou antes, à transformação da energia primária e fontes secundárias. A descoberta do fogo foi um passo importante da evolução da Humanidade que está obviamente interligado à energia.

Depois do choque petrolífero de 1973, com a primeira crise do petróleo devido à quarta guerra Israelo-Árabe, desenvolveram-se conjunturas económicas caracterizadas pela existência de elevadas taxas de inflação e de juro, que contribuíram para criar um ambiente económico mais fragilizado. O consumo de diversas formas de energia começou a apresentar comportamentos mais erráticos. Em muitos Países, houve necessidade de desenvolver campanhas de sensibilização da opinião pública para as vantagens e a urgente necessidade de se adaptarem medidas de diversificação e de redução de consumos de energia e foram desenvolvidos diversos documentos legislativos destinados a incentivar a utilização de recursos renováveis.

A sociedade em que vivemos tornou-se consumidora intensiva de energia, e atualmente enfrenta dois desafios relacionados entre si: o iminente esgotar dos recursos de combustíveis fósseis, agravado pelo constante crescimento da procura de energia e as preocupações ambientais com a emissão de CO₂, relacionadas com a queima de combustíveis fósseis associadas à utilização de energia. A estes factos acrescem razões económicas e os riscos de dependência geoestratégica de produtores de petróleo e gás natural em regiões instáveis, que transformaram a diversificação, preferencialmente com fontes não poluentes e a segurança no abastecimento energético em temas centrais da nossa atualidade. Pode-se afirmar que a manutenção dos padrões de vida da sociedade moderna depende da capacidade de se construir sistemas energéticos ambientalmente sustentáveis.

Nas últimas décadas tem-se assistido a um aumento do consumo energético a nível mundial.

Em 1973 o consumo de energia primária² era 6.106 Mtep, tendo mais que duplicado em 2012 com um consumo de 13.371 Mtep (KWE Statistics, 2014). Excetuando os períodos subsequentes aos choques petrolíferos em 1973 e em 1979, em que houve um decréscimo do consumo, o aumento foi uma constante. A maior fatia corresponde ao conjunto dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), que representa 39,2 % da energia primária consumida no mundo em 2012, apesar do peso do seu consumo energético ter vindo a diminuir de forma expressiva, com 61,3% em 1973 (KWE Statistics, 2014).

² Energia primária, a energia de fontes renováveis e não renováveis que não foi submetida a um processo de conversão ou transformação.

Na figura 1, apresenta-se a desagregação dos diversos vetores energéticos da oferta da energia em 2012, mostra que 81,7% da energia consumida pela Humanidade é hoje proveniente de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. O fornecimento de energia primária é complementado por 4,8% de energia nuclear e 13,5% de energia proveniente de fontes renováveis³ (KWE Statistics, 2014).

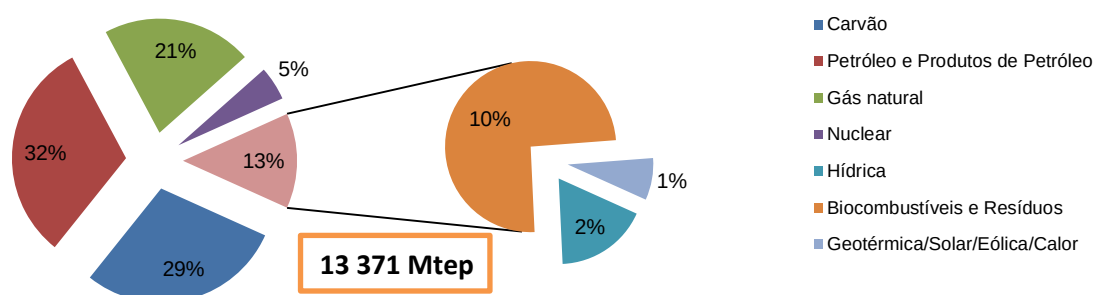


Figura 1 – Consumo total de energia primária no Mundo (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

De ressaltar em coerência com o que se deixa acima, a excessiva dependência de fontes não renováveis.

O efeito dramático da crise financeira atual, originou uma queda na procura do petróleo dos países importadores. No entanto, a entrada em cena na economia Mundial das potências Asiáticas, em particular a China, cujas necessidades de energia apresentam um contínuo crescimento, veio provocar um novo choque pelo lado da procura no mercado petrolífero mundial. O consumo energético da China correspondeu a 21,8% da energia primária em 2012, enquanto em 1971 correspondia a apenas 7 %, tal como demonstra a Figura 2.

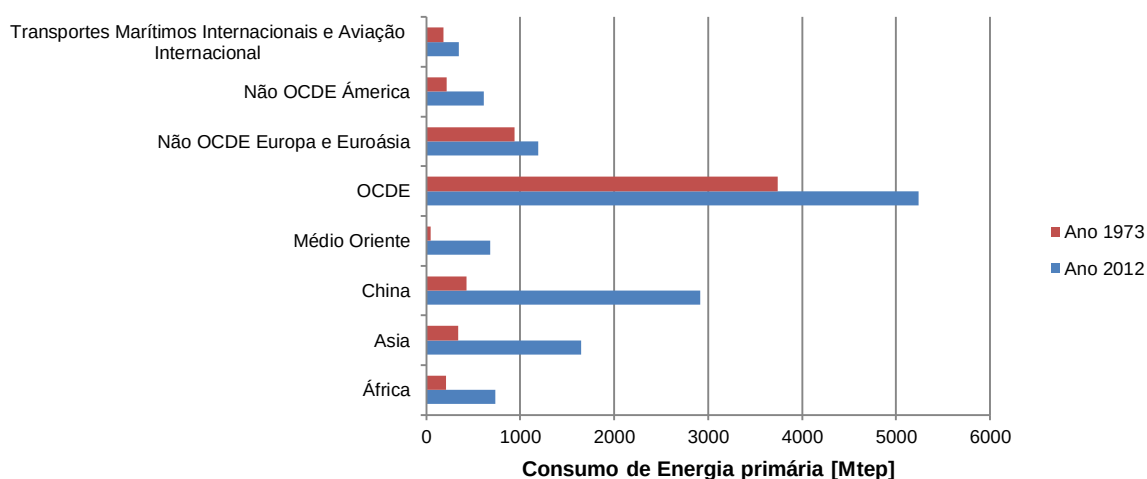


Figura 2 – Consumo total de energia primária por região (global, 1973 e 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

³ Energias renováveis, a energia de fontes não fósseis renováveis, designadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hídrica, de biomassa e de biogás.

A dependência energética e a exaustão dos recursos fósseis, sobretudo de petróleo, obriga os países produtores a investirem em avanços tecnológicos para uma procura eficiente de novas formas de extração, provocando o aumento do seu preço de comercialização para suportarem os elevados custos de produção do crude, associados a sondagens e extrações, que não seriam possíveis de realizar se o produto tivesse baixos valores de mercado.

Na perspetiva da energia final, isto é, aquela que se disponibiliza ao mercado, ou utilizador, sob forma de eletricidade ou combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos) ou já sob forma de calor, o cenário caracterizado pelas diversas formas de energia é dominado pelo petróleo e seus derivados representando 41% do consumo final, seguido do peso da eletricidade com 18%, tal como mostra a figura 3 (KWE Statistics, 2014). Interessante notar que o consumo energia final em 1973 era 52% do consumo global de 2012.

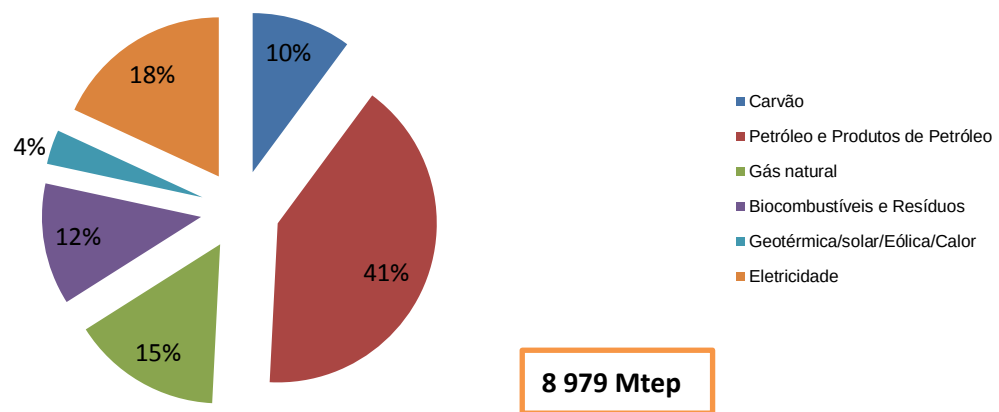


Figura 3 – Consumo total de energia final no Mundo, por forma de energia (global, 2012)
(dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Por sua vez, numa economia de mercado, à oferta corresponde sempre uma procura, sendo que esta é representada pela energia para a satisfação das funções sociais mais diversas desde a mobilidade, ao conforto e bem-estar e à produção de bens e serviços.

A figura 4 demonstra a distribuição do consumo de energia final (2012), por setor de atividade e como se pode verificar a maior parcela com cerca de 31% é destinada ao setor dos edifícios, seguido dos setores da indústria e transportes com peso percentual próximos, na ordem dos 28%.

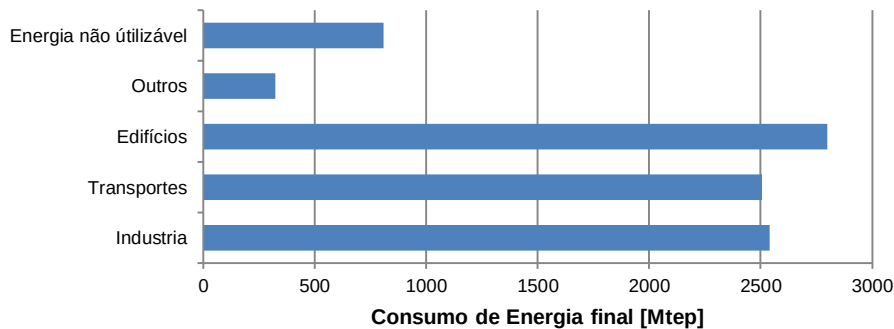


Figura 4 – Consumo total de energia final no Mundo, por setor (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Ainda, no que respeita aos edifícios, importa destacar o residencial como sendo um dos maiores consumidores de energia final, tendo sido responsável por 23% do consumo global em 2012 e representando 74% do consumo deste setor (2.799 Mtep), com o restante absorvido pelos edifícios de serviços (KWE Statistics, 2014). Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), o consumo energético nos edifícios será de 4.407 Mtep em 2050, com o sector residencial responsável por 59% do consumo e o de serviços por 41% (ETP, 2010).

Face a este quadro, torna-se necessário aumentar o compromisso da dinamização da gestão racional da procura energética, através da promoção do aumento da eficiência energética e aumento da integração das fontes renováveis nos edifícios, reduzindo as emissões de CO₂ e garantindo o bem-estar aos cidadãos. Este desígnio da sustentabilidade ambiental, mas também económica e social, consegue-se com enormes investimentos que estão a ser disponibilizado em todo o mundo.

Este cenário exige que o sector dos edifícios adote novas práticas e técnicas na construção que se disponibilize instrumentos financeiros para apostar em novas tecnologias. Obriga também à partilha e transferência do conhecimento e tecnologias aplicadas nos novos edifícios na renovação dos edifícios existentes e uma maior e melhor articulação entre os decisores, investidores, promotores, construtores, instaladores e os consumidores. Refira-se que a AIE, no seu documento de cenários e estratégias para 2050, estimou um potencial de poupança energética de 1.509 Mtep, distribuídos 63% para o sector residencial e 37% para o sector dos serviços.

2.2 O panorama energético na Europa

Seguindo a mesma linha de orientação, na figura 5 quantifica-se o consumo de energia primária, por forma de energia, da União Europeia (UE) que no ano de 2012 representava cerca de 12,3% do consumo global dessa energia. Verifica-se que 73,8% da energia consumida é proveniente de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. O fornecimento de energia primária é complementado por 14% de energia nuclear e 12,2% de energia proveniente de fontes renováveis.

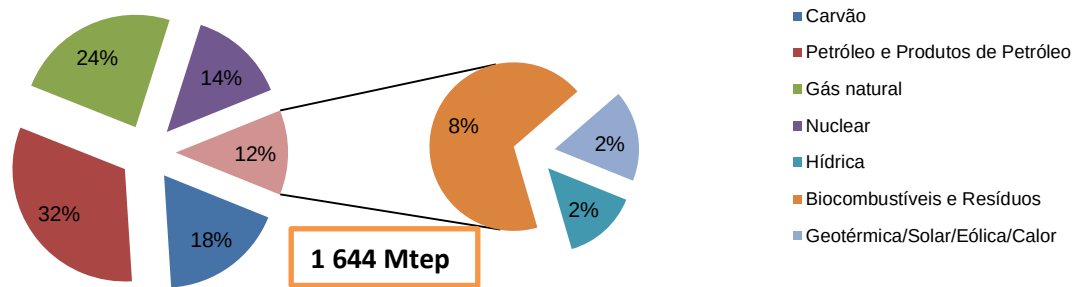


Figura 5 – Consumo total de energia primária em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

A forte predominância dos combustíveis fósseis existentes na Europa contrasta com as atuais decisões alcançadas no quadro de ação da UE relativo ao Clima e à Energia para 2030. Normalmente, é bastante empenhada ao combate das alterações climáticas, na segurança e na redução da dependência energética, mas as metas definidas para o aumento da eficiência energética em 2030 em relação às projeções do consumo futuro de energia com base nos critérios atuais, ficaram-se por apenas 27%. Recorde-se que a proposta inicial centrava-se em três metas centrais: redução de, pelo menos, 40% as emissões de gases com efeito de estufa até 2030 em comparação com os valores de 1990; aumento da eficiência energética de 30% e aumento penetração das energias renováveis em 27% no consumo final de energia.

A pressão dos países mais ativos no setor da energia e ambiente parece insuficiente para travar o pessimismo da maioria que hoje se ampara numa situação economicamente desfavorável e que não elege a eficiência energética como setor prioritário. No entanto, esta não é a única explicação para o retrocesso na promoção da eficiência energética onde os efeitos da crise económica continuam a travar o crescimento sustentável. Acresce o ceticismo e não envolvimento de alguns países que ainda têm no nuclear, petróleo e carvão as suas atenções.

Na perspetiva da energia final, a estrutura de consumos pelas diversas formas de energia é dominada pelo petróleo e seus derivados representando 41% do consumo final, seguido do peso do gás natural com 23%, da eletricidade com 21%, as fontes renováveis expressam-se com 12 % e o carvão apenas com 3%, tal como mostra a figura 6 (KWE Statistics, 2014).

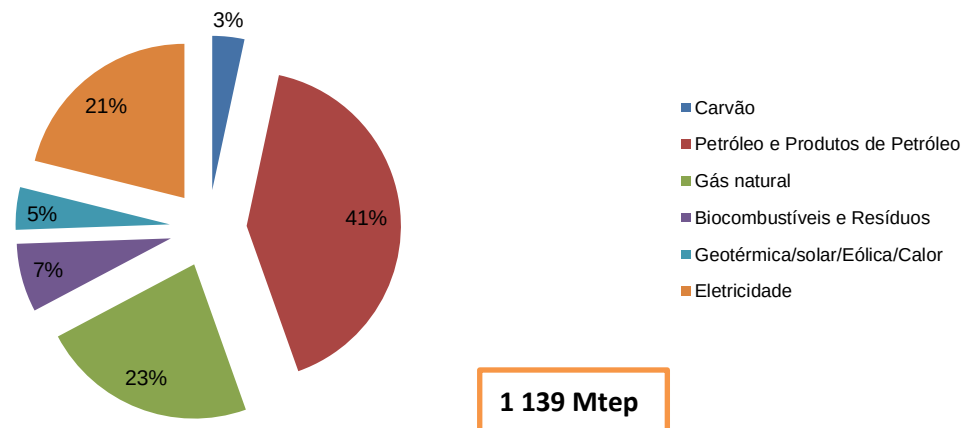


Figura 6 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Na perspetiva da procura, a Europa é claramente dominada pelos edifícios com 38% do consumo final, seguido dos transportes (27%) e indústria (23%), tal como se demonstra na figura 7 (KWE Statistics, 2014). Refira-se que o setor residencial absorve 66% da parcela afeta aos edifícios (438 Mtep).

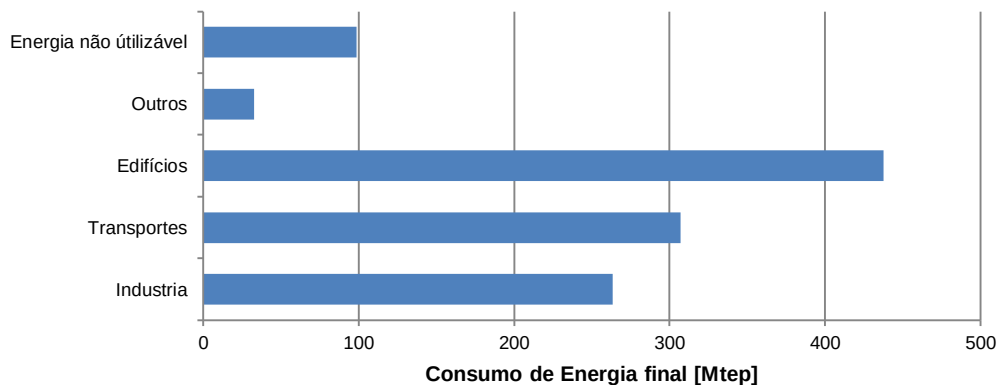


Figura 7 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Mais de 70% da população europeia vive nas cidades, e é nos centros urbanos que se encontra a maior parte da atividade económica e onde se gastam mais recursos. A Europa tem uma economia que assenta fortemente nos recursos não renováveis. Nesse sentido e no âmbito da sua estratégia de crescimento sustentado e inclusivo, tem vindo a desenvolver várias iniciativas para combate às alterações climáticas; recorde-se, por exemplo, a meta da UE para 2020 que estabelece a redução de 20% do consumo final de energia através da eficiência energética, incorporação de 20% de energias renováveis no consumo final de energia e redução das emissões de gases com efeito de estufa em 20%. De acordo com o relatório “*Energy Road Map 2050*”, o aumento da eficiência energética em edifícios novos e existentes é fundamental para a transformação do sistema energético Europeu. O desempenho energético

nos edifícios é um dos eixos prioritários da UE, disponibilizando para o efeito instrumentos financeiros no âmbito de fundos comunitários, obrigando os Estados-Membros a investir no setor como fator de desenvolvimento, em particular na reabilitação urbana, que é atualmente a preocupação da Europa em termos de eficiência energética. Atualmente a prioridade da União Europeia assenta em assegurar o abastecimento energético europeu, desenvolver o mercado interno da energia, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e a procura energética e por fim, promover a investigação e desenvolvimento, pois o sucesso destes objetivos, estão dependentes na aposta da investigação.

2.3 O panorama energético em Portugal

Tendo como referência o ano de 2005, durante o qual se verificou um consumo de energia primária de 27.087 ktep, constata-se que esse valor tem vindo a decrescer ao longo dos últimos anos, verificando-se, em 2013, uma redução de aproximadamente 20% face a 2005, representando um consumo de 21.704 ktep, como se pode observar na figura 8 (DGEG, 2015).

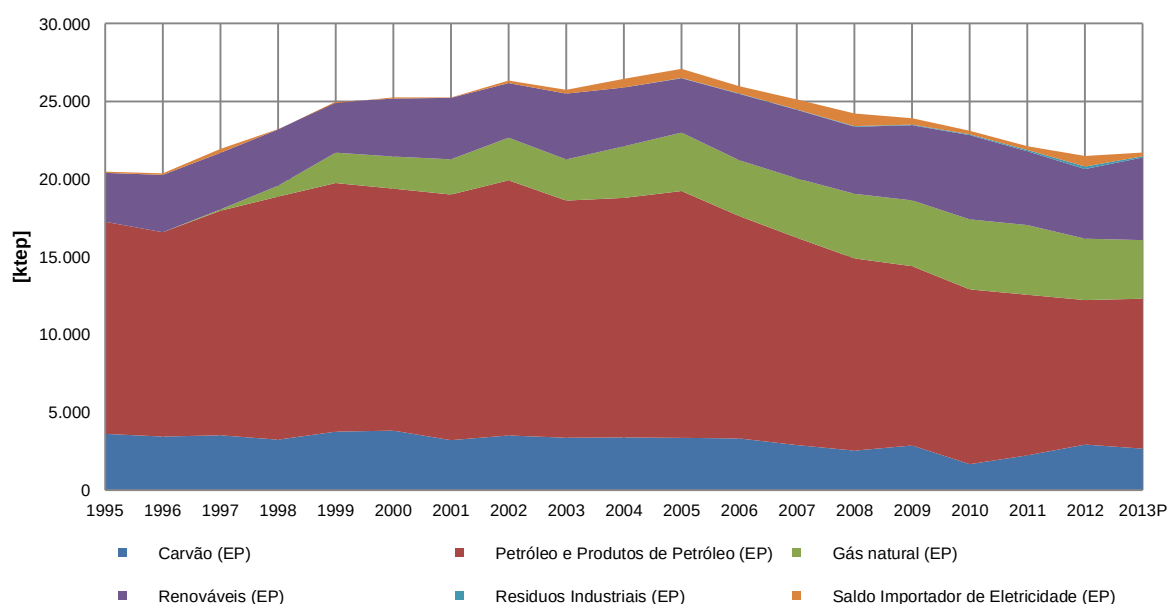


Figura 8 – Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte (dados da referência: DGEG, 2015)

O consumo energético em Portugal tem sofrido alterações, os vetores energéticos como o petróleo e o carvão têm diminuído o seu peso, em contraponto às fontes renováveis e ao gás natural. Em 2013, o petróleo e os seus derivados representam 44,4 % do consumo de energia primária e as renováveis 24,5%, o restante consumo reparte-se pelo gás natural (17,4%), pelo carvão (12,2%), o saldo importador de eletricidade (1,1%) (DGEG, 2015) e resíduos industriais com apenas 0,4% e portanto sem expressão no gráfico acima.

No que respeita ao consumo de energia final, tendo como base o ano de 2005, durante o qual se registou o maior consumo de energia final de Portugal com 19.579 ktep, constata-se mais uma vez, que esse valor tem vindo a decrescer ao longo dos últimos anos, verificando-se, em 2013, uma redução de aproximadamente 23% face a 2005, apresentando um consumo de 15.167 ktep.

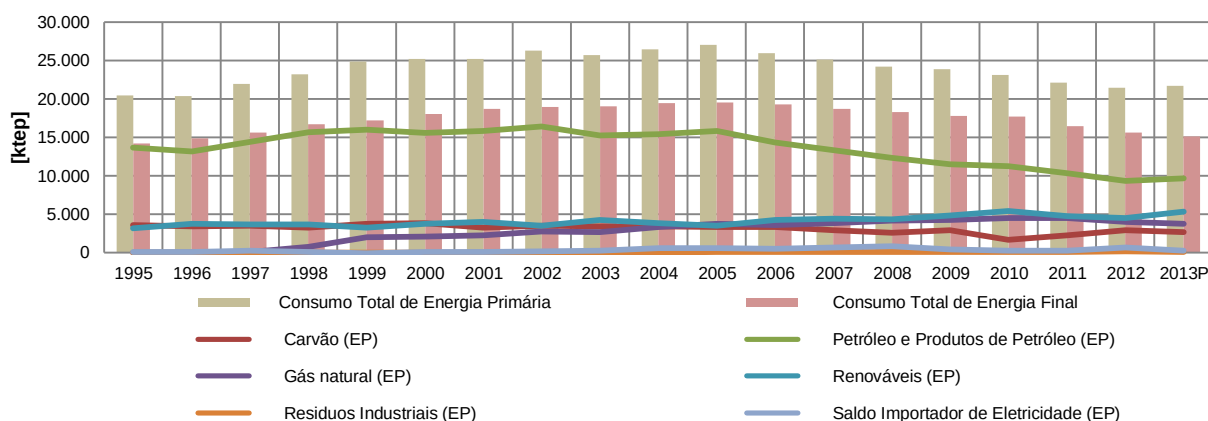


Figura 9 – Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015)

A estrutura de consumo final de energia encontra-se assente no petróleo e produtos petrolíferos que são dominantes no consumo português, com uma quota de 48% em 2013. No entanto, esta quota tem decrescido desde meados dos anos noventa. A eletricidade representa cerca de um 25,6%, seguido do gás natural que representa cerca de 10% o restante consumo reparte-se pelo calor (9%), pelas renováveis (6,7%) e outros (0,6%) (DGEG, 2015).

Por sua vez, do lado da procura a figura 10, demonstra a evolução do consumo de energia final, no período compreendido entre 1995 e 2013 (dados provisórios relativos a 2013), onde se observa a predominância dos transportes, que a partir de 1999 se destaca face ao setor da indústria. Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGGE, 2015), o peso dos transportes em 2013 representa 35,9%, a indústria 31,5%, o sector dos edifícios (serviços e residencial) representa 29,7% e agricultura e pescas apenas 2,9% do consumo energético nacional.

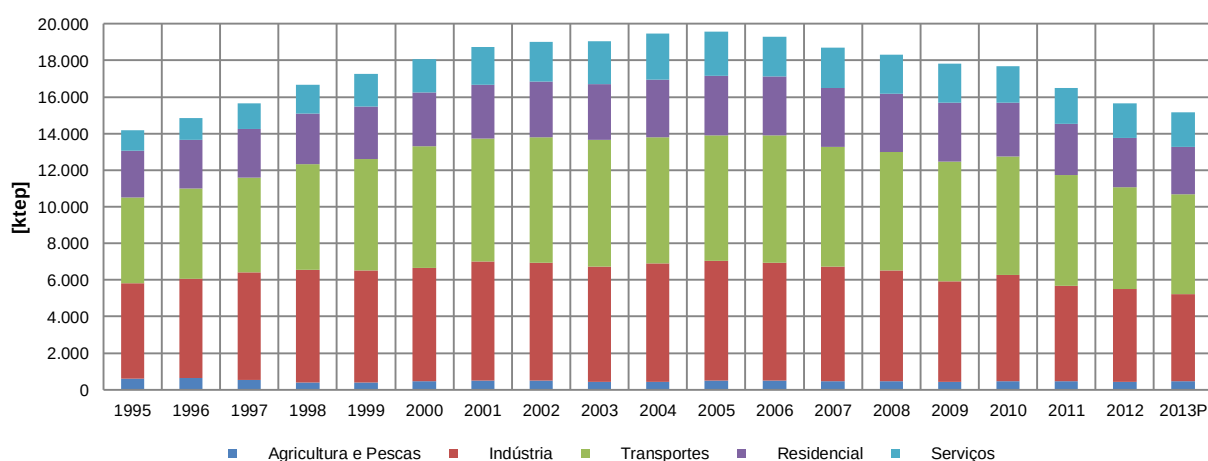


Figura 10 – Evolução do consumo de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015)

A desaceleração do consumo de energia não deixa de estar associada a adversa conjuntura económica nacional e internacional. Por outro lado, a redução do consumo de energia tem efeito direto no que diz respeito à dependência energética relativamente ao exterior, que continua elevada. Em 2013 a dependência energética portuguesa era de cerca de 73,9%, ao passo que em 2005 era de cerca de 88,8%, tal como demonstra a Figura 11 (DGEG, 2015).

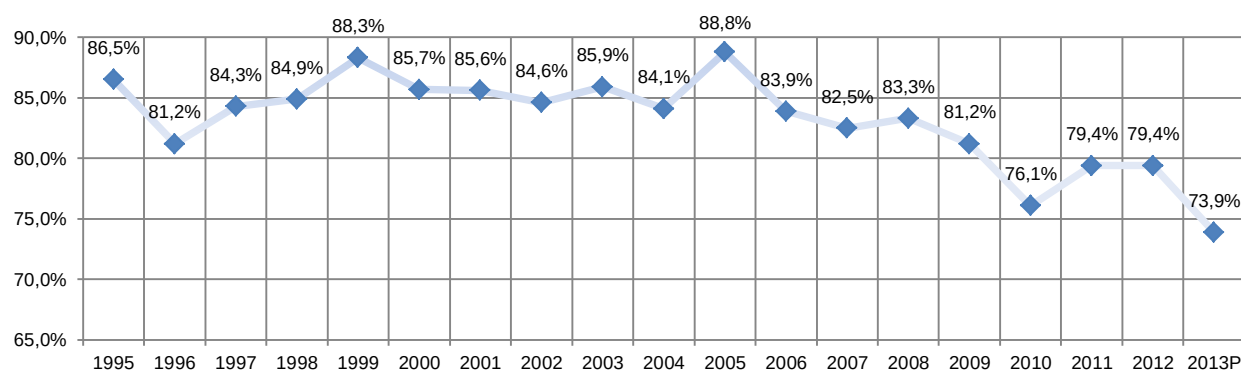


Figura 11 – Evolução da dependência energética em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015)

Esta elevada dependência, associada a questões ambientais e económicas, explicam a aprovação nos últimos anos, de um conjunto alargado de medidas de política pública no lado da gestão da procura energética. Estas medidas têm-se centrado essencialmente na aposta da utilização de fontes de energia renovável e em aumento de eficiência energética com os instrumentos financeiros disponibilizados no âmbito de fundos comunitários pela União Europeia (UE).

3 Energia e Edifícios

3.1 Caracterização do parque edificado na Europa

Estima-se que o parque edificado europeu tenha 25 bilhões de m² de espaço útil (área equivalente à área total da Bélgica - 30.528 km²), crescendo a um ritmo de 1% ao ano. A área edificada encontra-se distribuída por 75% de edifícios residenciais e 25% edifícios não residenciais. Uma percentagem considerável tem mais de 50 anos, e muitos edifícios atualmente em utilização têm centenas de anos de idade. Mais de 40% do setor residencial foi construído antes de 1960, onde a regulamentação relativa ao desempenho energético dos edifícios não existia ou era bastante limitada. Os edifícios são fortemente influenciados pelo clima onde são construídos. A figura 12 mostra que 50% dos edifícios da Europa encontram-se distribuídos pela região Norte e Oeste, sendo o restante peso distribuído pela região Sul (36%) e região Central e Leste (14%), respetivamente (BPIE, 2011).

Source: BPIE survey

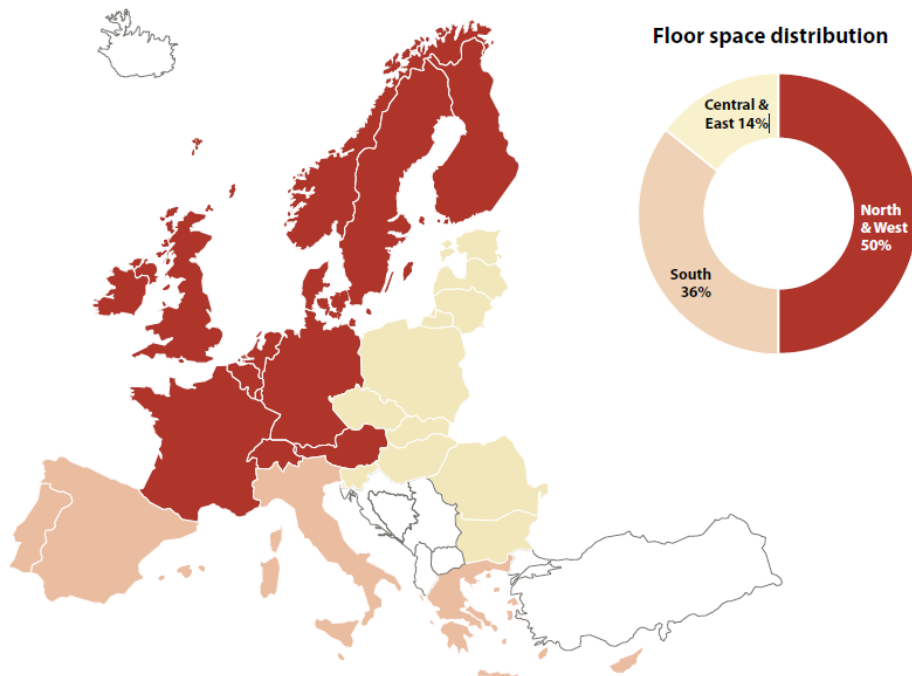


Figura 12 – Distribuição do espaço útil dos edifícios pelo território Europeu (BPIE, 2011)

Nesta conformidade, na figura 13 apresenta-se a distribuição dos edifícios residenciais em função da sua idade na Europa (BPIE, 2011).

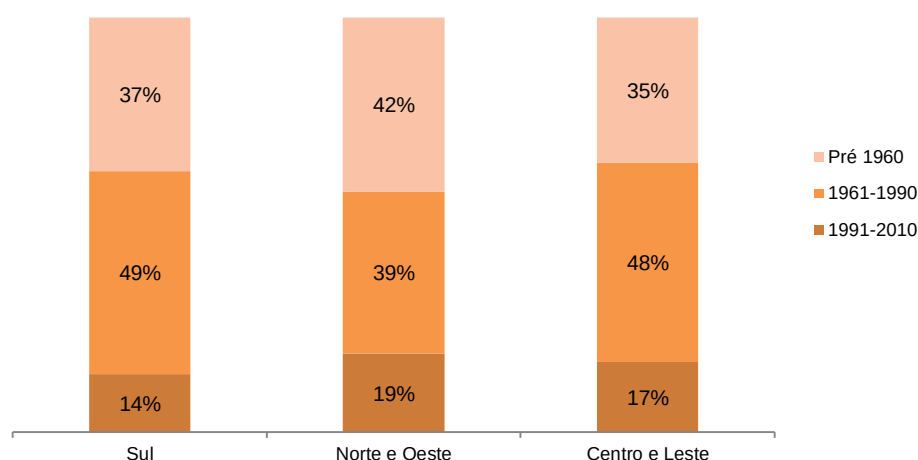


Figura 13 – Distribuição dos edifícios residenciais em função da idade, por região da Europa (BPIE, 2011)

Quando comparada com o setor residencial, a tipologia do setor não residencial é muito mais complexa (figura 14). Em média, os edifícios de vendas por grosso e a retalho representam uma fração significativa do parque edificado não residencial, seguidos pelos escritórios. As escolas, os hotéis, os restaurantes também apresentam um peso considerável. Contudo, a distribuição entre categorias de edifícios não residenciais varia significativamente de país para país (BPIE, 2011).

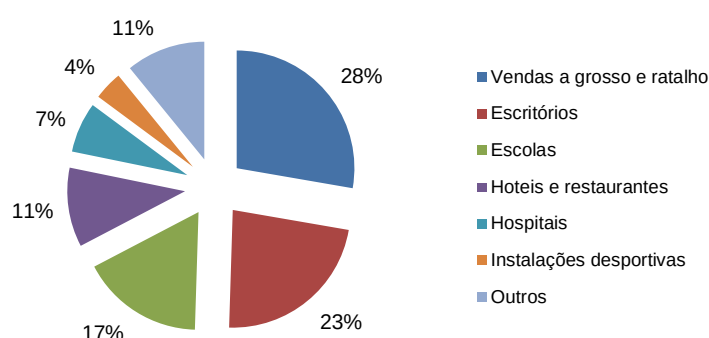


Figura 14 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia, na Europa (BPIE, 2011)

Por sua vez, na figura 15, verifica-se que o setor não residencial segue o mesmo princípio, ou seja a maioria dos edifícios foi construída antes de 1975.

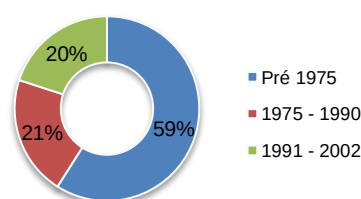


Figura 15 – Distribuição dos edifícios não residenciais em função da idade, na Europa (Tabula, 2014)

Pelo cenário apresentado e num contexto económico ainda difícil torna-se evidente a necessidade da Europa apostar claramente na reabilitação urbana. Nesse sentido, a Diretiva n.º 2012/27/UE, relativa à eficiência energética vem, através do artigo 4.º estabelecer a necessidade de “uma estratégia a longo prazo para mobilizar investimentos na renovação do parque nacional de edifícios residenciais e comerciais, tanto públicos como privados.” Essa estratégia integra um conjunto de medidas que devem ser executadas, nomeadamente:

- A caracterização do parque imobiliário nacional;
- A identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes para os diferentes tipos de edifícios;
- A identificação de políticas e medidas destinadas a incentivar renovações profundas de edifícios;
- A perspetiva futura do setor;
- A estimativa das economias de energia e de outros benefícios possíveis.

3.2 Caracterização do parque edificado em Portugal

Em Portugal, a área edificada corresponde a cerca de 452.000.000 m², dos quais 77% é a habitacional. Importa notar, que 70% do parque edificado residencial é anterior a 1990, ano da publicação do primeiro regulamento das características de comportamento térmico de edifícios, sendo portanto uma boa oportunidade para reabilitar muitos edifícios degradados, implementando medidas de melhoria de desempenho energético (DGEG, 2014).

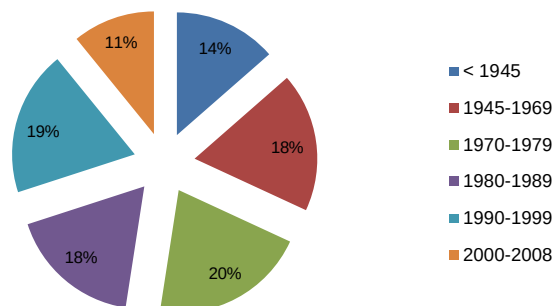


Figura 16 – Distribuição dos edifícios residenciais por tipologia e por período de construção em Portugal (Entranze, 2008a)

Os edifícios de comércio e serviços (23% da área edificada) encontram-se desagregados de acordo com a figura 17 (DGEG, 2014).

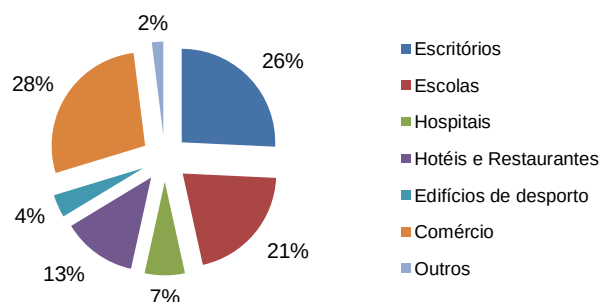


Figura 17 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia em Portugal (DGEG, 2014)

A dinâmica do parque edificado português caracterizou-se, principalmente por um ritmo construtivo que foi reflexo da forte expansão que o mercado imobiliário teve nas últimas décadas. No entanto, o setor da construção, marcado entre outros fatores, da presente conjuntura económica apresenta desde 2000 um decréscimo acentuado do n.º total de obras de edificação, tendo passado de um número de cerca de 60.073 edifícios para 25.931 edifícios concluídos em 2012 (DGEG, 2014).

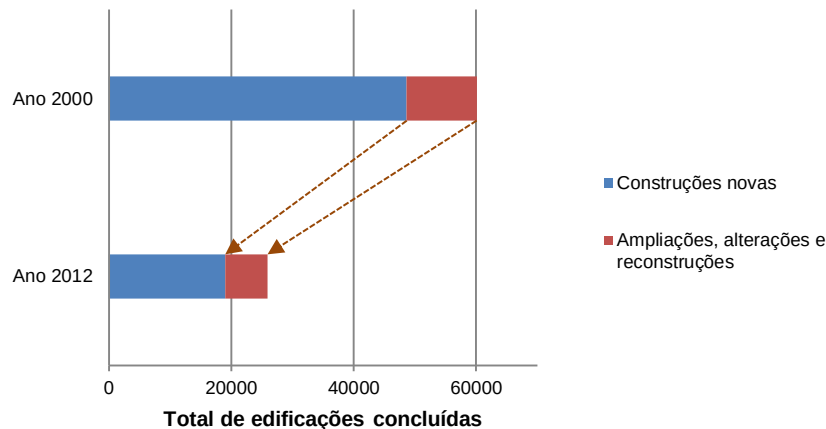


Figura 18 – Edifícios concluídos em 2000 e 2012 (dados da referência: DGEG, 2014)

Pela análise da figura 18, verifica-se que a retração do n.º total de edificações foi muito mais expressiva no caso de construções novas (valor de 2012 corresponde a 39% do valor de 2000), do que no caso das ampliações, alterações e reconstruções (valor de 2012 corresponde a 61% do valor de 2000). Por outro lado, apesar de apresentar um número inferior, o setor das ampliações, alterações e reconstruções, que inclui a renovação de edifícios, mostra uma maior oportunidade de intervenção que a nova construção, representando assim uma real possibilidade em termos de promoção da eficiência energética e da dinamização da atividade económica, uma vez que existe saturação do mercado de edifícios novos em particular no setor da habitação.

Ao abrigo da diretiva Europeia (2012/27/EU) e garantindo uma total coerência com o atual quadro legal sobre desempenho energético de edifícios, Portugal, pretende desenvolver uma estratégia de longo prazo que permita promover a renovação de edifícios, contribuindo para um aumento da eficiência energética do parque edificado alterando o paradigma das últimas décadas, centrado unicamente na construção nova e assim contribuir para um aumento da qualidade do parque edificado existente, cada vez mais necessitado de uma intervenção urgente que aumente os níveis de conforto e garanta ganhos em termos de eficiência energética.

3.3 Utilização de Energia nos edifícios Europeus

O setor dos edifícios, tal como anteriormente referido, é um dos maiores consumidores de energia na Europa, tendo em conta que é responsável por 38% do total de energia utilizada (figura 19). Uma análise mais detalhada mostra que essa utilização de energia é repartida entre 66% para os edifícios residenciais e 34% para o setor dos serviços. A elevada percentagem nos edifícios residências é explicada pela alta taxa da edificação antiga, com fraco desempenho energético (KWE Statistics, 2014).

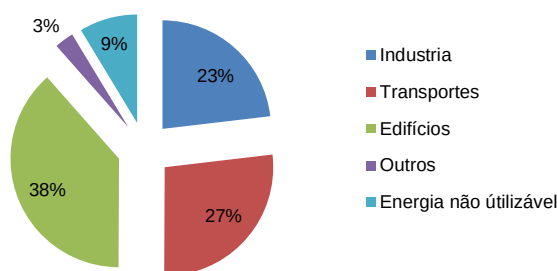


Figura 19 – Distribuição do consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Nos edifícios residenciais, a energia é tipicamente consumida pelo aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias (AQS), cozinha e outras aplicações. A utilização dominante é o aquecimento, com uma média de 70% da utilização de energia final. Em 2011, o *Building Performance Institute* (BPIE, 2011), publicou um estudo sobre o desempenho energético dos edifícios na Europa e entre vários parâmetros indicativos, pode-se visualizar o indicador (médio) de desempenho energético em aquecimento nas diferentes regiões da Europa (Norte/Oeste, Centro/Leste e Sul) para o setor residencial. A figura 20 compra o índice de consumo energético em aquecimento, para construções de habitações unifamiliares, entre 1957/1959 e no ano 2010. A redução drástica deste consumo deve-se sobretudo à forte aposta na regulamentação relativa ao desempenho energético dos estados Estados-Membros da UE. Contudo, apesar das melhorias dos níveis de isolamento térmico, nos sistemas técnicos de aquecimento e sistemas de recuperação de calor, etc., existe um potencial de redução energética que ainda não foi explorado.

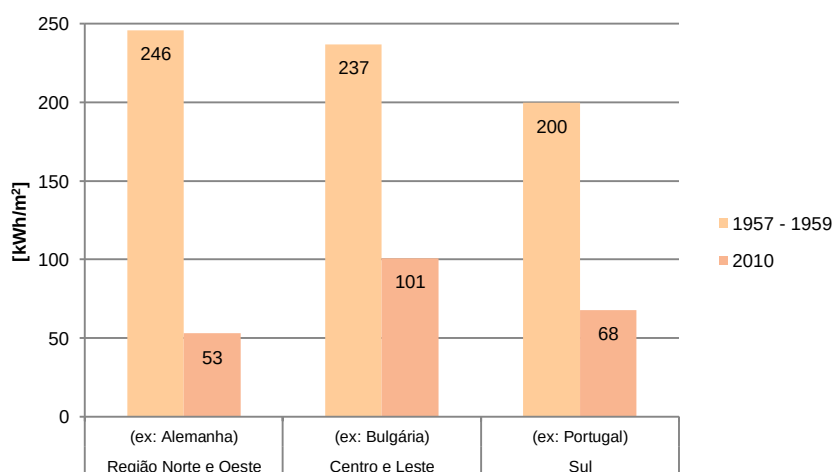


Figura 20 – Consumo específico de aquecimento em função da idade e por região da Europa (BPIE, 2011)

Na figura seguinte, apresenta-se o consumo de energia final para condições climáticas normalizadas, dos edifícios residenciais dos diferentes países europeus, sendo possível observar a baixa intensidade energética dos edifícios de Malta e Portugal, quando comparados com os seus congéneres europeus, nomeadamente, Luxemburgo, Estónia e Letónia que apresentam a maior intensidade energética da UE nos Edifícios residenciais.

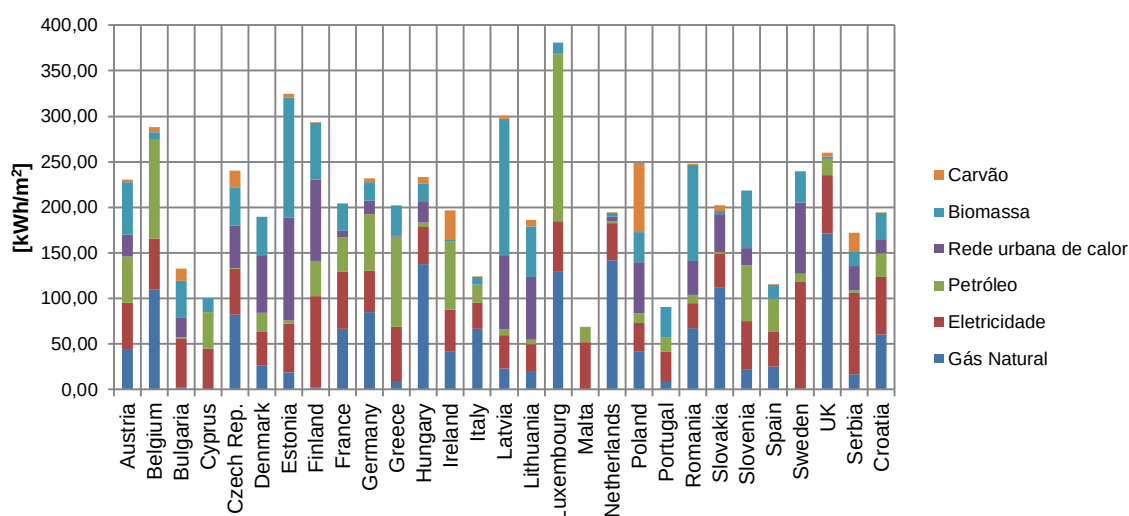


Figura 21 – Consumo específico de energia no setor residencial na Europa (Entranze, 2008b)

Perceber as variações da distribuição do setor não residencial é mais complexo quando comparado com o setor residencial, uma vez que as utilizações finais como a iluminação, ventilação, aquecimento, arrefecimento, refrigeração e equipamentos elétricos variam em função de uma tipologia para outra. A situação ainda é mais complexa com as variações de país para país e ainda de um tipo de edifício para outro. A figura 22 mostra a distribuição, em percentagem, do consumo energia final por tipologia de edifício na Europa, verificando-se a maior predominância para as tipologias Vendas a grosso e retalho, e de escritórios representando 54 % do consumo de energia final.

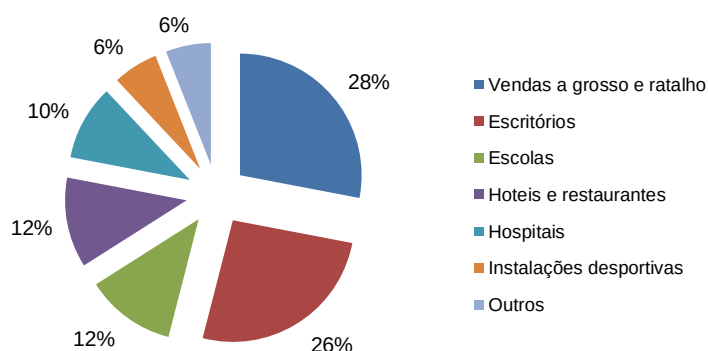


Figura 22 – Distribuição do consumo de energia final, por tipo de edifício na Europa (BPIE, 2011)

Na figura 23 apresenta-se o consumo de energia, para condições climáticas normalizadas dos edifícios não residenciais dos diferentes países europeus, sendo possível verificar a baixa intensidade energética dos edifícios portugueses quando comparados com os seus congéneres europeus, nomeadamente, Eslováquia, Itália e Bélgica que apresentam a maior intensidade energética da UE nos edifícios não residenciais.

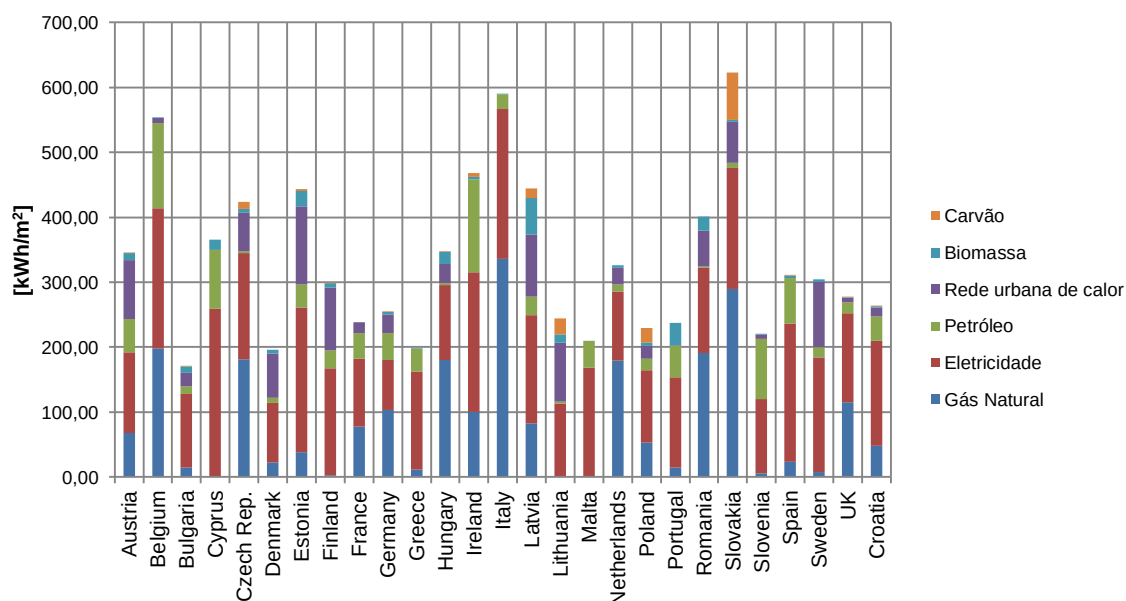


Figura 23 – Consumo específico de energia no setor não residencial na Europa (Entranze, 2008c)

Nos edifícios não residenciais, a utilização dominante é também o aquecimento ambiente e água quente. A figura 24 mostra os indicadores de desempenho energético, referentes ao ano de 2008, em três países que representam as diferentes regiões da Europa, onde se observa a predominância desta utilização face ao arrefecimento.

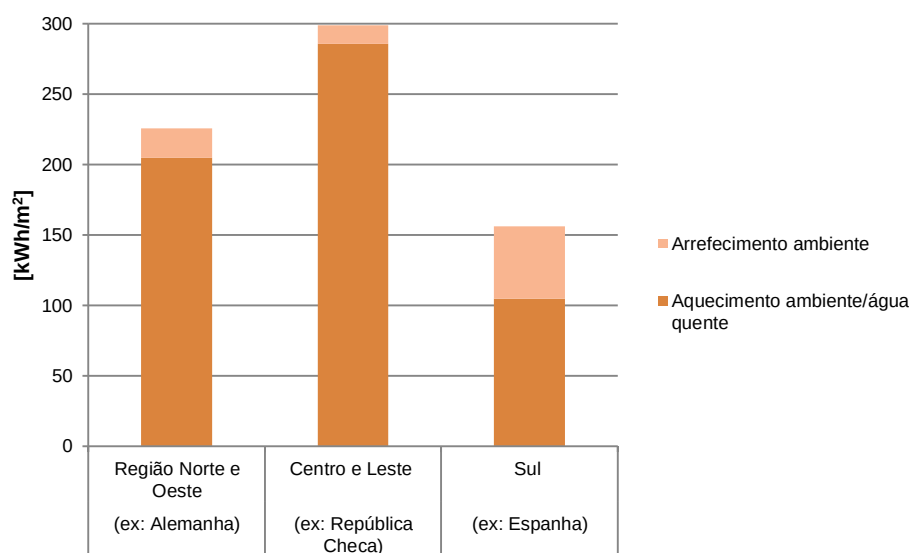


Figura 24 – Consumo específico de energia por região da Europa (Entranze, 2008d)

Ainda referente aos indicadores de desempenho energéticos, no período compreendido entre 2003 a 2010, segundo informação extraída da base de dados *Building Performance Institute*, a Letónia (pertencente à região centro e Leste) apresenta nas tipologias que consomem mais energia final da Europa, a iluminação como o segundo maior consumidor energético (figura 25). Obviamente que os indicadores de desempenho, são totalmente dependentes das condições climáticas e a diversidade de utilização de energia deve-se a idade, construção, sistemas técnicos existentes, tempo de funcionamento e utilização dos edifícios.

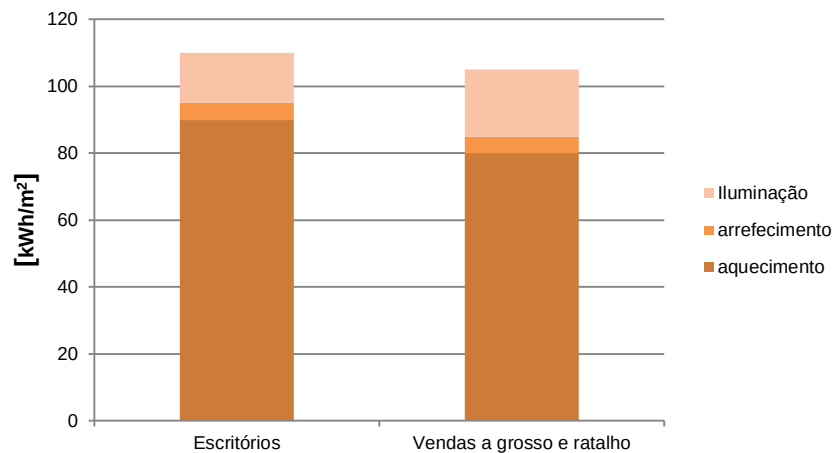


Figura 25 – Consumo específico de energia na Letónia, por tipologia, período entre 2003 – 2010 (Entranze, 2008d)

3.4 Utilização de Energia nos edifícios Portugueses

No que diz respeito ao consumo de energia associado aos edifícios portugueses e de acordo a Direção Geral de Energia e Geologia, os edifícios absorveram 29,7 % do consumo total de energia final do país e 60,6% dos consumos de eletricidade, em 2013. O sector residencial foi responsável por 17,3% desses consumos, sendo o restante referente ao setor dos serviços (12,4%), tal como de demostra a figura 26. Numa análise mais detalhada observa-se que a utilização de energia nos edifícios é repartida entre 58% para os edifícios residenciais e 42% para o setor dos serviços (DGEG, 2015).

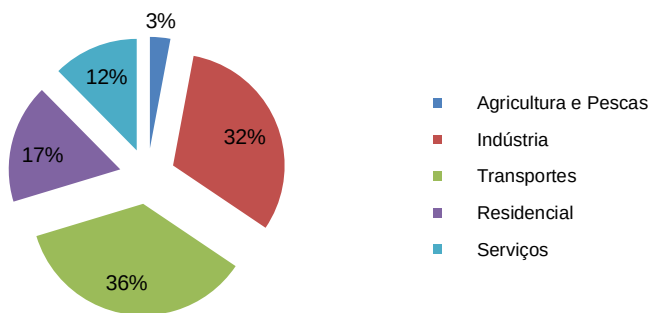


Figura 26 – Distribuição do consumo total de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015)

No que respeita ao consumo de eletricidade o domínio centra-se nos edifícios de serviços, com um peso relativo de 34%, sendo o restante absorvido pelo setor residencial (26,6%). A figura 27 representa a evolução do consumo de eletricidade, por setor, no período compreendido entre 1995 a 2013, onde o domínio dos edifícios (residencial e serviços) é claro, seguindo-se a indústria (DGEG, 2015). De ressaltar, em coerência com o referido, o elevado peso da eletricidade no consumo final dos edifícios, que ao longo deste período é continuamente crescente e sempre superior a 50%.

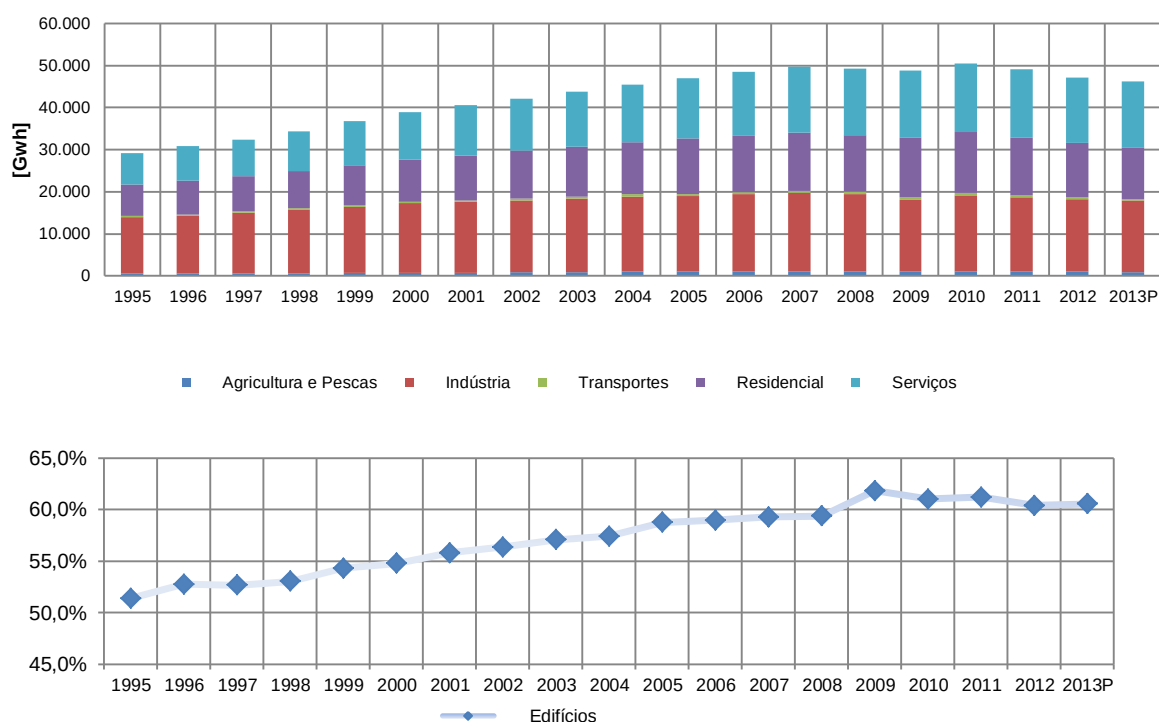


Figura 27 – Evolução do consumo de eletricidade e o seu peso no consumo final (dados da referência: DGEG, 2015)

Nesta conformidade e baixando ao detalhe das utilizações da energia, no sector residencial, 50% do consumo energético deve-se às cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS), 25% do consumo é destinado ao aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% à iluminação e equipamentos (Almeida, 2010).

Segundo o relatório da Matriz Energética do Porto, de 2008, 78% do consumo de energia final no setor residencial são justificados por três utilizações: o aquecimento de água quente sanitária, aquecimento ambiente e a preparação de refeições, tal como, se pode verificar pela figura 28.

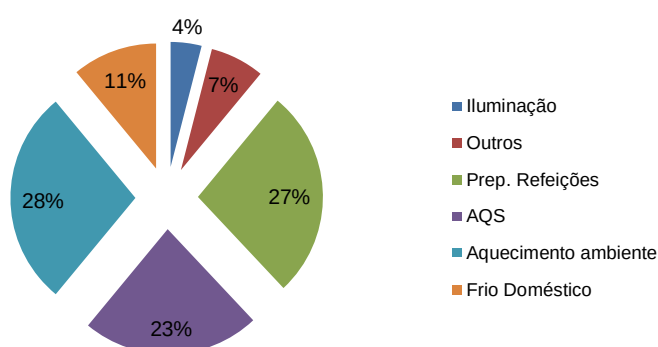


Figura 28 – Desagregação das utilizações de energia no setor residencial (Matriz Porto, 2008)

Ainda no universo da habitação e numa análise realizada ao impacto da grande reabilitação com base nos requisitos exigidos na nova legislação relativa ao desempenho energético nos edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013), é possível constar os ganhos de eficiência conseguidos, independentemente da época de construção dos edifícios (figura 29). Outro aspeto igualmente visível é, em média, a preponderância das necessidades de energia para aquecimento face às

necessidades de arrefecimento. Estes dados visualizados na figura 29, demonstram que, sem prejuízo de determinados casos específicos cujas necessidades de arrefecimento são relevantes, a generalidades dos edifícios de habitação são condicionados pela necessidade de serem aquecidos para manter condições de conforto (ADENE, 2015).

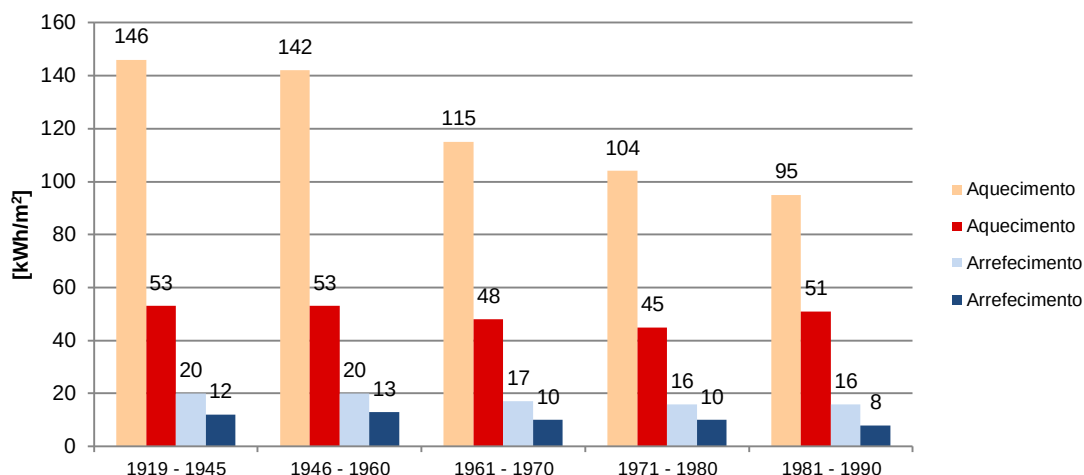


Figura 29 – Impacto da grande reabilitação nas necessidades de energia na habitação por período de construção (ADENE, 2015)

Relativamente aos edifícios de serviços, a desagregação dos consumos varia bastante com a sua tipologia. No entanto, pode-se afirmar que de um modo geral e exceto casos muito específicos, a desagregação dos consumos energéticos nos edifícios oscila entre os seguintes valores:

Tipologia	AVAC ⁴	Iluminação	Outros
Hotéis	25 - 40%	25 - 40%	25 - 50%
Escritórios /Bancos /Seguradoras	10 - 35%	30 - 50%	20 - 55%
Hospitais	20 - 35%	20 - 35%	45 - 50%
Ensino / Bibliotecas	20 - 35%	30 - 45%	15 - 30%
Centros comerciais / hipermercados / supermercados	15 - 30%	30 - 45%	40 - 55%
	50 - 60%	10 - 15%	30 - 40%

Tabela 1 – Desagregação dos consumos de energia por tipologia (Fernandes, 2013)

Continuando no foco deste setor e numa análise realizada a distribuição dos consumos em duas tipologias distintas e em zonas diferentes do país, fruto de auditorias realizadas no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), observa-se que os consumos dedicados aos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias (AQS) oscilam entre 36% a 50% (incluindo ventilação e bombagem dedicada ao AVAC), seguidos dos equipamentos elétricos e iluminação. Na figura 30, apresenta-se a distribuição dos consumos em percentagem destes dois casos reais, nomeadamente, um edifício de escritório e um hotel e em duas zonas diferentes do país, sendo possível constatar o domínio dos equipamentos, aquecimento ambiente e iluminação, respetivamente.

⁴ Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

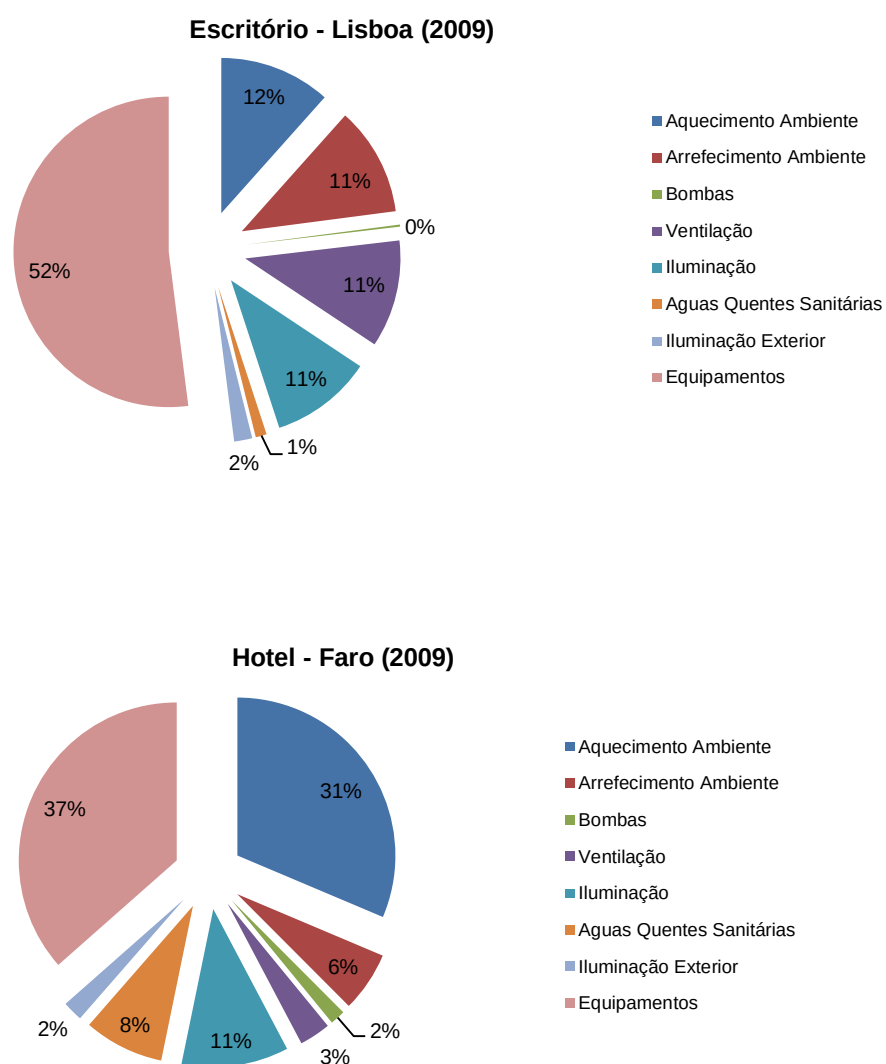


Figura 30 – Desagregação das utilizações de energia no setor não residencial (Dados do autor, 2009)

4 Edifícios de Balanço energético quase zero

4.1 Considerações gerais

Os edifícios de balanço energético próximo de zero têm recebido uma atenção crescente desde a reformulação da Diretiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, Diretiva 2010/31/EU (EPBD recast, 2010). A EPBD, vai obrigar todos os edifícios novos construídos a partir 2020 a serem caracterizados por níveis mais elevados de desempenho energético, procurando explorar de forma mais significativa as fontes de origem renovável disponíveis localmente numa base economicamente equilibrada e sem prejuízo para o conforto dos ocupantes. Para este efeito, a partir de 2020 todos os novos edifícios (2018, para os edifícios públicos) deverão ser caracterizados por um balanço energético “quase nulo” (artigo 9.º da EPBD). Um edifício de balanço energético quase nulo ou *nearly zero energy building* (nZEB), refere-se a um edifício com elevado desempenho energético em que as necessidades energéticas muito baixas, devido à adoção de medidas de eficiência, serão supridas através da incorporação de sistemas de energias renováveis, que conseguem satisfazer ou compensar na totalidade ou quase totalidade. Embora a EPBD estabeleça uma definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia (artigo 2.º da EPBD), a responsabilidade última pela aplicação prática dessa definição (por exemplo, pela determinação do que constitui “um desempenho energético muito elevado”) incumbe aos Estados-Membros. Ora, esta abertura permite diferentes interpretações e abordagens de metodologia, sendo aliás a principal razão da existência de diferentes definições nZEB de país para país.

De acordo com referências bibliográficas recentes, praticamente a maioria dos Estados-Membros da UE já definiram as suas metas nacionais com base nas exigências da EPBD, enquanto estratégias semelhantes são consideradas pelo Japão e EUA (Yokko, 2009). Em França, por exemplo, a partir de 2020 todos os novos edifícios deverão ser caracterizados por um balanço energético positivo. Por sua vez, o Reino Unido aponta na direção duma estratégia baseada num balanço em termos de emissões de CO₂ nulo, já a partir de 2016 para os edifícios de habitação e 2019 para o setor público. A Finlândia irá caracterizar os edifícios públicos a partir de 2015 com os requisitos Passive House (Ecofys, 2014). Com cada vez mais países a apontarem na direção deste novo padrão, em todo mundo são conhecidos aproximadamente 300 edifícios que exemplificam um desempenho energético zero ou próximo do zero (Musall et al., 2010).

Voltando ao foco da execução prática do conceito nZEB no universo da Europa, atualmente existem 13 Estados-Membros que apresentam o requisito mínimo caracterizado em termos de consumo global anual específico de energia primária, no seu plano de ação nacional para a implementação dos nZEB, e 8 Estados-Membros apresentam quer valores limites do indicador de energia primária quer a percentagem de cota mínima de fontes de energia renováveis (Ecofys, 2014). Os valores limite para o consumo global específico de energia primária entre os vários Estados-Membros, variam entre 60 a 270 kWh_{EP}/(m².ano) para o

setor não residencial e entre 32 a 95 kWh_{EP}/(m².ano) na habitação, sendo que a maioria dos Estados-Membros centra o seu objetivo nacional do setor habitacional entre 45 a 50 kWh_{EP}/(m².ano). Estes limites, na maior parte dos países, têm em conta os usos de energia relativos ao aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de água quente sanitária e iluminação (Ecofys, 2014; Kurnitski et al., 2014).

Em Portugal, o Decreto-lei 118/2003, relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética, deu o primeiro passo na abordagem nZEB, associando a definição de edifício com necessidades quase nulas de energia, ao conceito do custo-ótimo de rentabilidade. Ou seja, o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico. Contudo, falta clarificar a percentagem de incorporação renovável na definição nacional.

Na figura 31, podemos observar a abordagem nZEB atualmente existente nas diferentes zonas climáticas da Europa, zona 1 (Europa mediterrânica), zona 2 (Europa Oriental), zona 3 (Europa Ocidental) e zona 4 (Norte da Europa) (Kurnitski et al., 2014).

Region	Country	nZEB Energy performance					RES	
		Values	Unit	Metric	Energy uses for:	Building type	EP calculation	nZEB req.
Zone 1-2 (Catania, Athens)	Cyprus	180	kWh/m²/y	Primary energy	heating, cooling, hot water, lighting	Residential	No	25%
		210				Non-residential	No	25%
Zone 3 (Budapest, Bratislava, Ljubljana)	Slovakia	54	kWh/m²/y	Primary energy	Heating, hot water, ventilation, cooling (non-res), lighting (non-res)	Detached	N.a.	50%
		32				Apartment	N.a.	50%
		60				Offices	N.a.	50%
Zone 4 (Paris, Amsterdam, Berlin, Brussels, Copenhagen, Dublin, London, Macon, Nancy, Prague, Warsaw)	Belgium BXL	45	kWh/m²/y	Primary energy	heating, cooling (non-res), hot water, lighting (non-res) appliances	Residential	Yes	-
		95 - 2,5*(V/S)				Offices, educational	Yes	-
	Belgium Walloon	60	kWh/m²/y	Primary energy	heating, hot water, appliances	Residential and non-res.	N.a.	50%
	Belgium Flemish	30	kWh/m²/y	Energy use	Heating, cooling, hot water, ventilation, auxiliary systems	Residential	Yes	>10 kWh/m²y
		40				Office and school	Yes	>10 kWh/m²y
	France	50	kWh/m²/y	Primary energy	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting, auxiliary systems	Residential	No	-
		70				Office	No	-
		110				Office AC	No	-
Ireland	45	kWh/m²/y	Energy load	heating, ventilation, hot water, lighting	Residential	N.a.	-	
Netherlands	0	[-]	Energy perform. coefficient (EPC)	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting	Residential/ non-residential	Yes	-	
						Yes	-	
Region	Country	nZEB Energy performance					RES	
		Values	Unit	Metric	Energy uses for:	Building type	EP calculation	nZEB req.
Zone 5 (Copenhagen, Tallinn, Helsinki, Riga, Stockholm, Gdansk, Tovarene)	Denmark	20	kWh/m²/y	Energy need	heating, cooling, ventilation, hot water, lighting (non-res)	Residential	Yes	51-56%
		25				Non-residential	Yes	51-56%
	Estonia	50	kWh/m²/y	Primary energy	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting, auxiliary electricity, appliances	Detached house	Yes	-
		100				Apartment	Yes	-
		100				Office	Yes	-
		130				Hotel	Yes	-
	Latvia	95	kWh/m²/y	Primary energy	heating, cooling, domestic hot water, ventilation, lighting	Residential/ non-residential	N.a.	-
	Lithuania	<0,25	[-]	Energy performance indicator C	heating	Residential/ not-residential	N.a.	50%

Figura 31 – Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (Kurnitski et al., 2014)

4.2 Estado do Conhecimento

A primeira evidência no desenvolvimento de edifícios de balanço energético nulo, tem origem em 1939 e abrange a “MIT Solar House I”, que integrou um coletor solar de grandes dimensões em conjunto com armazenamento de água (Butti et al., 1980). Outros exemplos mais recentes e sobretudo devido às consequências da crise do petróleo, incluem a “*Vagn Korsgaard Zero Energy House*” na Dinamarca (Esbensen e Korsgaard, 1977) e “*Saskatchewan Conservation House*” (Bessant et al., 1979), ambos com coletores solares e depósitos de água para armazenamento, concebidos para aquecimento ambiente e água quente sanitária. Embora com contornos diferentes, mas igualmente importantes na evolução do conceito, o projeto “*Philips Experimental House Project*” de 1984, com elevados níveis de isolamento, janelas com vidro duplo de baixa emissividade, sistema de ventilação com recuperação de calor e com pré-aquecimento/pré-arrefecimento do ar através de permuta térmica com o solo (Steinmüller, 2008). Estas tentativas iniciais, que na realidade apontavam como estratégia para um balanço nulo do ponto de vista térmico e não energético, criaram as bases para a arquitetura bioclimática. Embora não exista nenhuma abordagem exata para a conceção e realização de edifícios de balanço energético nulo, existe um consenso que esta meta pode ser alcançada na sequência da implementação de um design passivo (Aelenei et al., 2012; Aelenei et al., 2011). Estão então na sua génese estratégias bioclimáticas, que pela sua própria definição promovem as condições do clima local a interagirem (através de estratégias) positivamente com o edifício, ajudando a criar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço. Sendo o Sol e a sua radiação fundamental nesta relação, e ainda através de sistemas passivos, ou seja, utilizando dispositivos construtivos integrados nos edifícios, cujo objetivo é o de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural, que a maior parte dos edifícios de balanço energético nulo são hoje concebidos (Gonçalves & Graça, 2004).

O tema nZEB tem vindo a ser abordado, quer a nível nacional quer a nível internacional, em seminários, conferências, grupos de discussão e fóruns, visando a partilha de conhecimentos e experiências, e manifestando a necessidade de convergência de conceitos e metodologias comuns. O grupo de trabalho Task SHC 40 – ECBS Annex 52 “*Towards Net Zero Energy Solar Buildings*” da Agência Intencional de Energia (AIE), elaborou um relatório em 2014 sobre 30 edifícios de elevado desempenho energético compatíveis com nZEB, residenciais e não residenciais e em climas distintos, onde se descrevem as soluções técnicas preconizadas, custos específicos de construção, metas de desempenho energético definidas, e monitorizações de desempenho real, para aferir desvios relativamente à conceção inicial e corrigir os consumos de energia com a experiências adquiridas com o funcionamento dos edifícios (ECB Annex 52, 2014). O resultado pretendido pelo grupo de trabalho é o de apoiar a transformação do conceito nZEB de uma ideia para uma realidade prática no mercado.

No caso particular dos edifícios não residenciais (tipicamente grandes consumidores de energia) estes incluem uma grande variedade de edifícios, com necessidades energéticas muito distintas, nomeadamente: edifícios de escritórios, edifícios de comércio, escolas, hotéis, hospitais, etc. Na maioria destes, a eficiência energética depende fundamentalmente dos ganhos internos de energia, mais do que das condições climáticas. Avaliar corretamente a eficiência energética de sistemas de edifícios e equipamentos, assim como definir prioridades de uso dos mesmos durante a utilização para atingir níveis de eficiência enquadrados nos padrões nZEB, é uma tarefa extremamente complexa. Na figura 32 apresentam-se exemplos de casos de estudo de edifícios de balanço energético nulo corretamente dimensionados, que estão disponíveis na base de dados da AIE, SHC Task 40 ECBCS Annex 52.

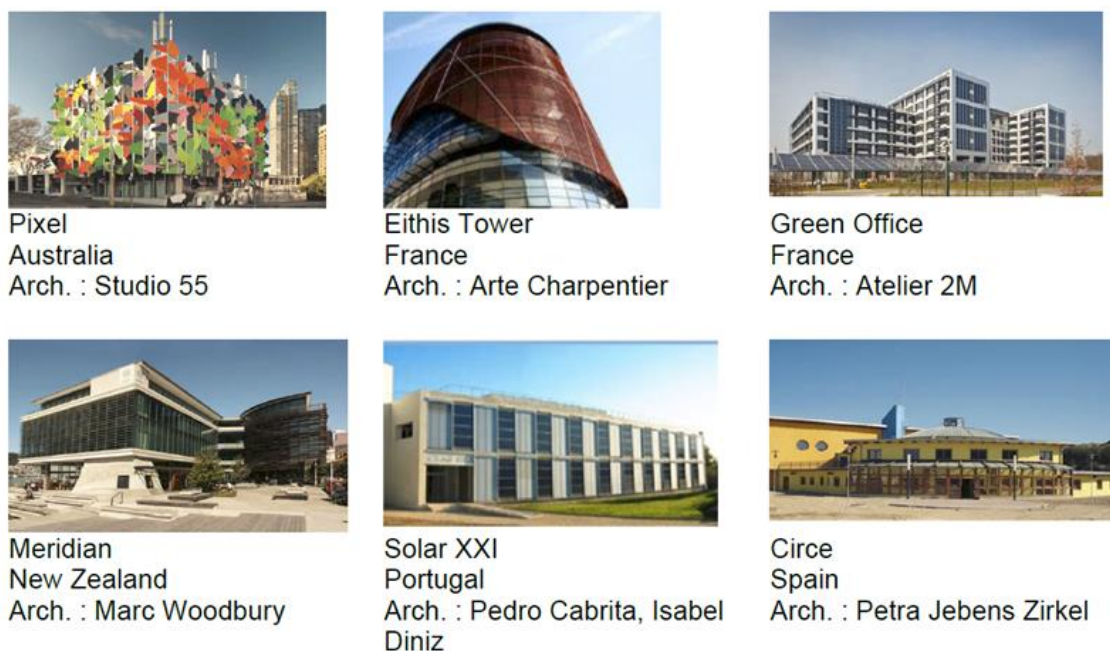


Figura 32 – Exemplos de edifícios de escritórios nZEB (ECB Annex 52, 2014)

Ainda na perspetiva dos edifícios não residenciais, é importante referir o exemplo de Portugal com “Edifício Solar XXI”, edifício construído em 2002 em Lisboa. O edifício apresenta na sua conceção os princípios de aproveitamento do Sol, e da conceção passiva como estratégia fundamental de todo o projeto, sendo construído de forma a potenciar o uso de energias renováveis com a integração de estratégias passivas. De referir: utilização de um sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados; fachada fotovoltaica a Sul, para aproveitamento elétrico a que está associado um outro sistema fotovoltaico no parque de estacionamento do edifício; recuperação de calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento ambiente; otimização térmica da envolvente; aumento da área de captação de ganhos solares na fachada Sul; dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a Sul; iluminação natural (Gonçalves et al., 2011).

O edifício “Solar XXI” é um dos principais projetos pioneiros no uso de energias renováveis na região do Sul da Europa e está atualmente sob atualização para alcançar um desempenho energético nulo (Gonçalves et al., 2011; Aelenei et al., 2010).

4.3 Implementação do conceito e as bases fundamentais para atingir nZEB

A definição de edifício de consumo de energia quase nulo pode ser considerada ambígua, uma vez que os caminhos definidos pelos países estão dependentes das suas próprias conjunturas, em função de equilíbrios entre custos energéticos e económicos (Gauna, 2011).

Por outro lado, a designação nZEB poderá ser equívoca uma vez que um nZEB terá sempre necessidades energéticas, que devem ser respondidas através do recurso de energia proveniente de fontes renováveis, não existindo edifícios com consumo zero de energia. Ou seja, a um nZEB é exigido que produza energia suficiente para em termos (anuais) suprir maioritariamente os seus consumos.

A definição das metas e dos valores limite para um nZEB é o ponto que tem originado uma maior discussão na Europa, uma vez que cada Estado-Membro define, em função do seu

plano de ação, o que corresponde um edifício quase zero. Neste sentido, a implementação do conceito nZEB encontra-se facilitada pela existência de referências já consolidadas e testadas.

A norma *Passive House* desenvolvida pelo professor alemão Wolfgang Feist, no *Passivhaus Institut*, desde os finais dos anos 80, é apontada como uma das soluções de referência, em particular no caso habitacional. Trata-se de uma norma com experiência assimilada e que tem ganho adeptos por toda a Europa, com mais de 55.000 edifícios passivos pelo mundo, havendo já registos de construções no Japão e na Coréia do Sul. Este é um conceito que pretende ser adotável a todos os climas do mundo, sendo no entanto, uma abordagem onde o termo “passivo” se aplica à forma como funciona o sistema de aquecimento, uma vez que é originário de países com climas mais frios do Centro e Norte da Europa, onde os consumos associados ao aquecimento dos edifícios são os mais relevantes. Face a este cenário, a *Passive On*, elaborou assim uma revisão da uma proposta para a aplicação do conceito *Passive House* nos climas quentes da Europa (Passive-On, 2007).

Em termos globais, um edifício *Passive House* é um edifício com um clima interior confortável mantido sem sistemas ativos de aquecimento ou arrefecimento. Os principais requisitos do conceito são (Passive-On, 2007):

- Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento inferiores a 15 kWh/(m². ano);
- Estanquicidade ao ar, verificada por um teste de pressurização de acordo com a norma EN 13829 não superior a 0.6 Rph (a 50 Pa de pressurização).
- Consumos de energia primária para aquecimento, arrefecimento, AQS e gastos elétricos inferiores a 120 kWh/(m².ano);
- Temperatura interior do edifício mínima de 20 °C no Inverno e máxima de 26°C no Verão;
- Temperatura excessiva, acima dos 26°C, não pode ocorrer em mais do que 10% do tempo.

Importa referir, que as diferenças dos conceitos da norma para os países do Centro/Norte e países do Sul da Europa, centram-se na introdução do valor limite para as necessidades de arrefecimento de 15 kWh/(m².ano) e na introdução de um critério de conforto de temperatura no Verão (a temperatura operativa dos espaços permanece entre a banda de conforto definida na norma EN 15251, ou abaixo dos 26 °C, se existir um sistema principal de arrefecimento ativo) (Passive-On, 2007).

Para garantir os padrões *Passive House* é necessário (Weizsäcker et al., 2009):

- Definir soluções através de estratégias solares passivas: sempre que possível os edifícios devem ter uma forma compacta para reduzir a sua área de exposição ao exterior, e possuir cerca de 75% dos envidraçados orientados a Sul;
- Garantir adequados níveis de isolamento térmico nos elementos construtivos da envolvente do edifício: correta espessura e aplicação de matérias isolantes e procurar eliminar as pontes térmicas do edifício;
- Aplicação de janelas de elevado desempenho: deve ser tida em consideração a qualidade da caixilharia, o tipo de vidros e espaçadores e o posicionamento e isolamento da caixilharia no vão;
- Garantir a estanquicidade do edifício: deve definir-se uma barreira contínua à passagem do ar e uma selagem de todas as penetrações da envolvente. Deste modo

consegue-se uma redução das infiltrações do ar (quente ou frio), que atravessaria a envolvente, permitindo uma maior eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor;

- Sistema de ventilação com recuperação do calor: o sistema deve ter uma eficiência superior a 75% para garantir a qualidade do ar interior (QAI) e o conforto dos utilizadores. Como o edifício terá de possuir uma boa estanquicidade, a taxa de renovação de ar pode ser otimizada e controlada para 0,4 Rph, garantindo uma boa qualidade do ar interior. O aquecimento adicional pelo ar pode ser conseguido com recurso a bomba de calor ou por energia solar térmica;
- Sistemas eficientes para gerar calor/frio: em adição ao recuperador de calor, é usual a utilização de uma pequena bomba de calor que extrai calor do ar extraído e aquece o ar insuflado e as águas quentes sanitárias (AQS). Para além dos ganhos solares, um edifício *Passive House* potencia os ganhos internos, nomeadamente o calor gerado pela iluminação e outros equipamentos assim como o calor gerado pela ocupação, não sendo necessários sistemas adicionais de aquecimento central.

Em linha com o referido anteriormente, o primeiro passo fundamental para atingir a meta do balanço energético nulo é diminuir as necessidades energéticas através da implementação de medidas de eficiência energética, o que por sua vez começa pela integração do design solar passivo e continua com a utilização de sistemas energeticamente eficientes conduzindo a menor consumos de energia, através da otimização na afetação dos recursos disponíveis, mantendo a quantidade do valor energético. Numa terminologia mais abrangente, consiste na redução da procura de energia, sem comprometer as condições de conforto térmico e a qualidade do ar interior. O segundo passo fundamental é a produção de energia através de sistemas de captação das energias renováveis. Ou seja, as necessidades de energia restantes devem ser satisfeitas preferencialmente por fontes renováveis. Considerando estes dois passos pode dizer-se que o sucesso para alcançar um balanço energético nulo depende principalmente das necessidades energéticas do edifício, de um dimensionamento inteligente baseado principalmente em técnicas e estratégias passivas, e das condições climáticas do local. De modo geral, o caminho para desempenho energético nos edifícios pode ser compreendido utilizando dois eixos de atuação – eficiência energética/produção de energia, tal como representado na figura 33, sendo aliás, a base do conceito apresentado na EPBD reformulada e reforçada por Atanasiu et al. (2011).

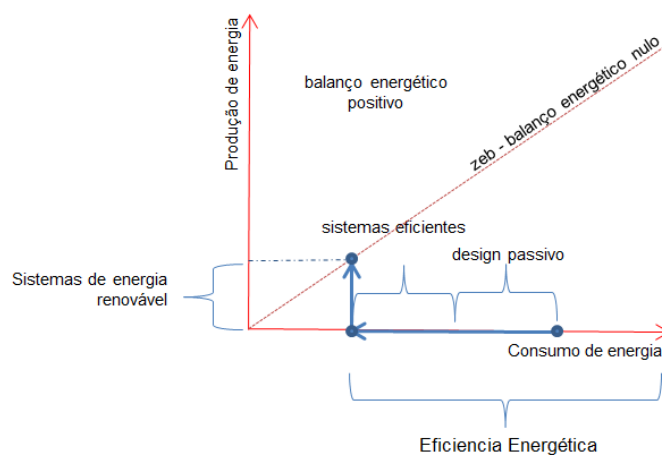


Figura 33 – Representação esquemática do caminho para atingir um balanço energético nulo

4.4 Definições e Balanço energético

De acordo com diferentes fontes (Torcellini et al., 2006, Sartori et al., 2012), existem várias abordagens. Por um lado, Torcellini et al. (2006) sugere quatro abordagens para a definição dos edifícios de balanço energético nulo e expressa-os em indicadores numéricos, energia final, energia primária, custos energéticos e emissões equivalentes de CO₂. Nomeadamente: *zero site energy*, *zero source energy*, *zero energy costs* e *zero energy emissions*, a saber:

- *Zero Site Energy* – o balanço energético anual baseia-se no balanço calculado ao nível do limite do local de construção, isto é, a energia total fornecida ao edifício a partir da rede energética tem de ser compensada pela produção de energia do edifício.
- *Zero Source Energy* – o balanço energético anual é contabilizado na fonte, em termos de energia primária. A energia consumida e produzida é multiplicada por fatores de conversão de energia primária.
- *Zero Energy Costs* – o balanço é contabilizado em termos de custos energéticos. Os custos associados à energia importada pelo edifício ao longo de um ano são compensados pela receita gerada da exportação da energia produzida;
- *Zero Energy Emissions* – o balanço é contabilizado em termos de emissões equivalentes de CO₂. O edifício deve compensar as emissões de carbono associadas à energia consumida proveniente de combustíveis fósseis, através da produção de energia de origem renovável, isenta de emissões de CO₂.

Por outro lado, em Sartori et al. (2012) podemos observar as vantagens e as diferenças entre a abordagem de um balanço de energia no edifício: produção (oferta de energia) versus consumo efetivo (procura de energia), denominado por balanço *G-L* (*generated - load*). E a seleção de uma abordagem com base num balanço de fluxos de energia: energia importada pelo edifício, sob a forma de combustíveis ou redes de energia, versus energia exportada através de redes, designado por balanço *E-D* (*exported - delivered*). A título exemplificativo e em concordância com o referido anteriormente, na figura 34a relativa ao método *E-D*, é possível identificar que existe um conjunto de frações/edifícios em que a energia fornecida (expressa em energia primária) é reduzida, com pontos relativamente próximos do balanço nulo de energia. No entanto, a mesma figura já não permite visualizar, se essas situações advêm da adoção de estratégias conducentes à redução da procura de energia (aumento da eficiência energética) ou de energia proveniente de fontes de origem renovável, ou mesmo da conjugação de ambas. O método *G-L* representado pela figura 34b, permite identificar a energia produzida no local a partir de fontes de origem renovável. Esta definição permite, desde logo, estabelecer indicadores plausíveis de serem incorporados na definição de “quase” ZEB e quantificar se um edifício é energeticamente eficiente (Gonçalves & Panão, 2013).

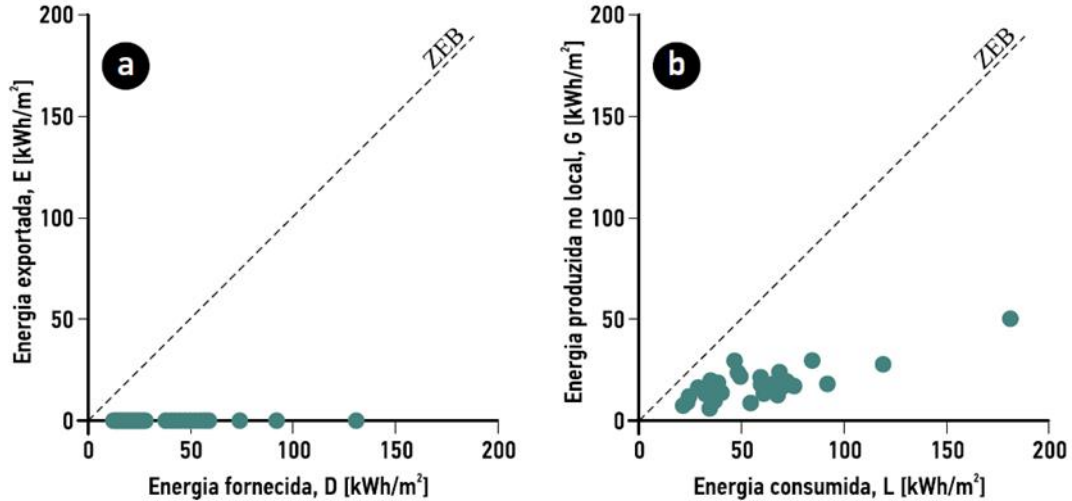


Figura 34 – Balanço de energia primária: (a) método $E-D$ e (b) método $G-L$ (Gonçalves & Panão, 2013)

O balanço energético em torno dum edifício pode ser esquematicamente representado como na Figura 35.

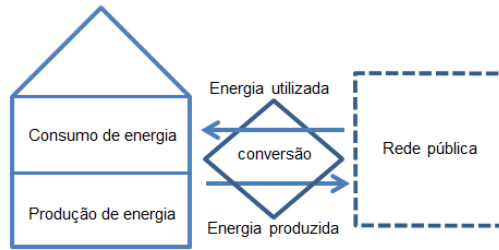


Figura 35 – Representação esquemática do balanço energético nulo

De acordo com a Figura acima, os edifícios de balanço de energia zero trocam energia com a rede de distribuição na forma de combustíveis (eletricidade e/ou calor/frio e/ou combustíveis), que são convertidos em energia primária utilizando para o efeito fatores de conversão. Consequentemente, o equilíbrio entre a energia produzida (E_p) pelo edifício e a energia fornecida (E_u) ao edifício pode ser definido como:

$$\text{Balanço Energético (BE)} = \sum_i E_{p,i} \times F_{p,i} - \sum_i E_{u,i} \times F_{u,i} \quad (4.1)$$

Em que os fatores de conversão F , de cada vetor energético i , são utilizados para converter as unidades físicas em outras métricas, como a energia primária ou de emissão de carbono equivalente. Analisando a Equação 4.1, pode-se tirar a conclusão de três cenários possíveis, dependendo do valor do balanço energético (BE). No caso de um balanço de energia anual nulo (produção igual ao consumo), o edifício é normalmente designado como de balanço nulo ou *net zero*. No entanto, um ZEB não é obrigatoriamente um edifício autónomo em termos energéticos: trata-se apenas de um edifício que numa base temporal (por exemplo, anual), injeta tanta energia na rede como a que retira da mesma. Num cenário em que o balanço é positivo (quando o edifício produz mais energia do que a que utiliza) o edifício é classificado como de balanço positivo, ou seja, edifício com energia excedentária ou *plus energy*.

Finalmente, se o edifício cai ligeiramente abaixo do equilíbrio neutro, então neste caso pode ser referido como um edifício de balanço quase nulo ou *nearly zero*.

A definição anteriormente referida de *zero site energy*, corresponde ao usado pela EPBD reformulada no contexto do balanço quase nulo (EPBD recast, 2010); a energia fornecida à rede e retirada à rede deve considerar os fatores de conversão de energia primária, levando assim em consideração a energia total requerida ao longo da cadeia energética, isto é, desde a extração de combustível, captação ou refinação (se aplicável), produção, distribuição e utilização de energia. O consumo expresso em energia primária descreve melhor o impacto ambiental da utilização da energia. Por exemplo, quando são utilizados 10 kWh de eletricidade num edifício são necessários 25 kWh_{EP} de energia na cadeia energética para a sua produção, distribuição e perdas na conversão. O fator de conversão de energia primária descreve esta relação. Neste exemplo concreto, é necessário 2,5 vezes mais energia do que a energia final requerida. A energia primária é calculada multiplicando a energia final fornecida pelo fator de conversão em energia primária (kWh/kWh_{EP}). Os fatores de energia primária diferem de país para país, dependendo do *mix* nacional de energia, traduzindo o peso relativo de cada vetor energético, e permitindo a soma de energias de forma distinta e, adicionalmente, servindo de incentivo político a vetores energéticos em detrimento de outros, o que justifica a adoção de valores que não se baseiam apenas em considerações de natureza científica.

Nesta conformidade, para definir qualquer edifício como edifício de elevado desempenho, ou energia próxima de zero, importa quantificar e especificar os fluxos energéticos considerados. Essa especificação é referida como fronteira do sistema e constitui a referência fundamental para os indicadores energéticos. Tipicamente, as necessidades energéticas dos edifícios incluem aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e outros equipamentos. Por outro lado, as instalações técnicas dos edifícios fornecem a energia final para satisfazer a procura expressa por energia útil⁵, isto é, a energia necessária para o exercício de funções (aquecimento, arrefecimento e a energia elétrica). Esta inclui, naturalmente, perdas de distribuição (por exemplo, distribuição da energia térmica para aquecimento e/ou arrefecimento) e eficiência dos sistemas técnicos (por exemplo, bombas de calor, caldeiras). Por sua vez, a energia fornecida aos edifícios pode ser energia elétrica, térmica de redes urbanas de distribuição de calor e frio, bem como combustíveis de origem renovável ou de origem não renovável. A energia líquida fornecida é a energia fornecida pela rede menos a energia entregue (exportada) à rede. A energia de origem renovável produzida localmente é a energia produzida a partir de fontes renováveis, solar, biomassa e eólica (e hídrica, se disponível), no edifício ou nas suas proximidades. A figura 36 demonstra um exemplo das fronteiras e fluxos energéticos de um edifício de escritórios de necessidades nZEB (Kurnitski, 2013).

⁵ A porção de energia final que se encontra efetivamente disponível para o consumidor para utilização após conversão final. Na conversão final, a eletricidade transforma-se por exemplo em luz, energia mecânica ou calor.

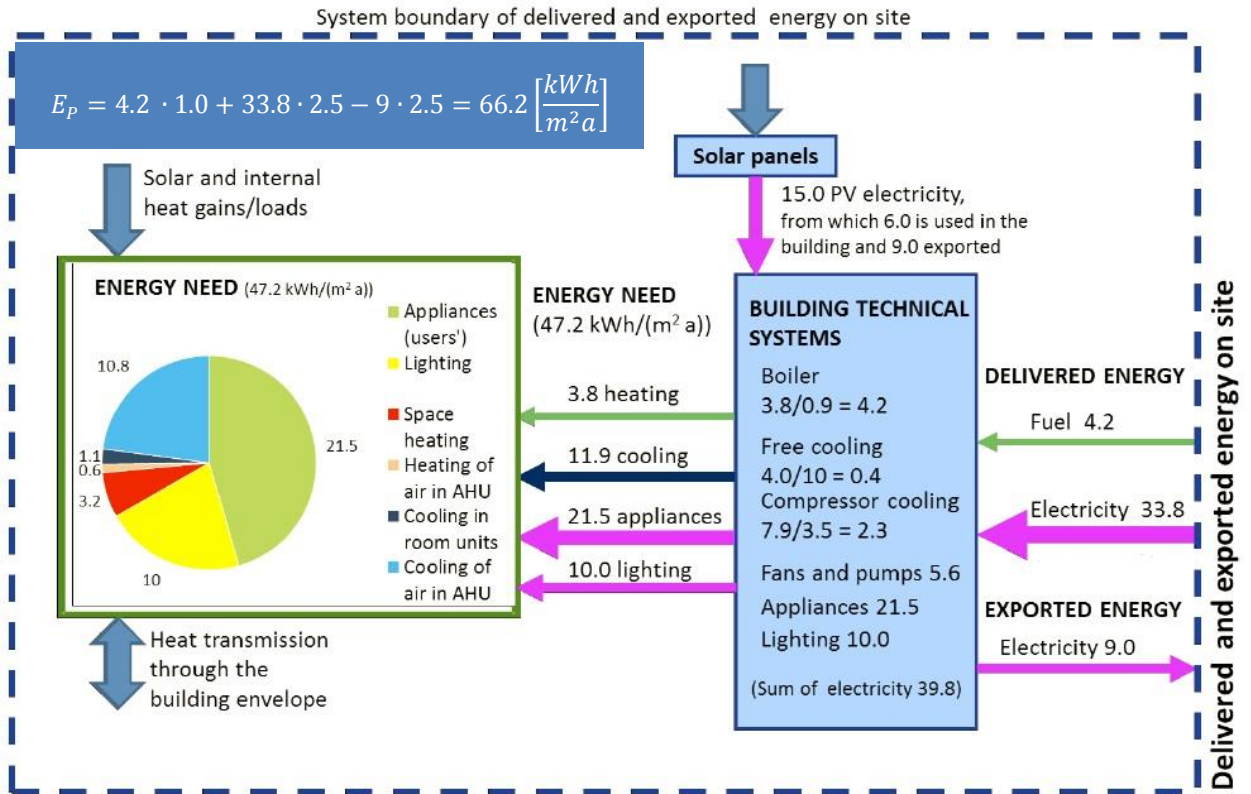


Figura 36 – Fronteiras e fluxos energéticos num edifício de escritórios nZEB (Kurnitski, 2013)

Neste caso o desempenho energético do edifício nZEB é aferido pela determinação do indicador de energia primária EP_p , tendo por base a expressão geral definida pela REHVA⁶ para edifício de balanço quase nulo (Kurnitski, 2013). Note-se que esta definição técnica inclui os consumos anuais de energia por vetor energético para as funções de aquecimento ambiente, AQS, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros equipamentos, contrastando com EPDB que obriga a incluir aqueles expeto os outros equipamentos (elevadores, escadas e tapes rolantes, etc.).

$$EP_p = \frac{1}{A_{pav}} \left[\sum_i (E_{del,i} \times F_{del,nren,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \times F_{exp,nren,i}) \right] \quad (4.2)$$

onde:

EP_p Indicador de energia primária, $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 a} \right]$

$E_{del,i}$ Energia fornecida ao edifício por fonte de energia i , para os diferentes usos, $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$

$E_{exp,i}$ Energia exportada pelo edifício por fonte de energia i , $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$

A_{pav} Área de pavimento de acordo com definição nacional, $[m^2]$

F_i Fator de conversão de energia final (E_{del} ou E_{exp}) para energia primária de origem não renovável, por fonte de energia i , que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia, $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$

⁶ Federation of European Heating, Ventilation and Air conditioning Associations

No sentido de se fazer um paralelo com a EPDB e contabilizar a energia produzida nas proximidades dos edifícios recorrendo a fontes de origem renováveis, promovendo um aumento de integração de renováveis na rede elétrica e/ou nas redes urbanas de distribuição energia térmica (sob forma de eletricidade e/ou calor/frio), a delimitação da fronteira estabelecida na figura 36 tem que ser alargada. Segundo a definição REHVA (Kurnitski, 2013), essa contabilização deve ser considerada com fatores de energia primária diferentes, se existir um contrato de fornecimento de energia estabelecido entre o edifício e a produção renovável de proximidade, que permita assegurar que esse investimento a longo prazo (pelos proprietários do edifício) tenha reflexo efetivo no abastecimento energético do edifício. Isto aplica-se nos casos em que aquela energia renovável produzida nas proximidades seja integrada e distribuída através da rede elétrica ou sistema urbano de distribuição de calor/frio. Caso contrário, se não existir um contrato de fornecimento de energia estabelecido com o edifício, a produção renovável de proximidade, deve utilizar os fatores de conversão para energia primária do mix energético da rede de abastecimento. A exequibilidade técnica e a rentabilidade dessa abordagem dependem, no entanto, da tecnologia da rede nacional de cada país e da flexibilidade da política energética nacional. Na figura 37 pode-se observar um exemplo de produção de energia renovável de proximidade, através de um parque eólico que injeta energia elétrica na rede de distribuição. Neste quadro, admite-se que existe um contrato legal de fornecimento de energia para que a capacidade de produção possa ser interligada no edifício (Kurnitski, 2013).

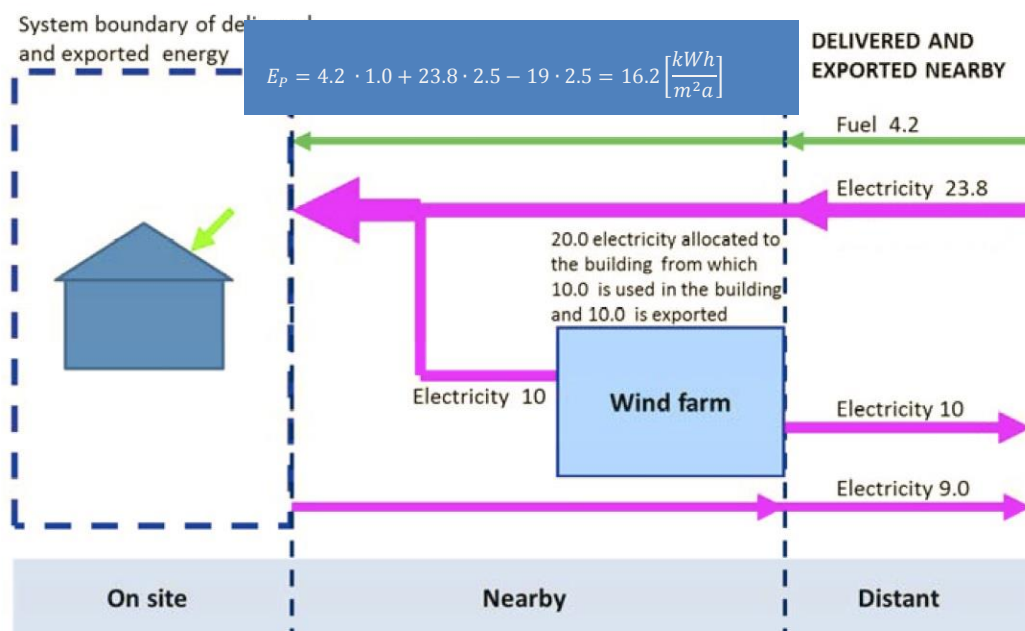


Figura 37 – Fluxos energéticos num edifício de escritórios nZEB com produção renovável nas proximidades (Kurnitski, 2013)

A expressão simples de balanço energético pode torna-se rapidamente complexa se forem consideradas outras características. Por exemplo, se a fronteira é traçada em torno de um grupo de edifícios “*zero energy community*”, além das preocupações inerentes às redes de abastecimento e fatores de conversão, bem como a energia necessária às infraestruturas e indústria da comunidade. Esta abordagem integrada à escala local, pode ser eventualmente enquadrada numa de rede sinérgica, onde os todos produtores e utilizadores de energia estão

interligados a nível local e o armazenamento de energia (calor, frio, eletricidade) de cada edifício está interligado à rede, com possibilidade de partilha e comercialização entre edifícios. Isto significa que a rede assenta numa base de troca de energia e não da produção e distribuição de energia. A maior vantagem é o facto de ser necessária menor produção energética à escala nacional, uma vez que os edifícios partilham a energia, que, de outra forma seria desperdiçada. Adicionalmente as emissões de carbono e os custos energéticos na cadeia energética são mais reduzidos (Virta et al., 2012).

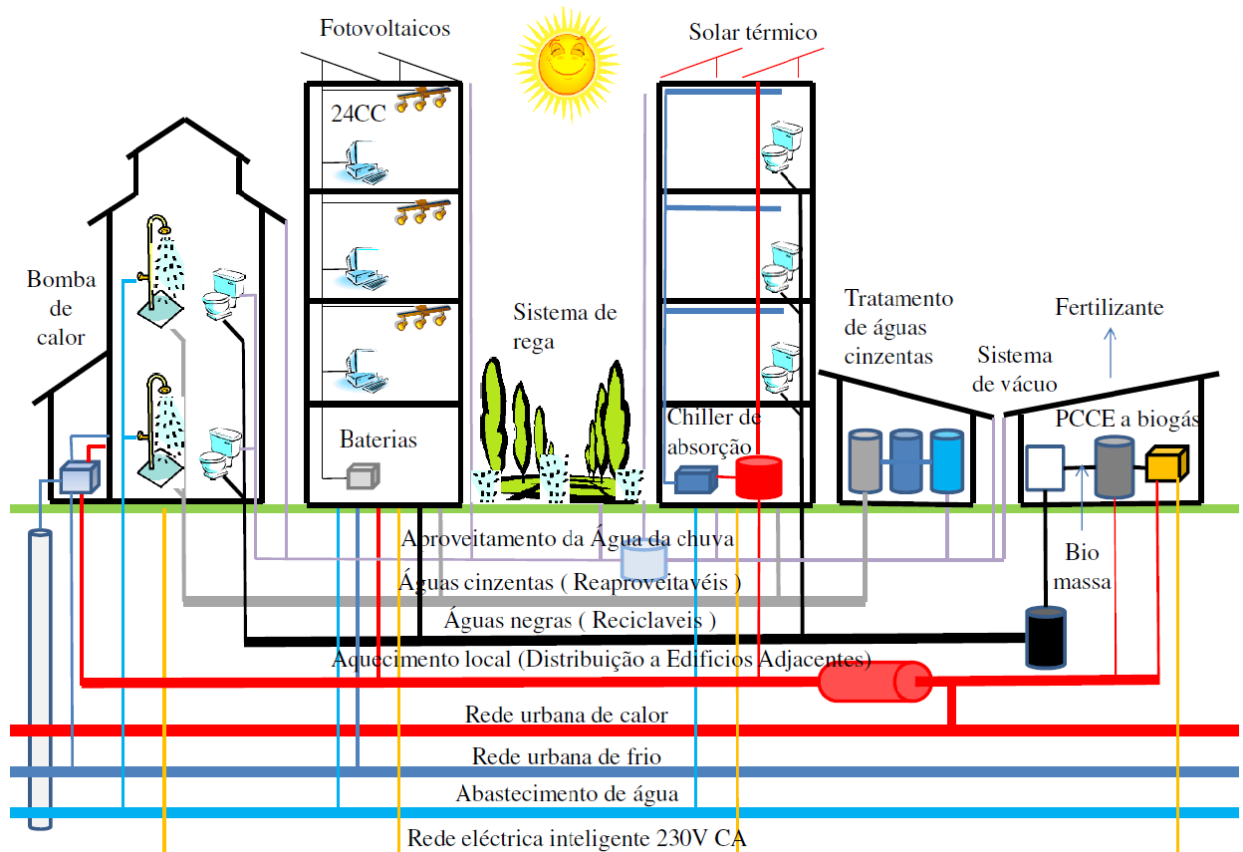


Figura 38 – Rede sinérgica, partilha de energia a nível local (Virta et al., 2012)

4.5 Rumo aos nZEB no Sul da Europa

No paradigma atual, os edifícios são maioritariamente caracterizados por soluções de arquitetura com preocupações de estética desvalorizando a eficiência energética. Claramente é necessário um novo paradigma para garantir que os impactos ambientais da utilização de energia nos edifícios sejam reduzidos, no sentido de cumprir as metas de redução de carbono e de desempenho energético definidos na EPBD reformulada. E quando se tem como objetivo projetar edifícios nZEB, devem ser consideradas as áreas chave na conceção dos mesmos, tais como: otimização de soluções passivas (arquitetura, soluções construtivas); otimização de soluções ativas (climatização e iluminação artificial); prever corretamente o consumo de energia do edifício na fase de projeto, recorrendo a simulação dinâmica detalhada que conduzam a resultados fiáveis e finalmente, dimensionamento dos sistemas de origem renovável para fornecer, no mínimo, uma quantidade de energia igual ao consumo de energia previsto para o edifício.

A tabela 2, compara o estado atual dos edifícios com o caminho obrigatoriamente necessário seguir para a conceção de edifícios de necessidades quase nulas (Lisboa, 2013).

Paradigma atual	Paradigma Futuro
Cargas internas elevadas (iluminação, equipamentos e ocupação)	Cargas internas baixas (iluminação e equipamentos)
Soluções arquitetónicas existentes concebidas maioritariamente com poucas preocupações de eficiência energética	Soluções arquitetónicas otimizadas relativamente à eficiência energética
Sistemas de climatização existentes concebidos maioritariamente com poucas preocupações de eficiência energética	Sistemas de climatização otimizados relativamente à eficiência energética
Temperatura ambiente interior baixa, em conformidade com critérios clássicos de conforto térmico	Temperatura ambiente interior em conformidade com critérios de conforto adaptativo
Grandes exigências no que se refere à qualidade do ar interior e ao tratamento do ar exterior devido a ambiente urbano significativamente poluído e ruidoso devido ao trânsito automóvel	Ambiente exterior de qualidade devido à implantação do veículo elétrico, permitindo a maior viabilidade de sistemas de ventilação natural transversal
Caudal de ar novo constante e dimensionado para o pico de ocupação	Ventilação adequada às necessidades abrangendo todo o edifício.
Produção energética centralizada	Produção energética descentralizada

Tabela 2 – Paradigma atual versus Paradigma futuro na conceção de edifícios

Ainda referente a recomendações chave para conceção de edifícios nZEB, a tabela 3 propõe algumas recomendações em climas frios e temperados (Virta et al., 2012).

	Unidades	Baixa energia	Energia quase zero
Potência específica de ventilação (SFP ⁷) Unidades de tratamento de ar	[kW/(m ³ /s)]	< 2,0	1,0
Eficiência dos sistemas de recuperação de calor	[%]	> 60	> 80
Ventilação adequada às necessidades	-	sala de reuniões	todos os espaços
Densidade de potência de iluminação	[W/m ²]	< 10	< 5
Controlo de iluminação	-	horário, luz do dia	horário, luz do dia, ocupação
U - envidraçados	[W/(k.m ²)]	< 1,2	< 1,0
Fator solar dos envidraçados (gLv)	-	< 0,7	adaptável (estações)
Sombreamento solar	-	sim	automático
Infiltrações (q 50)	[m ³ /h.m ²]	< 1,5	0,6
Porcentagem de energia renovável	[%]	> 10	> 20

Tabela 3 – Critérios chave para conceção de nZEB, em climas frios e em climas temperados (Virta et al., 2012).

⁷ *Specific Fan Power* é um fator, expresso em kW/(m³/s), que indica a eficiência de utilização de energia elétrica do conjunto de todos os ventiladores de ar de admissão e de extração num edifício. Ou seja, estabelece o limite máximo para o consumo elétrico (em kW) necessário para movimentar 1 m³/s de ar no edifício.

Os principais consumidores de energia nos edifícios são os equipamentos instalados, a iluminação e os sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). O comportamento térmico e o consumo com o AVAC dependem da arquitetura do edifício, da qualidade térmica das soluções construtivas, do comportamento dos seus ocupantes, das cargas internas indesejáveis (as quais podem ter origem na iluminação, nos equipamentos e ocupantes), do tipo de uso, do regime de utilização (permanente ou intermitente), das condições climáticas do local de implementação e localização geográfica em termos de altitude. No entanto, nem todas as boas práticas recomendadas pelo Norte e Centro da Europa são recomendáveis para climas mediterrânicos e em particular para Portugal.

Existem procedimentos fundamentais que devem ser seguidos e considerados no projeto e construção dos nZEB no Sul da Europa, que são decisivos na definição de uma estratégia ótima para atingir a sustentabilidade e a performance energética desejada nos edifícios. Assim, apresentam-se em seguida as estratégias fundamentais na obtenção de edifícios nZEB.

4.5.1 Instalação de equipamentos de elevada eficiência

No decurso das atividades, os ocupantes dos edifícios recorrem frequentemente a uma grande variedade de equipamentos, como por exemplo computadores, fotocopiadoras, equipamentos médicos e outros diversos. Atualmente existem edifícios com uma densidade de equipamentos na ordem dos 20 W/m². É assim urgente reduzir ao máximo estes consumos, quer através do uso racional dos mesmos, quer pela utilização de equipamentos de classe energética A+ ou superior. Terá que se dar um novo salto evolutivo na conceção dos equipamentos para conseguir atingir o objetivo nZEB. A aplicação de novas conceções de soluções e tecnologias informáticas, nomeadamente “*Cloud Computing*” poderá levar o consumo em equipamentos nos edifícios, em particular de tipologia tipo escritórios, para valores significativamente inferiores aos atuais.

4.5.2 Recurso a soluções construtivas de elevada qualidade térmica

Um edifício ideal em termos térmicos seria aquele em que fosse possível garantir o conforto dos ocupantes sem necessidade de consumir energia para aquecimento e/ou, para arrefecimento. Embora não seja possível construir um edifício com esta capacidade, é possível tomar medidas que minimizem o impacto destes consumos. Devem ser utilizadas soluções que assegurem baixas perdas térmicas pela envolvente. Ou seja, tal como já referido anteriormente, as soluções construtivas devem apresentar coeficientes de transmissão térmica muito baixos e deve existir a preocupação da correção eficaz de todas as situações de pontes térmicas (planas e lineares). De modo a permitir o recurso a sistemas de arrefecimento gratuito e a suavizar as situações de “pico térmico” as soluções construtivas devem ser pensadas e projetadas para resultar num edifício com inércia térmica⁸ forte.

4.5.3 Soluções de arquitetura apropriadas ao clima mediterrânico.

A generalidade dos edifícios são atualmente concebidos com a preocupação dominante da estética, sendo, entre outros aspetos, sacrificada a eficiência energética àquele objetivo. A

⁸ O termo inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento construtivo armazenar calor e só libertá-lo ao fim de certo tempo. A inércia térmica pode ser usada para absorver os ganhos de calor durante o dia (reduzindo a carga de arrefecimento) e libertá-los à noite (reduzindo a carga de aquecimento). Esta capacidade depende em grande parte da massa dos elementos de construção, do calor específico e também da sua condutibilidade térmica.

arquitetura dos edifícios, nomeadamente a área de vãos envidraçados, a sua distribuição e a sua exposição à radiação solar direta, tem uma influência significativa sobre os consumos de energia. Embora com menos impacto, a exposição direta ao Sol das fachadas também não é negligenciável. Nas regiões do Sul da Europa devem ser utilizadas soluções que minimizem o mais possível a exposição direta das fachadas aos raios solares. A ausência de um eficaz sombreamento das superfícies envidraçadas no período de Inverno, aliado à elevada carga térmica interna (por exemplo, edifícios de tipologia escritórios) leva normalmente a que o pico de necessidades de arrefecimento ocorra no Inverno (nas fachadas orientadas a Sul), sendo o sombreamento completamente eficaz no Verão. Assim, os vãos envidraçados devem estar equipados com dispositivos e/ou elementos construtivos que façam o uso da evolução da trajetória solar ao longo do ano para maximizar de modo inteligente os ganhos solares no período de Inverno e minimizá-los no Verão. Ou seja, para se atingir o objetivo nZEB é necessário evitar completamente a incidência de radiação solar direta nas superfícies envidraçadas no período de Verão e gerir essa mesma incidência no período de Inverno.

Por forma a maximizar a iluminação natural, e deste modo minimizar os consumos de energia associados à iluminação, os edifícios devem possuir vãos envidraçados com área suficiente e adequadamente distribuídos. Todos os vãos envidraçados devem ter proteções pelo exterior e preferencialmente móveis e opacas (quando totalmente fechadas). Os vãos devem estar orientados preferencialmente para o Norte, pois consegue-se assim garantir iluminação natural sem o risco de ganhos térmicos. Os vãos orientados a Sul devem ser protegidos por palas horizontais ou elementos com sombreamento equivalente (toldos, varandas, etc.) de dimensão adequada ou seja, que bloqueiem apenas a radiação solar direta no verão. Só se recomendam vãos envidraçados orientados a Este e a Oeste se for possível efetuar um sombreamento totalmente adequado no período de Verão. Por sua vez, os ganhos solares diretos na envolvente opaca podem ser atenuados com recurso a paredes do tipo fachada ventilada e a sótãos com desvão fracamente ventilado (por exemplo em moradias).

4.5.4 Sistemas de iluminação energeticamente eficientes.

No caso de algumas tipologias de edifícios, como por exemplo centro comerciais, os sistemas de iluminação são normalmente os maiores consumidores de energia do edifício. De realçar ainda que no Verão a iluminação consome a “dobrar” pois a que não é convertida em eletricidade é desperdiçada sob forma de calor, que depois os sistemas de arrefecimento têm que remover. Recomenda-se assim o recurso a sistemas de iluminação eficientes. Por exemplo, instalando lâmpadas fluorescentes de alta eficiência aplicadas em luminárias com refletores de alta refletividade, conseguindo-se densidades de potências na ordem dos 4 a 6 W/m², sem adular os parâmetros de qualidade da luz gerada e níveis de iluminação adequados (EN 12464-1). Esta potência pode ser ainda mais baixa com a tecnologia de LEDS (díodos emissores de luz). Os sistemas de iluminação devem ter uma distribuição, localização e potência adequadas à função a que se destinam e estar convenientemente setorizados. Uma boa conceção arquitetónica do ponto de vista da maximização da iluminação natural, aliada a um adequado sistema automático de comando da iluminação artificial, pode reduzir drasticamente o consumo de energia em iluminação. As estratégias de controlo automático combinando o controlo por deteção de ocupação e regulação contínua do fluxo luminoso emitido em função do conhecimento do nível de luz presente nos espaços (controlo automático por *dimming*), leva a uma redução efetiva dos consumos da iluminação, através da utilização da potência elétrica unicamente quando esta é necessária e, no caso particular do controlo por regulação contínua do fluxo luminoso, com níveis adaptados à disponibilidade de

luz natural. Assim, para se atingir o objetivo nZEB é necessário a aplicação das mais eficientes tecnologias de iluminação artificial aliada a uma conceção otimizada em termos de iluminação natural.

4.5.5 Sistemas AVAC energeticamente eficientes

Num edifício energeticamente ideal, os sistemas de aquecimento/arrefecimento seriam desnecessários. A componente passiva seria suficiente para garantir as condições de conforto. Como atualmente ainda não existem condições económicas e tecnológicas suficientes para construir tal edifício, ou se aceita a possibilidade de em determinados períodos existirem condições de desconforto térmico ou se recorre a sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). No entanto, nos nZEB os consumos de energia dos sistemas de AVAC têm que ser obrigatoriamente baixos. Os sistemas para aquecimento e/ou arrefecimento têm de ser de elevada eficiência, selecionados numa perspetiva de eficiência sazonal, ou seja, caracterizados pelo desempenho a diversas temperaturas para aquecimento e/ou arrefecimento que avaliem o desempenho real médio dos sistemas ao longo do ano, mas sem negligenciar o desempenho energético dos equipamentos a plena carga (COP - *Coefficient of Performance* ou EER - *Energy Efficiency Ratio*), pois este influencia o pico da carga elétrica, caso particular dos *chillers* e bombas de calor. A temperatura ambiente interior é importante no que se refere aos consumos energéticos, devendo-se optar por condições interiores moderadas, com regulação de *set-points* dinâmicos ajustando-se às necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento através de temperaturas mais favoráveis, ou *set-points* fixos durante todo o funcionamento (por exemplo, Inverno 20°C em vez de 22°C; Verão 26°C em vez de 24°C). A norma Europeia EN 15251, estabelece valores aconselhados para temperaturas operativas no interior em condições de Verão e de Inverno em função de categorias recomendadas. No mesmo âmbito, em função da tipologia do edifício, deve-se avaliar a possibilidade de recorrer a estratégias de conforto adaptativo. As pessoas adaptam-se às condições climáticas e ao tempo, especialmente durante o período de arrefecimento. O nível de adaptação está fortemente relacionado com as condições climáticas exteriores, em particular nos edifícios sem climatização. A mesma norma apresenta a possibilidade de ajustar a temperatura interior de acordo com a temperatura exterior, de forma a reduzir a utilização de energia em edifícios com climatização. Contudo, os modelos de conforto adaptativo, são pensados para situações onde os ocupantes têm a possibilidade de adaptar o seu vestuário às condições de conforto térmico (interiores e/ou exteriores) e não deverá ser utilizado em edifícios com código de vestuário. Por outro lado, a utilização de temperaturas moderadas nos circuitos de água aquecida e arrefecida, aliada, por exemplo, à utilização de sistemas de superfície radiante (pavimentos, paredes e tetos) de aquecimento de baixa temperatura e de arrefecimento de temperatura elevada são vantajosas do ponto de vista da eficiência energética e do desempenho da fonte térmica (bombas de calor/*chillers*, caldeiras, caldeiras de condensação, etc.).

No mesmo foco, importa então clarificar a definição de bomba de calor. Entende-se por bomba de calor, por compressão de um vapor, um sistema que realiza um ciclo termodinâmico entre duas fontes de energia, uma a baixa temperatura (fonte fria) e a outra a mais alta temperatura (fonte quente) transferindo o calor da fonte fria para a fonte quente graças ao fornecimento de uma certa quantidade de trabalho. Os seus elementos principais são quatro: evaporador, compressor, condensador e elemento de expansão. De uma forma simplificada, pode-se dizer que transferem a energia do exterior presente no ar, no solo ou na água, a uma temperatura mais baixa, para um dado meio, a temperatura mais alta - ar

ambiente, água para aquecimento, ou outro fluido intermédio. Na realidade trata-se de uma máquina frigorífica⁹ mas de funcionamento “ao contrário”, isto é, com o objetivo do aquecimento. Se uma máquina pode funcionar alternativamente, quer produzindo aquecimento, quer produzindo arrefecimento, denomina-se bomba de calor reversível. No modo de funcionamento para arrefecimento ambiente a fonte de calor (ar, solo ou na água) serve para rejeitar o calor retirado do ambiente interior. O princípio de funcionamento baseia-se no Ciclo de Carnot. A figura 39 mostra um esquema básico do princípio de funcionamento de um *chiller*/bomba-de-calor¹⁰, bem como, a eficiência do equipamento, medida pela razão entre o calor removido na fonte fria ($\dot{Q}_{evap}$) e a potência fornecida à máquina, designada por EER, na estação de arrefecimento, e o funcionamento na estação de aquecimento, pelo quociente entre o calor libertado no condensador ($\dot{Q}_{cond}$) e a potência elétrica consumida, designado por COP.

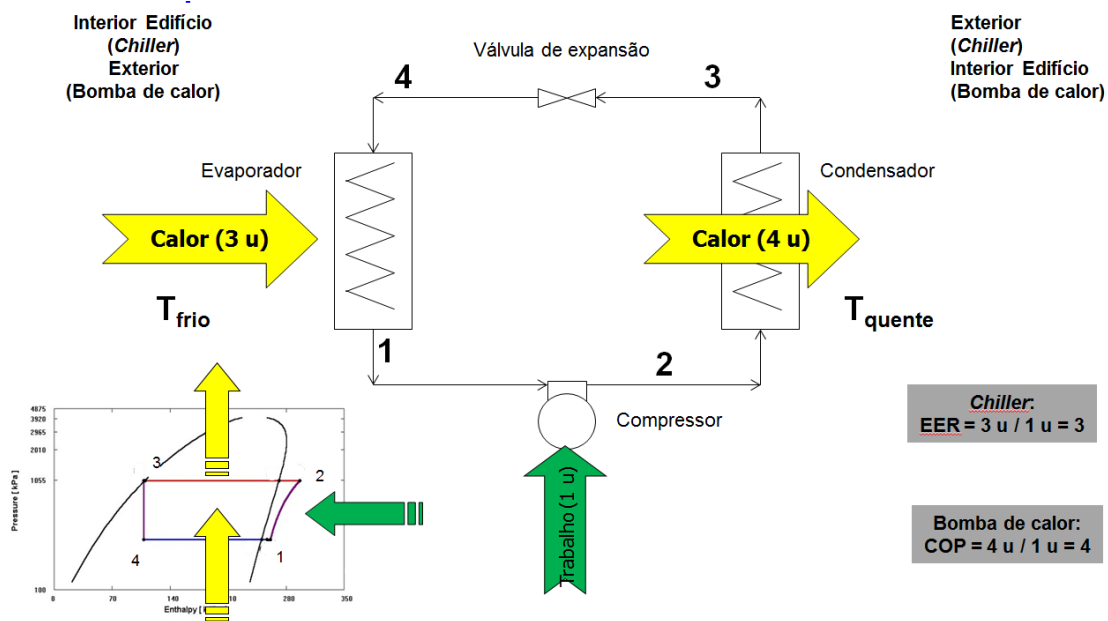


Figura 39 – Esquema básico de um *chiller*/bomba-de-calor

No diz respeito à ventilação, sempre que a temperatura exterior seja favorável, a renovação do ar deve ser efetuada por ventilação natural ou, quando muito híbrida. Nos períodos de ventilação mecânica deve ser recuperado o calor contido no ar de rejeição e devem existir dispositivos que permitam, no Verão, o recurso ao arrefecimento gratuito. As unidades de ventilação e/ou unidades de tratamento de ar novo (UTAN) devem utilizar ventiladores de alto rendimento, de transmissão direta e ser dimensionados para consumos específicos de ventilação baixos, utilizando as orientações dos indicadores *SFP* (*Specific Fan Power*) da

⁹ Nas situações correntes de climatização, as máquinas frigoríficas são tipicamente de ciclo de compressão, podendo rejeitar o calor para a atmosfera ou para um outro circuito de fluido térmico, normalmente água. Quando funcionam com uma rede de distribuição a água, são designados comercialmente por *chiller* “água-água” ou “ar-água”, consoante o modo de rejeição de calor. O calor libertado para uma rede de água é posteriormente lançado na geoesfera por permutadores secos, torres de arrefecimento, permuta para rios ou para o solo.

¹⁰ No *chiller*/bomba de Calor, o ciclo frigorífico está concentrado num equipamento único, sendo a água (arrefecida e/ou aquecida) utilizada como fluido de transporte de energia entre o equipamento e o espaço a climatizar.

norma EN 13779, para as categorias mais elevadas (*SFP 1*, *SFP 2* e *SFP 3*). Adicionalmente, em determinadas tipologias de edifícios, deve ser considerada a possibilidade de utilização de ventilação adequada às necessidades (*Demand Controlled Ventilation – DCV*), com os caudais de ar novo controlados em função da ocupação dos espaços, da temperatura ambiente e/ou da qualidade do ar interior (CO_2). A implementação *DCV* oferece um elevado potencial de economia de energia, pelo que deve ser sempre avaliada a sua implementação. Importa ainda referir relativamente à qualidade do ar interior, que os níveis de filtragem a utilizar nos sistemas de ventilação, devem ser especificados de acordo com a EN 13779, em função da classificação do ar exterior, mas com bastante racionalidade, pois introduzem perdas de carga elevadas que conduzem a um aumento significativo do consumo de energia nos ventiladores. Por último, deve existir uma gestão automática centralizada e otimizada que comande todos os sistemas energéticos do edifício, incluindo o funcionamento do AVAC.

4.5.6 Produção de energia no local (ou proximidades) a partir de fontes renováveis.

É sabido, que a um nZEB é exigido que produza energia suficiente para numa base temporal, normalmente anual, satisfazer maioritariamente os seus consumos. Para além disso, esta energia tem que ser proveniente de fontes renováveis ou ser produzida no local ou nas proximidades. Em termos de energia (diretamente) proveniente de fontes renováveis, os sistemas mais viáveis são os solares térmicos, sistemas a biomassa e os de energia geotérmica. Em termos de energia produzida no local ou nas proximidades através de renováveis, os sistemas atualmente mais viáveis, são os sistemas fotovoltaicos e os eólicos. Para além destes, existem outros mas que normalmente ou não estão disponíveis ou não são economicamente viáveis (mini-hídricas, energia das ondas, energia das marés, sistemas solares concentradores, etc.). Quer os sistemas de cogeração (produção simultânea de energia térmica e elétrica a partir da mesma fonte) e trigeração (utilização do calor rejeitado da cogeração para produção de água arrefecida, permitindo o uso em *chillers* de absorção para aplicações em arrefecimento ambiente) funcionam atualmente quase exclusivamente a gás natural, que tratando-se de um combustível com origem fóssil não se enquadra como energia renovável. No entanto e contrariando esta tendência, existem tecnologias no mercado suficientemente maduras, disponíveis e competitivas, o que se espera do mercado é a massificação das tecnologias já existentes para acompanhar uma procura crescente. Por exemplo, os concentradores solares térmicos e híbridos (fotovoltaico/térmico) que são utilizados para aplicações de produção de vapor e produção de energia elétrica, sistemas de cogeração híbridos solar/gás ou biomassa, aquecimento de água, quer industrial, quer em grandes edifícios, etc. Apesar de não ser frequente no nosso país, por combinação de diversos fatores, existem atualmente instalados no Centro e Norte da Europa, aplicações solares térmicas de larga escala ligadas a redes de aquecimento urbano, que fornecem energia térmica para aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias “*solar district heating*”. Ainda no âmbito de cogeração com base em energias renováveis implementadas nos edifícios, existem também vários exemplos, destacando-se centrais de cogeração a biogás, sendo a eletricidade produzida para autoconsumo e/ou injetada na rede de distribuição, e a energia térmica fornecida a um sistema centralizado de aquecimento para satisfazer as necessidades de consumo do edifício. Por último, importa realçar o uso de *chillers* de absorção a energia solar como solução para arrefecimento. Os *chillers* de absorção diferem dos *chillers* de compressão de vapor pelo facto de utilizarem um processo térmico e/ou químico para gerarem o efeito de refrigeração necessário para produzir água refrigerada. Não existe compressão mecânica do fluido frigorígeno. Num *chiller* de absorção a fonte de calor (por exemplo, calor solar) aciona o processo de arrefecimento, pelo que o compressor é substituído por um absorvedor químico,

um gerador e uma bomba. O modelo híbrido fotovoltaico/térmico permite produzir toda a energia necessária ao funcionamento do *chiller*, tanto térmica como elétrica, resultando do processo um excesso de energia térmica que poderá ser utilizada em água quente sanitária (AQS) e também um excesso de energia elétrica que poderá ser utilizada para autoconsumo. Ora, esta solução existe já implementada em alguns edifícios de dimensão e é uma excelente opção uma vez que tem reduzida manutenção e sobretudo um rápido retorno do investimento. Assim, combinar a cogeração com o uso das renováveis, apresenta vantagens significativas, nomeadamente benefícios energéticos, ambientais e económicos, incluindo um aumento da eficiência energética, redução significativa de CO₂ e aumento da segurança de abastecimento energético através da redução da importação de combustíveis e o uso benéfico de recursos energéticos locais.

4.5.7 Utilização racional do edifício e dos seus sistemas e equipamentos

Mesmo que um edifício tenha uma componente passiva (arquitetura e soluções construtivas) de excelência, dispositivos internos (iluminação e equipamentos) muito eficientes, sistemas de AVAC otimizados e elevada utilização de energias renováveis e produção de energia a partir de fontes renováveis, não cumprirá os requisitos para ser nZEB se a utilização do edifício e dos seus sistemas e equipamentos não for racional. Ou seja, um edifício só será um nZEB se os sistemas de regulação e de controlo estiverem programados de forma ajustada para o edifício em questão e os utilizadores tiverem comportamentos que minimizem os consumos de energia. É essencial que exista uma equipa de técnicos habilitados adequadamente, que providencie para que o funcionamento dos equipamentos e sistemas energéticos do edifício seja o mais eficaz possível. Devem estar previstos automatismos que permitam desligar de forma permanente ou temporária os equipamentos e os sistemas que não estejam a ser utilizados, que possam ser “dispensados” ou que estejam localizados em zonas do edifício que de momento não estão a ser utilizadas.

5 Caso de estudo – Edifícios de Serviços

5.1 Introdução ao caso de estudo

O caso de Estudo proposto diz respeito à análise a um grande edifício de serviços de tipologia “lar de idosos”. Trata-se de um edifício existente à luz do Sistema Nacional de Certificação Energética, SCE, (Decreto-Lei n.º118/2103), mas que cumpre integralmente todos os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente e requisitos dos sistemas energéticos estabelecidos no RSECE (Decreto-Lei n.º79/2006). É um edifício com início de utilização no final de 2014, onde a obtenção do Certificado Energético foi necessário para a emissão da licença de utilização. O edifício apresenta com o atual SCE, para a sua localização real, uma classificação energética B-. No entanto, mantendo as mesmas características construtivas e os mesmos sistemas energéticos de produção de energia térmica, o edifício será “recolocado” e avaliado noutras três zonas climáticas distintas de Portugal, nomeadamente Porto, Bragança e Faro. Assim, pretende-se implementar um conjunto de estratégias passivas e ativas do lado da procura da energia (eficiência energética), bem como, implementar o aumento da oferta, pela integração de sistemas energéticos renováveis no edifício base, com o objetivo de alcançar um balanço energético quase nulo, avaliando o seu comportamento nas três zonas climáticas anteriormente referidas. Para o efeito, recorreu-se à simulação dinâmica, utilizando o programa HAP v4.8 “*Hourly Analysis Program*” que satisfaz os requisitos da norma ASHRAE 140. Adicionalmente, será avaliada a viabilidade económica das estratégias recomendadas na perspetiva do nível ótimo de rentabilidade, ou seja, o nível de desempenho energético que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado, sendo o custo global determinado tendo em conta os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos de funcionamento.

5.2 Caracterização geral do edifício

O edifício em estudo é um Lar de idosos composto por dois pisos, sendo o andar destinado ao alojamento constituído por dez quartos duplos e quatro individuais todos com casa de banho individual, um refeitório/copa, duas salas de convívio, uma sala de pessoal, quarto de vigilante, áreas de apoio (rouparias, arrumos), instalações sanitárias e circulações. Existe também uma residência autónoma no piso do andar com o acesso pela caixa de escadas interior situada a Este, sendo constituída por dois quartos duplos, um individual, cozinha, dispensa, arrumos, casas de banho e uma sala de estar, estando totalmente integrada no uso do primeiro andar. O rés-do-chão é constituído por receção, três gabinetes, sala de reuniões, quatro salas de atividades, ginásio, fisioterapia, quarto muda de fralda, instalações sanitárias (masculinas, femininas), refeitório, cozinha (armazéns, arrumos e afins), vestiários e instalações sanitárias dos funcionários, sala de pessoal e lavandaria. A área útil do edifício é

de 2.089 m², incluindo as áreas complementar da cozinha (115 m²) e lavanderia (54 m²) e com um pé direito médio ponderado de 2,98 m.

Na figura seguinte visualiza-se o modelo tridimensional criado para o edifício, através do levantamento das características físicas e funcionais efetuado num programa BIM (*building information modeling*) o “Revit” (Autodesk Revit, 2014), e comparado com uma fotografia recolhida no local.



(a) Vista global da fachada principal a Sul



(b) Vista global das fachadas Norte e Este



(c) Vista global da fachada Sul

Figura 40 – Fachadas principais do edifício

Nas tabelas seguintes identificam-se as áreas totais da envolvente opaca e áreas por orientação da envolvente opaca e não opaca (envidraçados).

Área de pavimento [m ²]	2.089
Pé direito médio (ponderado) [m]	2,98

Elementos Correntes da Envolvente	
Pavimentos	A [m²]
exteriores	45
interiores	1.137
Total	1.182
Paredes	A [m²]
exteriores	982
interiores	20
Total	1.002
Coberturas	A m²]
em Terraço	1.201
Inclinadas	0
interiores	0
Total	1.201
Envidraçados	A [m²]
exteriores	297
interiores	0
Total	297
Elementos em contacto com o Solo	A [m²]
Paredes	0
Pavimentos	6
Total	6
Áreas Interiores	A [m²]
Pavimentos	821
Paredes	2.293
Laje de Teto	0

Tabela 4 – Áreas da envolvente

Paredes	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		Total
Parede Exterior	357	0	208	0	201	0	216	0		982
Envidraçados Exteriores	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontais	Total
Total	42	0	34	0	201	0	20	0	0	296,6

Tabela 5 – Áreas por orientação [m²]

5.3 Caracterização da envolvente

5.3.1 Envolvente opaca exterior e interior

Os coeficientes de transmissão térmica dos elementos de envolvente do edifício, exteriores e interiores, foram calculados com base nos seus materiais construtivos e nos respetivos valores de condutibilidade térmica, tendo sido, para o efeito, considerados os valores estabelecidos na

publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC): Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, versão atualizada 2006 (Informação Técnica Edifícios, ITE 50). Na tabela seguinte identificam-se os diversos valores de coeficientes de transmissão térmica que caracteriza a envolvente opaca. No Anexo A.1 encontram-se a descrição das soluções construtivas consideradas.

Solução Envolvente Opaca	Código Solução	U [W/(m ² .°C)]
Parede Dupla Isolamento Exterior	PE01	0,44
Parede Simples Isolamento exterior (Caixa Escadas)	PE03	0,56
Tijolo Burro, alvenaria 15	PE02	0,47
Bloco Betão + Tijolo Furado	PE04	0,54
Ponte Térmica PT02	PT02	0,62
Pavimento Piso 0 (Linóleo)	Pav_P0	0,66
Ponte Térmica Plana a PE01	PT01	0,64
Ponte Térmica Cx estore	PTCE01	0,42
Ponte Térmica Plana a PE03	PT03	0,64
Parede interior ENU com 15 cm (2+11+2)	Pi_15	1,78
Cobertura exterior plana Piso 0	Cob_P0	0,44
Cobertura exterior plana c/caixa-de-ar e Gesso cartonado	Cob_Ext	0,40
Cobertura em terraço (varanda)	Cob_Terraço	0,33
Parede Exterior Ascensor	Pe_elev	0,65
Pavimento Piso 0 (Cerâmico)	P0-Cer	0,66
Parede Exterior Cx Escadas Piso 1	Pesc_15	0,55
Parede Exterior Cx Escadas Piso 1	Pesc_20	0,53
Parede exterior bloco 20	PB_20	0,57
Pavimento sobre exterior	Pav_ext	0,67
Pavimento sobre ENU (Casa Lixo)	Pav_enu	0,61
Ponte Térmica Cx estore	PTCE02	0,42

Tabela 6 – Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca

Os espaços sem necessidades térmicas e sem ocupação permanente são os que se encontram tabela:

Designação	b_{tr}^{11}
Compartimento do Lixo	0,7
Desvão não ventilado	0,4

Tabela 7 – Espaços sem necessidade térmicas e sem ocupação permanente

No modelo de simulação dinâmica detalhado para a parametrização das perdas pela envolvente em contacto com zonas sem ocupação permanente e sem sistemas de climatização para aquecimento e arrefecimento para conforto térmico, considerou-se a metodologia prevista pelo programa HAPv4.8, acreditado pela norma ASHRAE 140:

- De acordo com o b_{tr} calculado para cada um dos espaços acima indicados, foi determinada a temperatura dos mesmos na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento para a contabilização das trocas de calor. Para o efeito seguiu-se a metodologia prevista no Despacho n 15793-K/2013, que segue a base da norma EN ISO 13789.

¹¹ Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}). O coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 1$, traduz a redução da transmissão de calor nas situações em que a temperatura do espaço não útil ou do edifício adjacente está compreendida entre a temperatura interior de referência do espaço interior útil e a temperatura exterior.

Face à limitação do *software* utilizado em parametrizar as pontes térmicas lineares foi considerado um acréscimo de 5% nos consumos de energia para aquecimento ambiente do edifício.

5.3.2 Envidraçados e dispositivos de proteção solar

De acordo com o levantamento efetuado no local, os vãos envidraçados são caracterizados por três tipos distintos, nomeadamente:

- VD PRMCM: Vãos envidraçados simples, inseridos na zona dos quartos, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, fator solar do vidro ($g_{L,v}$) de 0,75, com proteção solar pelo exterior por persiana de réguas plásticas na cor média, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,07. Coeficiente de transmissão do conjunto do vão envidraçado (U_w) de 3,74 [W/(m².°C)].
- VD SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, sem qualquer dispositivo de proteção solar, fator solar do vidro ($g_{L,v}$) de 0,75. Coeficiente de transmissão do conjunto (U_w) de 3,74 [W/(m².°C)].
- VD PI OPM: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, fator solar ($g_{L,v}$) de 0,75, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo *blackout* de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,37. Coeficiente de transmissão do conjunto (U_w) de 3,74 [W/(m².°C)].

No modelo de simulação dinâmica a parametrização dos dispositivos de sombreamento móvel dos vãos envidraçados foi considerada que os mesmos estão ativos a 60%.

A classe de inércia calculada para o imóvel foi Forte. Para determinar a inércia térmica do edifício foi utilizado o método detalhado considerando a contribuição das massas superficiais dos diversos elementos construtivos (Anexo A.2). Nas figuras 41 e 42 visualiza-se as plantas e cortes do edifício em estudo, bem como a delimitação da sua envolvente.



Figura 41 – Planta do R/C e do 1º andar (delimitação)



Figura 42 – Cortes do edifício (delimitação)

De notar que, a delimitação a vermelho corresponde a envolvente exterior (horizontal e vertical), a azul visualiza-se a envolvente interior (horizontal e vertical) sem requisitos de qualidade térmica, mas com trocas de calor e a verde o pavimento em contacto com o solo sem requisitos.

5.4 Caracterização do sistema de climatização

A produção de energia térmica é realizada através de sistema centralizado alimentado por energia elétrica, composto por uma unidade *chiller*/bomba de calor, ar/água, operando com fluido refrigerante R410A, com potência unitária de 115 kW e 104 kW para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, com COP de 3,16 e EER de 2,84. A distribuição da energia térmica através de rede hidráulica é a dois tubos com a água como fluido de transporte. O regime das temperaturas no circuito hidráulico de ida e retorno é 7/12°C em arrefecimento e de 45/40°C em aquecimento. O *chiller*/bomba de calor (Ch/BC) fornece, durante a estação fria e quente, água aquecida e arrefecida às unidades terminais de climatização (ventilo-convetores de chão), sendo estes controlados por termóstato ambiente e interligados a um sistema de gestão técnica centralizado (este permitem o ajuste de set-point da temperatura e velocidade de ventilação).

A renovação do ar interior é promovida através de unidades de tratamento de ar novo com módulo de recuperação de energia. O ar novo termicamente tratado e filtrado é introduzido por três unidades de tratamento de ar novo (UTAN) com módulo de recuperação de calor do

tipo permutador de placas de fluxos cruzados, que permitem a recuperação de calor sensível da extração do ar para a insuflação. As UTAN¹² estão equipadas com bateria de aquecimento/arrefecimento alimentadas pelo Ch/BC, a secção de filtragem é constituída por um pré-filtro plano classe G4 na admissão e um filtro de bolsas classe F7 na insuflação, no retorno existe um filtro de bolsas classe G4, garantindo uma capacidade de filtragem adequada segundo a norma EN13779. A extração dos sanitários é realizada mediante ventiladores de extração específicos e exclusivos, sendo que o ar de compensação é proveniente dos espaços circundantes por depressão. A cozinha dispõe de uma hotte central com ventilação mecânica de desenfumagem de extração e de compensação de ar. Os ventiladores de insuflação para compensação do ar e extração da hotte possuem variador de velocidade, de modo a regular o caudal de funcionamento do sistema.

Na figura 43 apresentam-se os principais sistemas de climatização instalados na cobertura do edifício.



(a) Chiller/bomba de calor

(b) UTAN 2

Figura 43 – Sistemas técnicos de climatização

5.5 Caraterização do sistema de preparação de AQS

Em termos gerais, a produção de água quente sanitária (AQS) é efetuada maioritariamente pelo sistema solar térmico e complementado pela caldeira de chão, alimentada a gás propano com potência térmica de 52,2 kW e rendimento de 90,2 %. A Caldeira encontra-se interligada ao permutador de apoio do depósito de acumulação de 800 litros.

5.6 Caraterização do sistema de aproveitamento de energias renováveis

O edifício em estudo dispõe de sistema de energia renovável, composto por um sistema solar térmico para produção de água quente sanitária (AQS) composto por 10 coletores solares, perfazendo uma área total de aproximadamente 22,4 m², instalados na cobertura plana a 45° e com orientação a Sul (azimute 0°), não existem obstruções assinaláveis do horizonte. Os coletores solares estão interligados ao permutador do depósito acumulador de 1000 litros. Ao permutador do depósito de 800 litros encontra-se ligado o circuito alimentado pela caldeira, de forma a funcionar como apoio ao aquecimento da água quente sanitária. Apenas o depósito acumulador que possui o permutador ligado ao sistema solar está ligado à rede de alimentação

¹² UTAN1 tem um caudal de insuflação de 5.750 m³/h e extração de 2.750 m³/h; UTAN2 tem um caudal de insuflação de 5.925 m³/h e extração de 2.225 m³/h; UTAN3 tem um caudal de insuflação de 5.500 m³/h e extração de 3.500 m³/h.

de água. O segundo depósito é alimentado pela água do primeiro depósito. A AQS é misturada com água fria à saída do depósito de acumulação (800 litros) através de sistema termostático modulante para a temperatura de consumo a 45°C.

Na figura 44 apresenta-se a estimativa de desempenho do sistema solar térmico para o concelho do Porto, através do balanço energético mensal e anual, realizado pelo programa *Solterm 5.1* do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (Aguiar et al., 2012).

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Porto
Coordenadas nominais: 41,2°N, 8,6°W
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG(2009) www.lneg.pt solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: por defeito

Orientação do painel: inclinação 45° - azimute 0°

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	86	,	927	2795	1868
Fevereiro	69	104	,	1069	2510	1442
Março	105	130	,	1285	2731	1447
Abril	144	152	,	1468	2598	1130
Maio	173	160	,	1486	2614	1128
Junho	185	162	,	1481	2452	971
Julho	205	185	,	1747	2478	731
Agosto	183	183	,	1788	2484	695
Setembro	129	153	,	1543	2437	894
Outubro	95	134	,	1421	2601	1180
Novembro	60	101	,	1079	2635	1556
Dezembro	48	89	,	977	2789	1812
Anual	1447	1638	,	16271	31125	14854

Fracção solar: 52,3%
Rendimento global anual do sistema: 44% Produtividade: 728 kWh/[m² colector]

Figura 44 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico para o Porto

5.7 Caraterização das cargas internas

As trocas de calor e massa através da envolvente exterior resultam em carga térmica sensível (energia trocada a humidade constante) e latente (energia trocada a temperatura constante) respetivamente. A admissão de ar exterior (ar novo) resulta também numa carga térmica sensível e latente. A utilização do edifício (ocupação, iluminação, uso de equipamento diverso) leva a que se libertem calor e vapor de água, ou seja, a que existam cargas térmicas interiores. As cargas térmicas são agrupadas em cargas térmicas exteriores, cargas internas e outras cargas térmicas. As cargas térmicas exteriores dependem das condições climáticas e resultam das trocas de calor e massa através da envolvente exterior dos edifícios. As cargas térmicas internas (ao espaço climatizado) dependem essencialmente das condições de funcionamento do edifício. São cargas resultantes do metabolismo das pessoas, do calor resultante da iluminação e do funcionamento de equipamentos nos locais climatizados.

No entanto, importa centrar o tema nas cargas internas, onde existe libertação de calor para o espaço climatizado devido a pessoas, equipamentos e iluminação.

Assim, no caso da ocupação, o edifício apresenta uma densidade média de 8,22 m²/ocupante, desde funcionários e a idosos permanentes no lar. Estes ocupantes dividem-se pelos diversos espaços de diferentes usos do edifício (quartos, salas de atividades, gabinetes, etc.). A taxa de calor sensível e latente libertada por cada pessoa (taxa de metabolismo) foi considerada de

acordo com a atividade de cada zona, com base nas indicações da *ASHRAE Handbook – Fundamentals, chapter 18, Table 1* (ASHRAE, 2013).

No que se refere aos equipamentos, o edifício analisado apresenta diversos tipos de equipamentos internos, de acordo com a tipologia dos espaços a que se destinam, sejam estes quartos, salas de atividade, gabinetes ou espaços de apoio ao bom funcionamento do edifício. Neste âmbito, e uma vez que não existiam ainda equipamentos instalados, nos espaços referidos aquando a vistoria ao edifício, foi considerada a densidade de equipamento definida do RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios) para “Estabelecimento de Saúde com internamento” de 10 W/m^2 , seguindo-se a coerência inicial aquando da realização do projeto inicial. No que respeita à lavandaria apresenta uma potência média instalada bastante elevada face aos outros espaços, isto deve-se ao fato de se encontrarem instaladas máquinas de lavar industriais de elevada potência, a densidade média instalada é de 500 W/m^2 . Da mesma forma a cozinha também possui um valor elevado devido aos diversos equipamentos utilizados na confeção das refeições, apresentando uma densidade média de 250 W/m^2 .

Finalmente, no que se refere a iluminação, o edifício apresenta uma potência instalada de aproximadamente de 19,25 kW em iluminação exterior e interior, distribuída pelos diversos espaços e apresentando uma densidade média de $9,1 \text{ W/m}^2$, sendo que a iluminação exterior apresenta apenas 1,5% do total. A iluminação interior é bastante diversificada sendo maioritariamente composta por lâmpadas fluorescentes compactas e fluorescentes tubulares. Nas tabelas seguintes apresenta-se a potência total instalada por luminárias e a densidade de iluminação por zona.

Iluminação Interior							
Total	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3	Tipo A4	Tipo A5	Tipo A6	Tipo A1.1
Potência sistema (W)	72	40	26	18	60	72	72
Total de Luminárias	30	259	13	38	28	18	34
Potência total instaladas (kW)	2,16	10,36	0,338	0,684	1,68	1,296	2,448

Tabela 8 – Potência total instalada por luminárias

Tipologias	[m ²]	[W]	[W/m ²]
Lar de Idosos	1925	17366	9,02
Cozinha	110	1056	9,6
Lavandaria	54	504	9,4
Iluminação exterior	-	280	-

Tabela 9 – Densidade de iluminação interior

Relativamente aos perfis de utilização, uma vez que é um edifício ainda sem uso (sem histórico de utilização), foram considerados os perfis horários previstos para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos, para cada zona térmica do edifício, com base na informação recolhida dos proprietários relativos aos futuros horários de funcionamento das instalações, e ajustados pela experiência recolhida de perfis de utilização de edifícios existentes, aquando da realização de auditorias energéticas em edifícios com a mesma tipologia do mesmo proprietário. Não existiu a necessidade de recorrer aos perfis adotados no RSECE (DL 79/2006).

5.8 Simulação e cálculo do desempenho energético

5.8.1 Simulação dinâmica

O objetivo da simulação dinâmica consiste em obter os consumos de energia necessários à manutenção das condições de conforto interiores estipuladas pelo utilizador e avaliar o impacto da introdução de determinadas alterações, na envolvente do edifício, nos sistemas de climatização, ou nos padrões de utilização ou controle, em termos de economia de energia. Esta simulação dinâmica multizona foi efetuada no programa HAPv4.8, com o objetivo de estimar o desempenho energético do edifício, pela análise da desagregação mensal dos consumos por utilização final e por forma de energia. Posteriormente, este modelo representativo de previsão de consumos será utilizado para calcular o Indicador de Eficiência Energética previsto (IEE_{pr}), o qual procura estimar o consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício, sendo expresso em energia primária.

No sentido de facilitar a análise técnica dos edifícios, quer a nível de simulação quer a nível da análise dos sistemas técnicos, existe necessidade de agrupar os diferentes espaços, criando o que se denomina por “zonamento” do edifício. O zonamento torna-se tão mais fácil de definir quanto mais perto se seguir a disposição espacial da arquitetura. Esta facilidade na definição deverá ser confrontada com as dificuldades inerentes à introdução de um número crescente de zonas e ao esforço acrescido no tratamento de dados que lhe é proporcional. O zonamento deve permitir a caracterização de cada uma das zonas térmicas do edifício, tendo em consideração as características de ocupação dos espaços, a orientação dos mesmos, os sistemas técnicos instalados, entre outros. Assim, no modelo de simulação do estudo foram consideradas zonas térmicas tendo em conta os seguintes critérios: zonas climatizadas, zonas não climatizadas, sistemas de climatização, exposição solar, cargas internas, perfis de utilização e controlo.

No modelo de simulação foram utilizados todos os elementos relativos às condições reais previstas de funcionamento do edifício, nomeadamente densidades e perfis de utilização de ocupação, equipamentos, iluminação e set-points de temperatura de operação do sistema de climatização. As temperaturas interiores consideradas para aquecimento e arrefecimento foram de 20°C e 25°C respetivamente (condições de conforto inicialmente estabelecidas aquando a elaboração do projeto inicial de climatização). A contabilização do caudal de ar insuflado diretamente nos espaços teve como base os caudais de ar novo efetivo insuflado pelas três UTANs para ocupação prevista em cada espaço definida no projeto inicial de AVAC. O período de funcionamento dos sistemas de climatização considerado na simulação corresponde ao período de ocupação do edifício. Os ficheiros climáticos utilizados no modelo de simulação são os dados climáticos disponibilizados pelo LNEG, através da importação dos ficheiros no formato “*.epw” (*EnergyPlus Weather*) para o programa de simulação.

No modelo de simulação foi feita a análise dos consumos mensais e anuais por forma de energia e a desagregação dos mesmos por utilização final. Na tabela 10 e figura 45 é possível visualizar-se os resultados anuais para os três climas do estudo. Os valores apresentados incluem a totalidade da estrutura de consumos energéticos estimados para o cenário base. Os consumos obtidos através de simulação energética são evidenciados no Anexo A.3 através dos *outputs* do programa de simulação utilizado.

Consumo anual de energia final (por tipo de uso)	[kWh/ano]		
	Porto	Bragança	Faro
Aquecimento	20.189	36.153	14.863
Arrefecimento	25.620	29.051	39.485
Iluminação interior	86.066	86.066	86.066
Iluminação exterior	1512	1512	1512
AQS (Apoio)	16.468	15.621	11.387
Energia Solar (Fornecida AQS)	16.271	17.787	18.587
Equipamentos elétricos	77.732	77.732	77.732
Ventilação	65.502	65.502	65.502
Bombagem	5.787	6.620	5.982
Total	315.147	336.044	321.116

Tabela 10 – Consumo anual de energia final (por tipo de uso)

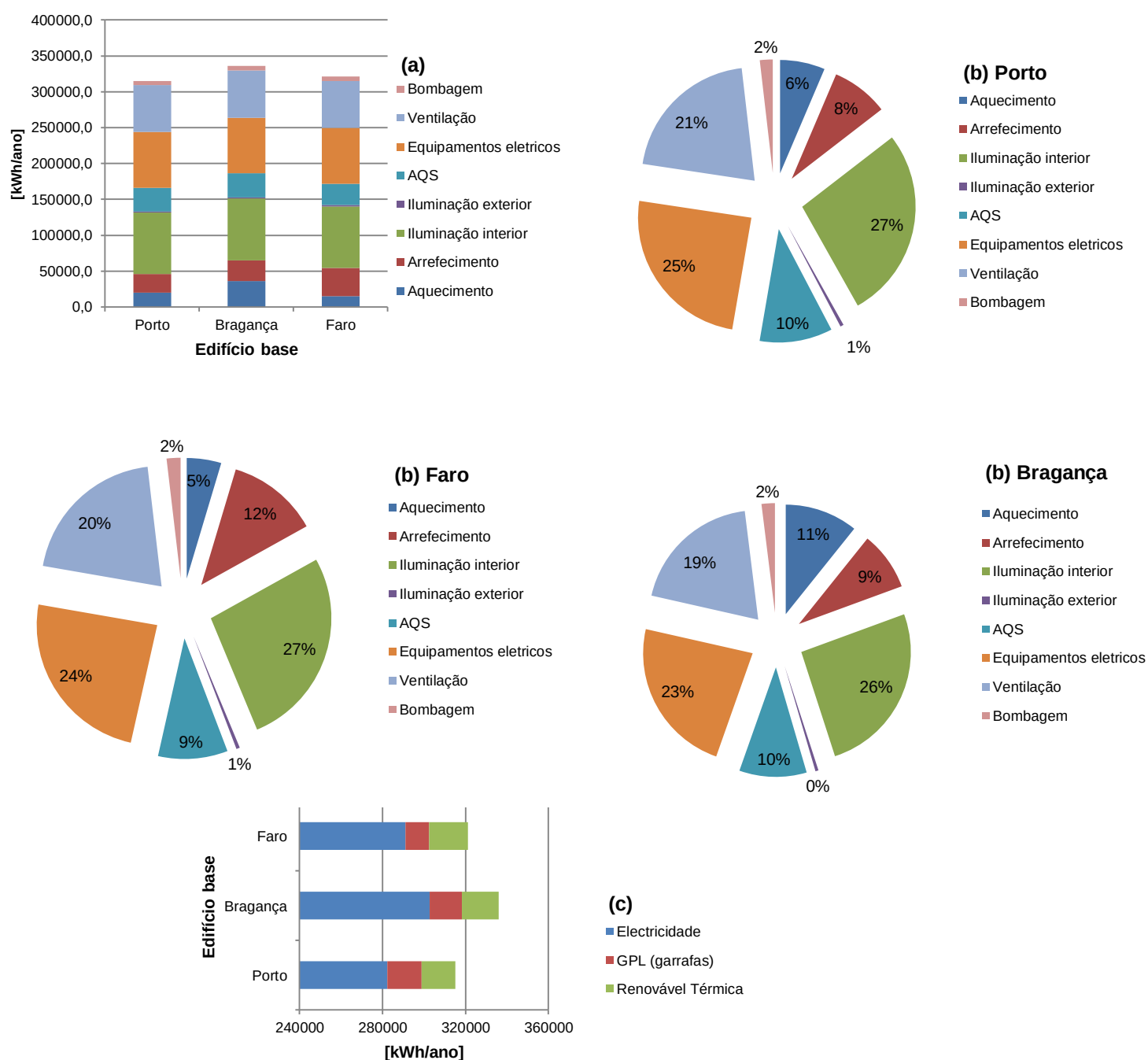


Figura 45 – Consumo anual de energia final: (a) por uso, (b) estrutura de uso em [%] e (c) consumo por fonte de energia

É notório o peso dos consumos associados à iluminação interior, equipamentos elétricos e ventilação no consumo global do edifício nos três climas, como se pode verificar pela figura 45a e 45b. Nota-se como seria de espera, o maior consumo afeto ao aquecimento em Bragança e o maior consumo de arrefecimento em Faro. De notar que, na figura 45a o consumo de águas quentes sanitárias (AQS) engloba a energia associada ao solar térmico, que por sua vez, representa 50% do consumo global de energia final em AQS no Porto, contrastando com o peso de 62% em Faro e 53% em Bragança. Importa ainda destacar, pela figura 45c, o elevado peso da eletricidade para satisfazer a procura, derivado também do *chiller*/bomba de calor que satisfaz a energia útil dedicada às necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente. O propano encontra-se associado ao consumo final do uso AQS, sendo o restante associado a energia solar térmica, que é mais expressiva, evidentemente em Faro.

Sendo um edifício de serviços, existe menor exposição às condições exteriores através da envolvente, e portanto menor dependência do clima; em contrapartida, existe mais expressão das cargas internas. Pelas figuras acima é evidente que a redução da procura da energia deve-se centrar na redução das cargas internas, nomeadamente, no consumo do sistema de iluminação interior, equipamentos elétricos e redução da carga associada ao ar novo. No entanto, o estudo em análise vai-se centrar apenas nos consumos de energia denominados “regulados”, que no caso particular do presente trabalho, são os consumos associados às seguintes funções: aquecimento e arrefecimento ambiente; ventilação e bombagem dos sistemas de climatização; aquecimento de águas sanitárias e iluminação interior. E serão referenciados como consumos de energia, por vetor energético i (incluindo fontes de energia renovável), para os usos tipo “S”. Todos os restantes equipamentos encontram-se incluídos nos consumos denominados “não regulados” e serão referenciados como consumos de energia, por vetor energético i (incluindo fontes de energia renovável), para os usos tipo “T”.

5.8.2 Indicador de Eficiência Energética previsto (IEE_{pr})

O indicador de eficiência energética previsto (IEE_{pr}), procura estimar o consumo anual de energia do edifício com base na localização do mesmo, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício. No âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), ao abrigo da Portaria 349-D/2013, este indicador é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, tendo por base a seguinte expressão geral:

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,REN} \quad (5.1)$$

onde:

$IEE_{pr,S}$	Consumo anual de energia primária regulado, $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}}\right]$	$IEE_{pr,S} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (5.2)$
$IEE_{pr,T}$	Consumo anual de energia primária não regulado $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}}\right]$	$IEE_{pr,T} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (5.3)$
$IEE_{pr,REN}$	Produção de energia elétrica e térmica de fontes renováveis e destinada ao autoconsumo, $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}}\right]$	$IEE_{pr,REN} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{REN,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (5.4)$

em que:

A_{pav}	Área útil de pavimento do edifício, [m^2]
E_i	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo S ($E_{S,i}$), ou tipo T ($E_{T,i}$) e produção de energia elétrica e térmica por fonte renovável i , destinada ao edifício ($E_{REN,i}$), expresso em [kWh/ano]
$F_{pu,i}$ ¹³	Fator de conversão de energia final para energia primária, por fonte de energia i , que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia, $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$

Importa realçar que o consumo de energia primária “regulado” (IEE_S) no âmbito do SCE é contabilizado para efeito de cálculo da classificação energética do edifício, ao passo que o “não regulado” (IEE_T), não é considerado para efeitos de cálculo na classificação energética. Nesta concordância e em linha com a EPDB reformulada, a expressão geral do índice de eficiência energética previsto no âmbito deste trabalho, na tentativa de aproximação do balanço energético quase nulo, vai tomar também a seguinte expressão “técnica”:

$$IEE_{pr(1)} = IEE_{pr,S} - IEE_{pr,REN} \quad (5.5)$$

Importa agora explicar a metodologia de avaliação da eficiência energética. Assim, no que diz respeito às parcelas relativas aos usos regulados, de aquecimento/arrefecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias, incluídas no termo IEE_S , foram calculadas de acordo com a seguinte expressão:

$$E_{S,i} = \left[\sum_{n=ns} \left(\sum_k \frac{f_{n,k} \cdot Q_n}{\eta_{n,k}} \right) \right]_i \quad (5.6)$$

em que:

$E_{S,i}$	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo S ($E_{S,i}$), [kWh/ano]
Q_n	Necessidades de energia para o uso n , [kWh/ano]
$f_{n,k}$	Fração das necessidades de energia para o uso n , suprimidas pelo sistema k
$\eta_{n,k}$	Eficiência do sistema k , servindo o uso n
i	Fonte de energia, incluindo as de origem renovável

Sendo que, no caso do aquecimento e arrefecimento ambiente, o cálculo foi realizado mediante a simulação dinâmica com base no uso da informação da curva de eficiência do sistema de produção de energia térmica em função da carga, assim sendo:

$$W_n = \left(\sum_k \frac{f_{n,k} \cdot Q_n}{\eta_{n,k}} \right) \quad (5.7)$$

em que:

¹³ No âmbito deste trabalho foram usados os fatores de conversão do despacho 15793-D/2013. $F_{pu} = 2,5$ kWh_{EP}/kWh para eletricidade, independente da origem renovável ou não renovável. $F_{pu} = 1$ kWh_{EP}/kWh para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis. No caso de energia térmica de origem renovável, o fator F_{pu} toma o valor 1 kWh_{EP}/kWh.

W_n Representa o consumo de energia para o uso n , expresso em $[kWh/ano]$

No que respeita aos outros consumos de energia do tipo “S” (iluminação interior, bombagem e ventilação afeta aos sistemas de climatização) e tipo “T” (equipamentos elétricos alocados aos vários espaços), foram também obtidos diretamente da simulação dinâmica realizada com HAPv4.8.

As necessidades de energia para a preparação de AQS foram calculadas pelo programa *Solterm 5.1* em que $Q_n = Q_a$, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{(C_{aqs} \cdot \rho_{\text{água}} \cdot c_{p\text{água}} \cdot \Delta T)}{3600} \quad (5.8)$$

em que:

Q_a Necessidades de energia para a preparação de AQS, $[kWh/ano]$

C_{aqs} Consumo anual de AQS, $[l/ano]$

$c_{p\text{água}}$ Calor específico da água, $C_p = 4,187 [kJ/kg \cdot ^\circ C]$

$\rho_{\text{água}}$ Massa volúmica da água, $\rho_{\text{água}} = 1 [kg/l]$

ΔT Aumento de temperatura necessário para AQS, $[^\circ C]$

Na figura 46a visualiza-se os indicadores de desempenho energético do edifício base, expressos em energia final para os consumos tipo S nos três climas do estudo e na figura 46b o indicador de eficiência energética pela diferença entre o indicador dos consumos tipo S e o indicador de eficiência energética renovável. Na tabela 12 apresenta-se os principais indicadores, bem como o cálculo do IEE sem consumos não regulados, tipo T. Na tabela 11 evidencia-se os dados climáticos das zonas climáticas do estudo.

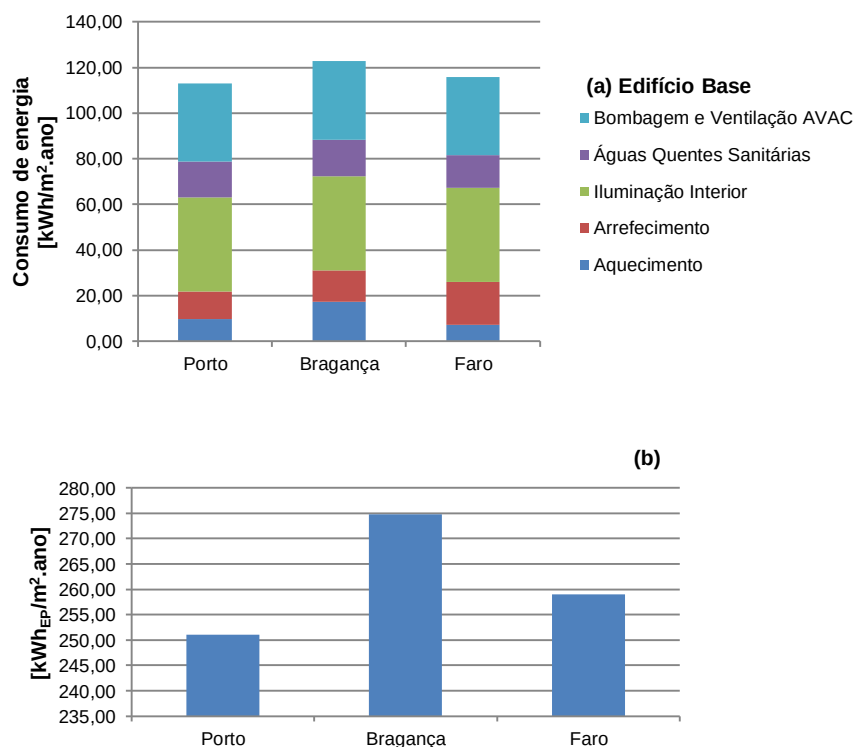


Figura 46 – (a) Desempenho energético por uso tipo S e (b) IEE_{pr s/ equipamentos elétricos}

Município:	Porto	Bragança	Faro
Altitude [m]:	94	680	145
Zona climática Verão e Inverno	V2 - I1	V2 - I3	V3 - I1
Estação de aquecimento			
Período [meses]:	6,2	7,3	4,8
Temperatura média exterior [°C]:	9,9	5,5	11,3
Graus-dia [18°C]:	1250	2015	987
Estação de arrefecimento			
Temperatura média exterior [°C]:	20,9	21,5	23,1

Tabela 11 – Dados climáticos das três zonas

Edifício base				
Indicadores de Desempenho		Porto	Bragança	Faro
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	17,31	7,11
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	13,91	18,90
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,99	14,35
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,20	41,20	41,20
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	34,52	34,22
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T				
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	43,28	17,78
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	34,78	47,25
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,99	14,35
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103,00	103,00	103,00
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,30	86,30	85,55
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-8,5	-8,9
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-	-	-
IEEs – IEEren		250,99	274,84	259,03
Emissões de CO₂*¹⁴		76,5	83,62	78,7

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 12 – Resumo dos principais indicadores e IEE sem consumos tipo T

5.9 Medidas de eficiência energética e produção de energia local

Pretende-se realizar estudos paramétricos no cenário base, através dos dois eixos de atuação - eficiência energética/produção local, de forma a identificar soluções que visem otimizar o desempenho energético do edifício, no sentido de atingir a meta pretendida de balanço energético quase nulo. Do lado da procura de energia, os estudos têm incidência, na redução das necessidades de energia por intervenção na envolvente térmica, otimização dos consumos nos sistemas de climatização e preparação de AQS e otimização do sistema de iluminação. Do lado da oferta, aumento da utilização de energia renovável no edifício, através da implementação de sistemas produção local de energia renovável (térmica e elétrica) para autoconsumo. Posteriormente, são avaliadas as intervenções de maior impacto nZEB nos climas de Bragança e Faro. Assim, no trabalho foi avaliada a possibilidade de implementar as soluções de acordo com a tabela 13. De notar que, as cores representam medidas incidentes em diferentes setores de atuação.

¹⁴ Na determinação das emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia, os fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ estão de acordo com a portaria 15793-D/2013. Eletricidade - 0,144 kgCO₂/kWh_{EP}; GPL - 0,170 kgCO₂/kWh_{EP}; Renovável - 0 kgCO₂/kWh_{EP}.

Ref.	Análises Paramétricas (AP)
Base	Solução Base: Chiller/BC (COP - 3,16 EER - 2,84) ; caldeira a GPL (rendimento 90% a 100% da carga) para AQS
AP1	Instalações de proteção solar: Proteção Móvel Exterior 100% ativa, $g_T = 0,04$ (área intervencionada 91,63 m ²)
AP2	Substituição de vãos: V.Env. PVC Uw = 1,86 gLvidro = 0,24 (área intervencionada 297 m ²)
AP3	Substituição de vãos: V. Env. CM RT Uw = 2,46 gLvidro = 0,24 (área intervencionada 297 m ²)
AP4	Substituição de vãos: V. Env. PVC Uw = 1,86 gLvidro = 0,57 + $g_T = 0,09$ quadrante Sul
AP7	Lajeta Térmica 40 mm de XPS (cobertura exterior - CobExt área intervencionada 1140 m ²)
AP8	Infiltrações e Ventilação Noturna 3 Rph
AP9	Otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC: Aquecimento – mesmo set-point de 20 °C Arrefecimento – set-point 26 °C
AP11	Eficiência do sistema energético – Ch/BC (Temperatura Variável no evaporador Tida de 7 °C a 15 °C)
AP12	Recuperação de calor mais eficiente nas UTANs; ventiladores mais eficientes e ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços
AP13	Substituição das lâmpadas atuais e instalação de LED's para Iluminação
AP14	Recuperação de calor mais eficiente nas UTANs; ventiladores mais eficientes e ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização; instalação de LED's para Iluminação
AP15	Proteção móvel exterior no quadrante Sul ($g_T = 0,09$); recuperação de calor mais eficiente; ventiladores mais eficientes e ajuste da ventilação às necessidades; instalação de LED's; ajuste do set-point e temperatura de saída de água variável no evaporador do Ch/BC (Verão)
AP16	AP15 com reformulação do sistema de Ventilação: ajuste do caudal de ar novo/caudal de exaustão
AP17	AP16 e caldeira de condensação (eficiência = 97,4%) para preparação de AQS e aumento da fração solar do sistema térmico (ST)
AP18	AP16 e caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS e aumento da fração solar do sistema térmico (ST)
AP19	AP16 e Bomba de calor (SCOP - 3,64) para preparação de AQS e aumento da fração solar do ST
AP20	AP16 e Ch/BC mais eficiente (EER - 3,23 e COP - 3,67) para climatização e caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS com aumento da fração solar do ST
AP21	AP16 e Chiller com EER - 2,84 para arrefecimento e caldeira a biomassa para aquecimento e preparação de AQS (eficiência = 90%) com aumento da fração solar do ST
AP22	AP16 com Chiller/BC com aproveitamento geotérmico de baixa entalpia (COP - 5,59 W25°C/W10°C EER - 6,09 W10°C/W 40°C) e com caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS com aumento da fração solar do ST
AP23	AP16 Ch/BC (COP - 3,16 EER - 2,84) e caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS, com aumento da fração solar do ST e produção local de energia PV's
AP24	AP16 com Chiller (EER - 2,84) e caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para Aquecimento e AQS com aumento da fração solar do ST e produção local de energia PV's
AP25	AP16 com Ch/BC mais eficiente (EER - 3,23 COP - 3,67) para climatização, caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS, aumento da fração solar do ST e produção local de energia PV's
AP26	AP16 com Chiller/BC com aproveitamento geotérmico de baixa entalpia (COP - 5,59 W25°C/W10°C EER - 6,09 W10°C/W 40°C) e com caldeira a biomassa (eficiência = 90%) para preparação de AQS, aumento da fração solar do ST e produção local de energia PV's

Tabela 13 – Análises paramétricas realizadas no edifício base

Importa antes de passar ao detalhe das medidas de eficiência energética, demonstrar o quadro geral relativamente ao impacto de cada uma delas em termos de consumo de energia quando comparadas com o cenário base. As medidas de melhoria estudadas são singulares e/ou combinadas; algumas seguiram na progressão de implementação, outras não. Dado que as medidas não são normalmente independentes, isto é, a implementação de uma medida afeta o cálculo do custo e do benefício de outras medidas, foi seguida uma prioridade de

implementação, estabelecida a sua sequência e realizado o cálculo do custo e do benefício de cada medida considerando o efeito das medidas já implementadas em fases anteriores.

Na figura 47 visualiza-se o consumo de cada análise parametrizada, na zona climática do Porto, independentemente de terem progredido ou não ao longo do processo da análise. A partir da análise paramétrica AP16, o estudo incidiu nos equipamentos produtores de energia térmica. As cores representam medidas associadas aos diferentes setores de atuação.

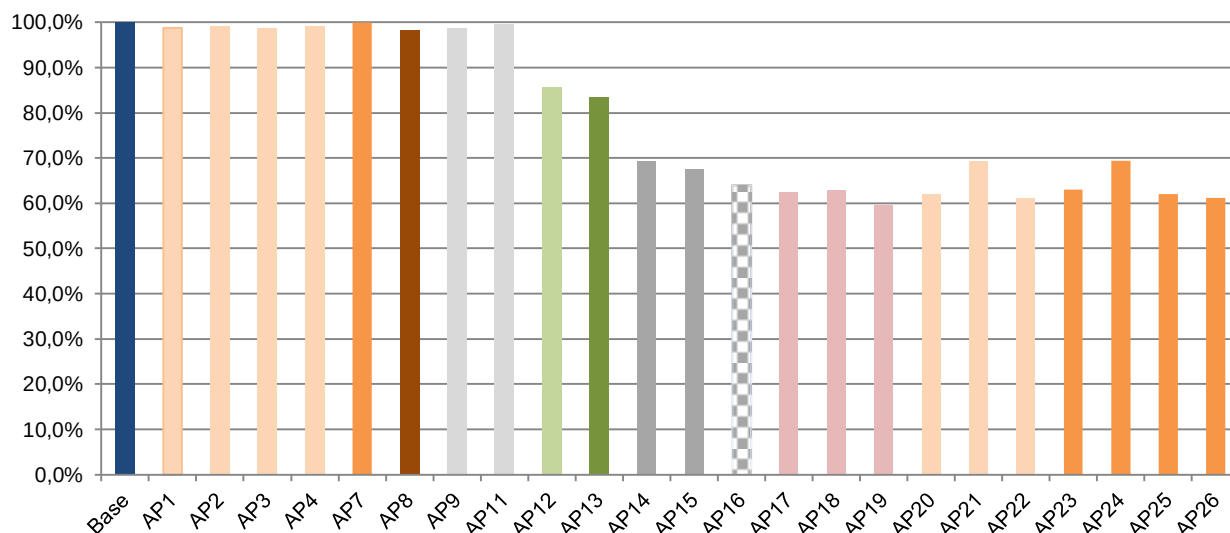


Figura 47 – Consumo de energia de cada análise medida em percentagem [%]

Deve ser dada prioridade à implementação de medidas que incidem sobre aspetos a montante do sistema de climatização, isto é, medidas cuja implementação provoca uma redução do consumo de energia no próprio setor mas também, indiretamente, no sistema de climatização devido à redução da carga térmica (ganho ou perdas de calor) que provocam. A seguir caracterizam-se os estudos paramétricos realizados. No anexo A.4 apresentam-se os balanços energéticos, por forma de energia, de todas as análises paramétricas realizadas.

5.9.1 Envolvente térmica

Envolvente não opaca: vãos envidraçados

No âmbito da envolvente não opaca (vãos envidraçados), avaliou-se a instalação de dispositivos de controlo solar dos vãos a Sul que se encontram sem qualquer proteção (vão tipo VD SP). Na figura 48 pode-se visualizar o comportamento do consumo energético do edifício, durante a estação de arrefecimento, através de quatro opções simuladas, entre implementação de películas de controlo solar (AP6 – fator solar = 0,3 e AP5 – fator solar = 0,45) e instalação de dispositivos de proteção solar exterior móveis, AP1 ($g_T = 0,04$ e $g_T = 0,09$). É visível que o melhor comportamento energético é centrado na medida AP1, razão pela qual as opções AP5 e AP6, não se encontram na tabela 13 e figura 47.

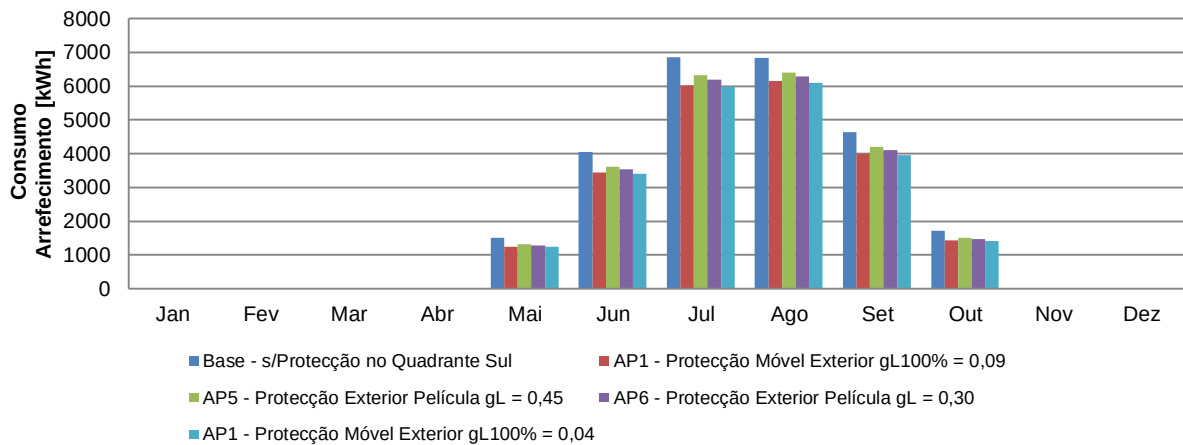


Figura 48 – Comportamento de dispositivos de controlo solar no Verão

Contudo, a economia de energia da implementação desta medida de modo singular é apenas de 1,2 % e não tem visibilidade económica como posterior será demonstrado.

Adicionalmente, por uma questão de demonstração, foi avaliado o impacto da substituição dos vãos envidraçados existentes (indicados na caracterização da envolvente) no comportamento energético do edifício. Assim, foram analisados os seguintes vãos em termos de qualidade térmica e controlo solar:

- AP2: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia em PVC, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, fator solar ($g_{l,v}$) de 0,24 sem qualquer dispositivo de proteção solar e coeficiente de transmissão do conjunto (U_w) de 1,86 [W/(m².°C)].
- AP3: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio com corte térmico, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, fator solar ($g_{l,v}$) de 0,24 sem qualquer dispositivo de proteção solar e coeficiente de transmissão do conjunto (U_w) de 2,46 [W/(m².°C)].
- AP4: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia em PVC, com vidro duplo incolor 6mm + 6mm com lâmina de ar de 10 mm, fator solar ($g_{l,v}$) de 0,57 com estore veneziano pelo exterior, (g_T) = 0,07, no quadrante Sul e coeficiente de transmissão do conjunto (U_w) de 1,86 [W/(m².°C)].

Na figura 49 verifica-se que o comportamento das várias opções é similar ao cenário base, durante a estação de aquecimento. Durante a estação de arrefecimento existe um maior destaque das medidas de eficiência energética face ao cenário base, com maior expressão para as medidas AP2 e AP3. Em termos de economia de energia global a visibilidade é muito reduzida, com AP2 a representar 0,9%, AP3, 1,3% e AP4, 0,8%. Estas medidas não apresentam qualquer viabilidade económica.

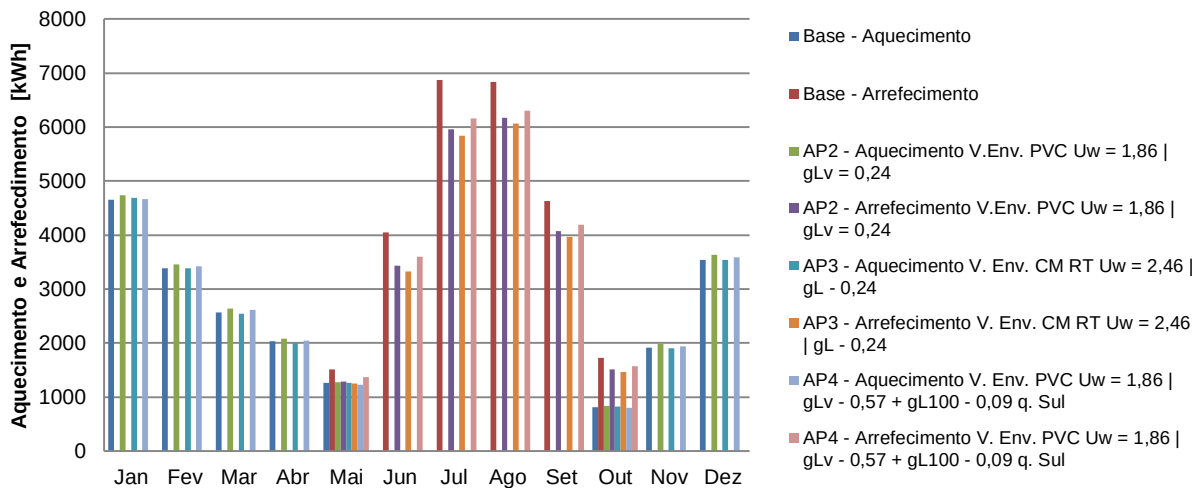


Figura 49 – Comportamento de diferentes vãos envidraçados no consumo energético

Envoltivo opaca: Cobertura exterior

No que respeita á envoltivo opaca, igualmente por uma questão de demonstração, foi avaliada a possibilidade de aumentar o isolamento térmico na cobertura exterior (cob_Ext), através de aplicação de lajetas térmicas com 40 mm de espessura de placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) sobre a laje da cobertura. O valor do coeficiente de transmissão térmica da cobertura horizontal (U) passou de 0,4 para 0,29 W/(m².°C). Esta medida, referenciada como AP7, não apresenta qualquer benefício energético no edifício em estudo. Na figura 50 constata-se que não existe qualquer alteração do comportamento energético do edifício com a aplicação desta medida.

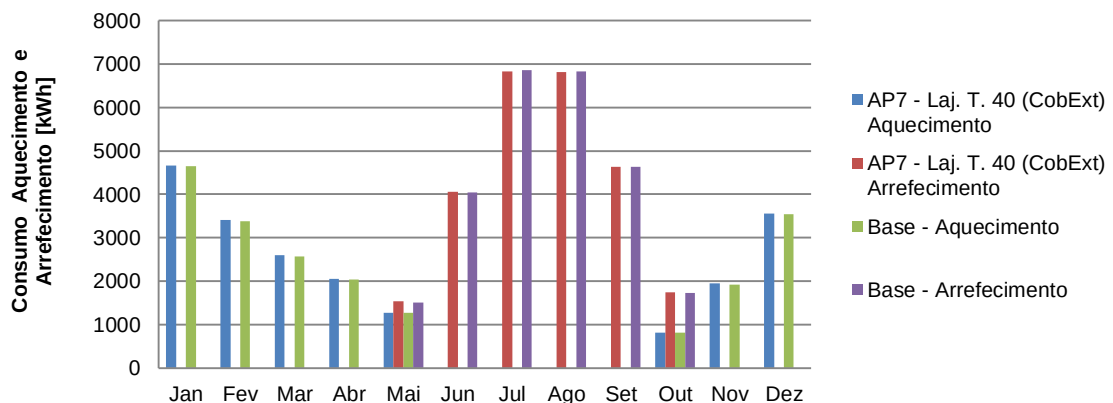


Figura 50 – Comparação da alteração da cobertura no consumo energético

Na perspetiva global, na figura 51a pode-se visualizar que as medidas analisadas não têm qualquer impacto face ao cenário base. De referir que, apenas se encontra identificado o uso de arrefecimento e aquecimento onde existiu efetivamente intervenção. Na figura 51b e na tabela 14, pode-se comprovar que o indicador de eficiência energética (sem consumos tipo T) das medidas realizadas também não tem praticamente impacto face ao cenário base.

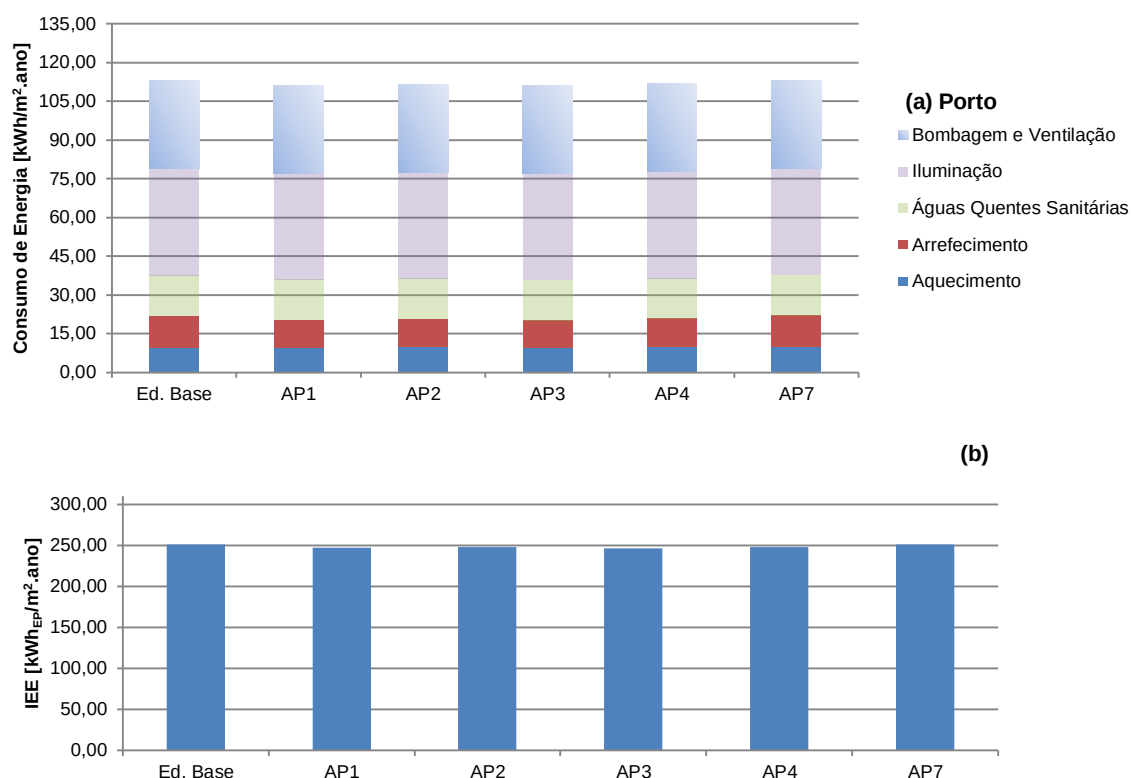


Figura 51 – (a) Indicadores de desempenho AP1 – AP7 e (b) IEE sem consumos do tipo T

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4	AP7
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	9,66	9,89	9,65	9,73	9,73
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	10,58	10,74	10,49	11,09	12,26
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	34,12	34,12	34,12	34,12	34,12
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T							
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	24,16	24,71	24,13	24,32	24,32
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	26,45	26,84	26,23	27,74	30,66
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103	103	103	103	103	103
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3	85,3
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]						
IEEs – IEEren	[kWh_{EP}/m².ano]	250,99	246,78	247,72	246,53	248,22	251,15
Emissões de CO₂*	[ton/ano]	76,5	75,2	75,5	75,1	75,7	76,5

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 14 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP1 - AP7

5.9.2 Influência das infiltrações e ventilação noturna

Foi avaliada a possibilidade da integração de aberturas reguláveis nas fachadas e na parte superior do edifício de modo a permitir um varrimento de parte dos diferentes espaços do edifício, por exemplo, corredores e circulações comuns. O ar junto a uma fachada em que

esteja a incidir o vento estará a uma pressão superior à das restantes fachadas. Se o ar interior não estiver pressurizado, a pressão do ar interior será menor que a pressão do ar exterior junto a essa fachada e o ar entrará através das aberturas reguláveis. Por outro lado, o aquecimento do ar interior, devido à libertação das cargas internas, faz com que a temperatura do ar tenha tendência a subir. Caso existam espaços para o livre escoamento, este irá deslocar-se para as zonas mais elevadas criando uma depressão nos locais onde saiu. O ar aquecido é assim extraído pelas aberturas da parte superior enquanto ar renovado entra através dos dispositivos das fachadas. Obtendo-se assim a ventilação natural por efeito chaminé. As infiltrações de ar introduzem cargas térmicas de calor sensível e calor latente, que no inverno são em geral prejudiciais, no entanto a meia estação ou durante a noite em períodos de arrefecimento poderão ser benéficas, removendo a carga interna.

De forma, a simular a possibilidade de ventilação noturna considerou-se duas taxas de renovação de 2 h^{-1} e de 3 h^{-1} , quando não existe ocupação em determinadas zonas do edifício, ou seja, quando o sistema de climatização se encontra desligado. O HAP permite a definição do período no qual existem infiltrações de ar devido à inoperância dos sistemas de climatização (caso estejam em sobrepressão). Na figura 52 pode-se visualizar as vantagens da utilização desta solução. Esta medida referenciada como AP8, apresenta uma economia de energia global de 1,6% quando comparada com o cenário base.

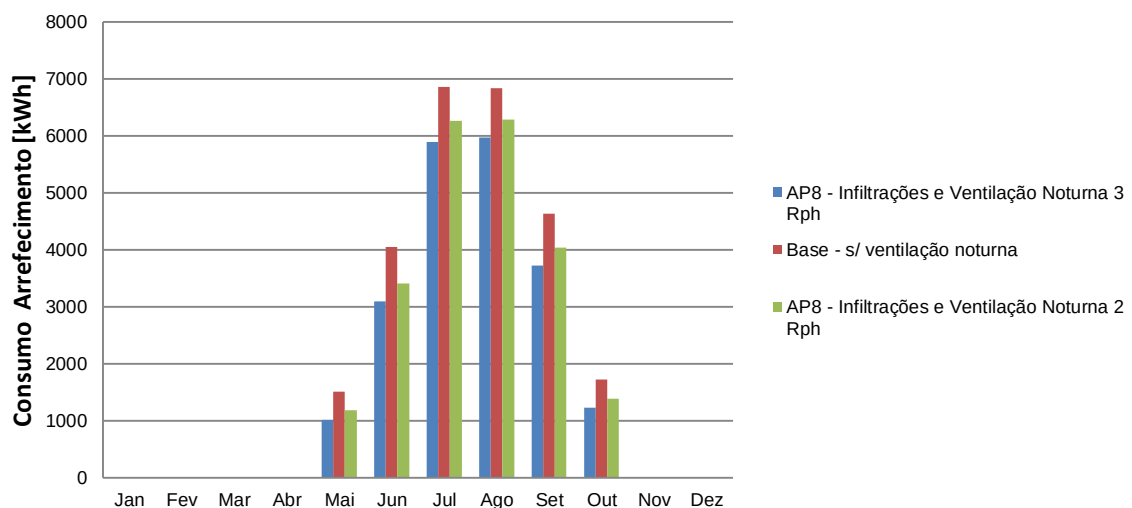


Figura 52 – Influencia da ventilação noturna

5.9.3 Otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC

Adequação de set-points de temperatura

Neste âmbito, foi avaliado diferentes set-points de temperatura para garantir as condições de conforto térmico interiores e analisado o seu impacto no consumo energético do edifício. Para o efeito seguiu-se as considerações da norma EN 15251, relativas à gama de temperaturas para ambientes interiores em função do espaço e tipo de atividade. Para o período de aquecimento considerou-se a regulação do set-point para 20°C , 21°C e 22°C . No período de arrefecimento a regulação do set-point considerada foi de 24°C , 25°C e 26°C . Os resultados demonstram que, o aumento de 2°C da temperatura do ar interior na estação de aquecimento, representa um acréscimo de 17% da utilização de energia para aquecimento. Por outro lado, um aumento de 1°C na temperatura do ar interior durante a estação de arrefecimento representa uma redução de 16% na utilização da energia para arrefecimento (figura 53). Assim, deve existir uma utilização dos set-points moderada, com a possibilidade do seu

reajuste para valores mais altos nos períodos de arrefecimento e para valores mais baixos nos períodos de aquecimento. A solução AP9 (Inverno, 20°C; Verão 26°C em vez de 25°C), representa uma economia de energia global de 1,4% quando comparada com o cenário base.

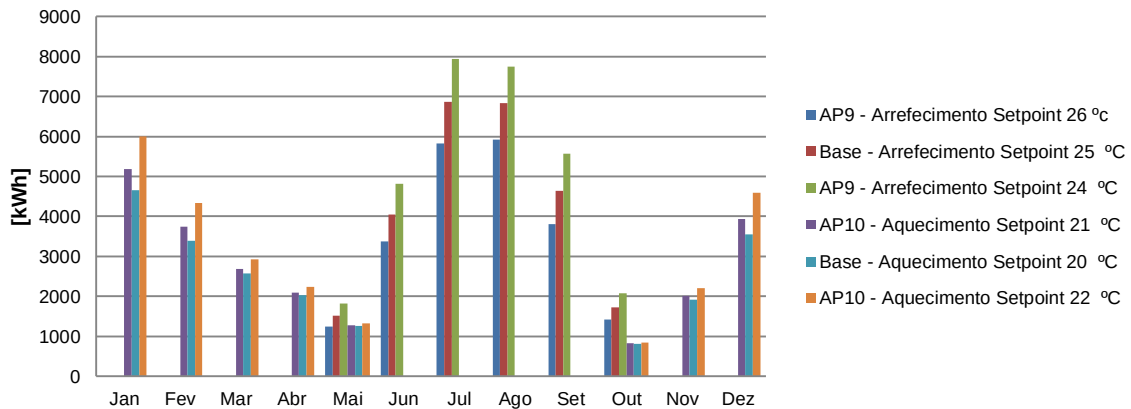
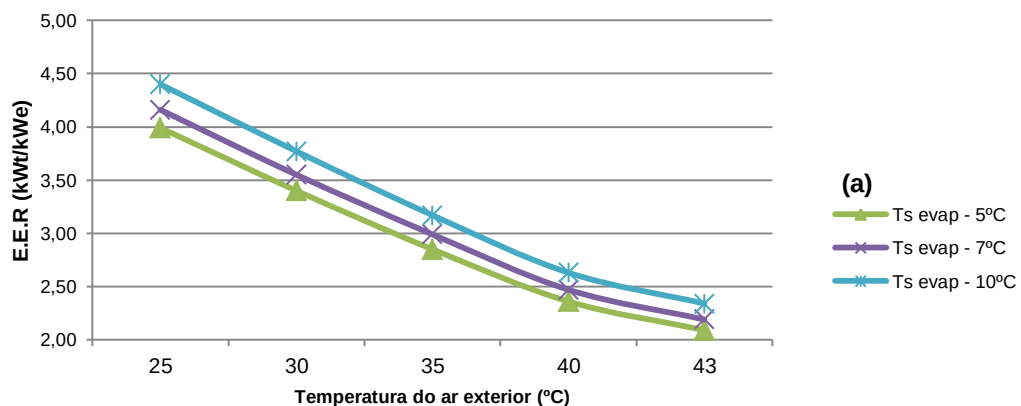


Figura 53 – Efeito da temperatura interior na energia utiliza no edifício

Otimização do set-point da temperatura de água refrigerada do Ch/BC

A eficiência energética do *chiller* diminui significativamente quando se diminui a temperatura da água refrigerada produzida (figura 54a), pelo que a temperatura de saída de água no evaporador do *chiller* deve ser a mais elevada possível. Os níveis de eficiência mais elevados são conseguidos com baixas temperatura de condensação e elevadas temperaturas de evaporação. Ao reduzir a temperatura de condensação e por conseguinte a pressão do condensador no modo de arrefecimento, permite-se a redução do rácio de compressão, quando a temperatura ambiente é baixa, reduzindo-se o consumo e aumentando a eficiência do equipamento. Isto também é aplicável quando a temperatura de evaporação aumenta, no caso do funcionamento em bomba de calor, para aquecimento do circuito de água quente. A eficiência energética da bomba de calor diminui quando se aumenta a temperatura de condensação (figura 54b), pelo que a temperatura de condensação deve ser a mais baixa possível.



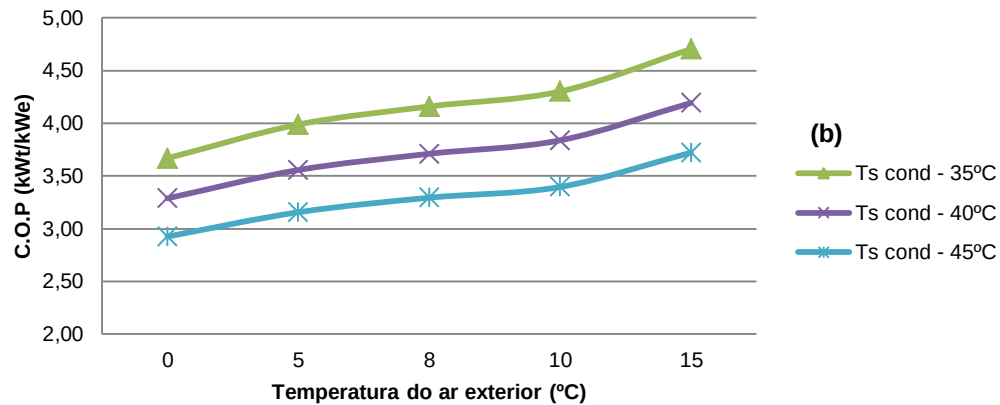


Figura 54 – (a) EER vs. Temperatura exterior do Ch/BC do edifício (b) COP vs. Temperatura exterior do Ch/BC do edifício

Nesta conformidade, na medida AP11 parametrizou-se para o modo de arrefecimento uma temperatura variável no circuito de água refrigerada: $T_{ida \text{ variável}} = 7^{\circ}\text{C}$ a 15°C . Na figura 55, denota-se uma redução de consumo energia para arrefecimento de 4%, contudo o seu impacto global de económica de energia é apenas 0,3%.

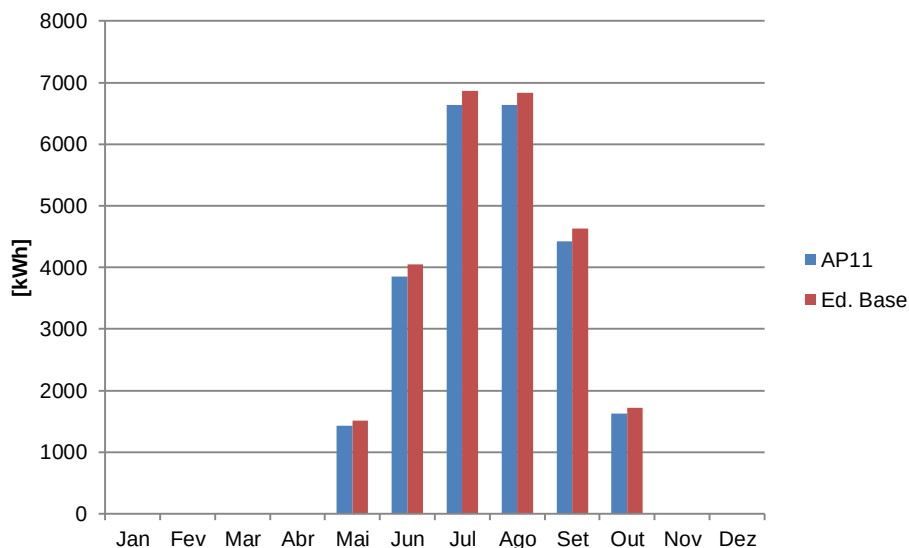


Figura 55 – Otimização do set-point da temperatura de evaporação do Ch/BC

No cenário global destes dois setores de atuação (infiltrações, ventilação noturna e otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de climatização) na figura 56a pode-se visualizar um impacto praticamente sem expressão relativamente ao quadro base das medidas estudadas. De referir que, apenas se encontra identificado os usos de arrefecimento e aquecimento onde existiu efetivamente intervenção. Na figura 56b e na tabela 15, pode-se comprovar que o indicador de eficiência energética (sem consumos tipo T) também não tem praticamente impacto face ao cenário base. Importa referir, que este impacto continua reduzido porque ainda não se interveio nas cargas internas, as maiores responsáveis pelo consumo do edifício. Contudo, as análises AP9 e AP11 representam um retorno imediato, uma vez que os custos de implementação são nulos, justificando por essa razão a sua aplicação.

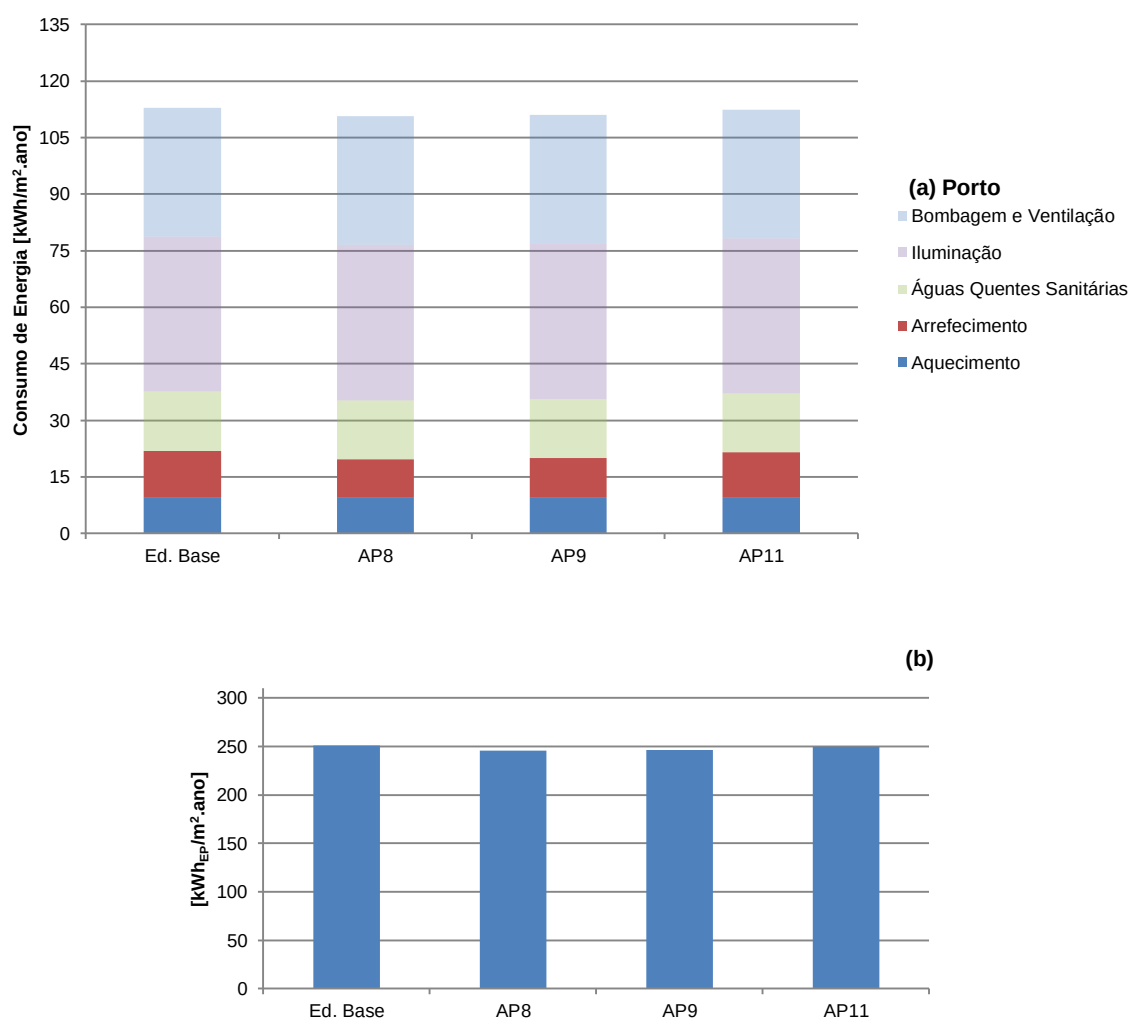


Figura 56 – (a) Indicadores de desempenho AP8 – AP11 e (b) IEE sem consumos do tipo T

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP8	AP9	AP11
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	9,66	9,66	9,66
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	10,01	10,34	11,77
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,2	41,2	41,2	41,2
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	34,12	34,12	34,12
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T					
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	24,16	24,15	24,16
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	25,03	25,84	29,44
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103	103	103	103
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,3	85,3	85,3	85,3
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]				
IEEs – IEEren	[kWh_{EP}/m².ano]	250,99	245,36	246,16	249,77
Emissões de CO₂*	[ton/ano]	76,5	74,8	75	76,1

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 15 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP8 - AP11

5.9.4 Eficiência do sistema de tratamento e distribuição da rede do ar

Nesta parametrização, designada por AP12, procurou-se simular a combinação de três estratégias de eficiência energética em simultâneo, nomeadamente:

- Avaliação do aumento da eficiência do sistema de recuperação de calor. Nesta análise, optou-se por manter os recuperadores de placas de fluxos cruzados para realizar a recuperação de calor sensível da extração do ar para a insuflação, devido a não ser necessário recuperar humidade. Para o efeito foram recalculadas novas UTANs;
- Avaliação da seleção de ventiladores mais eficientes, através da seleção de ventiladores com consumo específico de classe SFP2, segundo a norma EN 13779. Para o efeito foram recalculadas novas UTANs;
- Reajuste da instalação para o sistema de ventilação funcionar em função das necessidades de utilização dos espaços (*demand controlled ventilation*, DCV). As necessidades de ar novo serão controladas em função do principal indicador da qualidade do ar interior, nomeadamente a presença de CO₂. O caudal de ar novo irá variar em função da concentração de CO₂ medida pelos sensores de CO₂ instalados na conduta de retorno nos diferentes espaços interiores, ou outro esquema de controlo eficaz. Na parametrização deste indicador na simulação energética, utilizou-se a portaria 353-A/2013, fixando a concentração exterior de CO₂ a 390 ppm e a concentração máxima no interior de 1250 ppm.

Pela análise da figura 57 verifica-se uma redução expressiva nos consumos de energia do edifício. O maior impacto nos consumos, como seria de esperar, vai para o sistema de ventilação, inicialmente a ventilação representava um peso relativo de 21% no consumo do edifício, com esta estratégia a ventilação absorve apenas 13% do consumo final de energia. Em termos globais, representa uma economia de energia de 14,3% face ao cenário base. De referir que na figura abaixo apenas se representam os consumos regulados, tipo S.

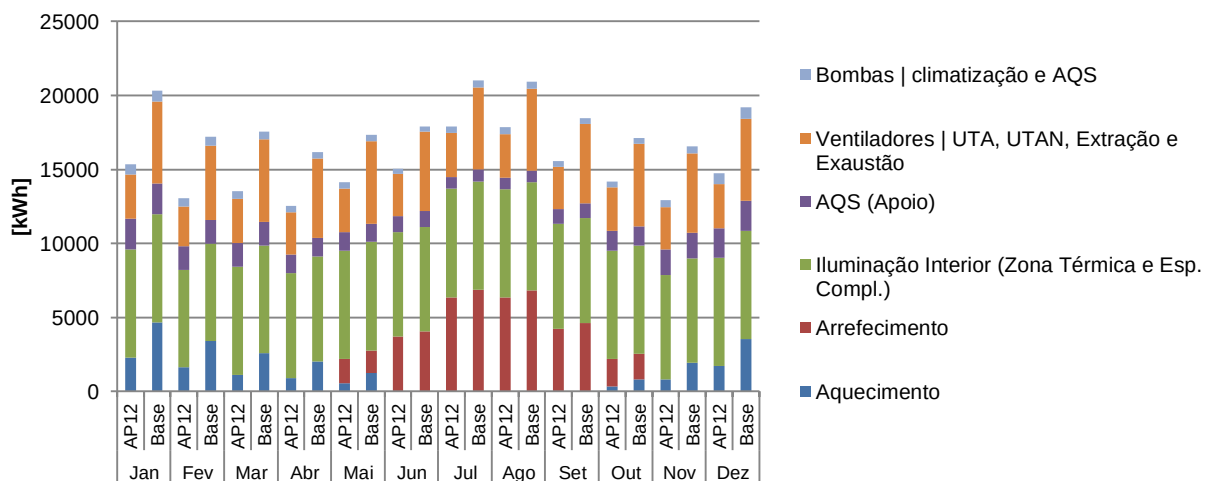


Figura 57 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP12

5.9.5 Otimização dos consumos energéticos associados à iluminação

No que se refere a iluminação, inicialmente o edifício apresentava uma densidade de 9,1 W/m², com a substituição das lâmpadas existentes pela aplicação de LED's, intervenção designada AP13, reduziu-se para uma densidade 4,15 W/m². No entanto, não basta reduzir a iluminação só à componente energética; para tal, foi assegurada a manutenção dos níveis de iluminação, a qualidade de luz gerada e níveis de uniformidade e controlo do encandeamento,

conforme o projeto inicial de iluminação. A otimização dos consumos associados à iluminação levou a uma redução de 55% deste setor e a uma economia de energia global no edifício de cerca 17%. A figura 58 compara a estrutura de consumos base com a nova estrutura, após aplicação desta medida.

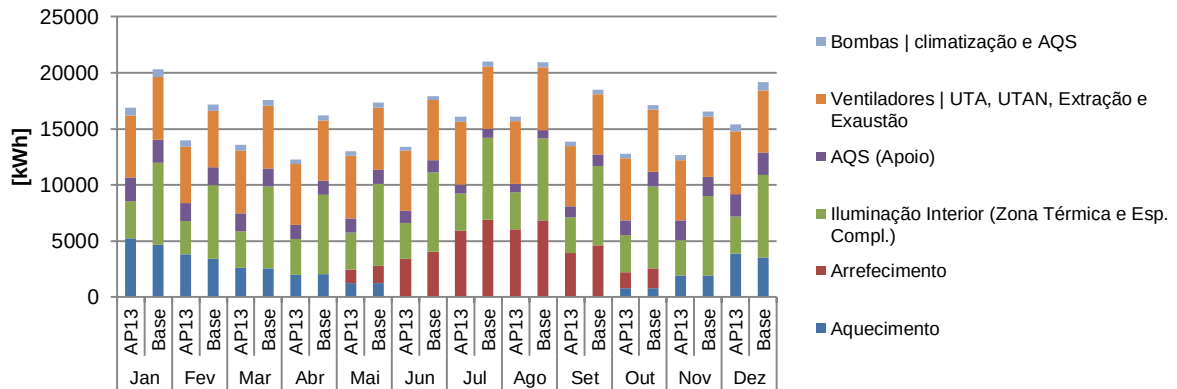


Figura 58 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP13

5.9.6 Conjugação de estratégias de eficiência energética e utilização de energias renováveis

Neste caso concreto, iniciou-se pela combinação da análise paramétrica AP12 com a AP13, ou seja, aumento da eficiência da recuperação de calor nas UTANs, ventiladores mais eficientes, ajuste dos níveis de ventilação em função das necessidades de utilização e instalação de LED's para Iluminação, designando-se AP14. Posteriormente, adicionou-se a AP1 com a instalação dos dispositivos de controlo solar dos vãos a Sul ($g_T = 0,09$) que se encontram sem qualquer proteção (vão tipo VD SP) e ainda, a utilização de temperatura variável no circuito de arrefecimento de água (AP11) e set-point da estação de arrefecimento regulado para 26°C (AP9), denominando-se análise paramétrica AP15. Nas figuras abaixo pode-se observar o seu impacto global face ao cenário base; a AP14 apresenta uma redução global no consumo de cerca 31% e a AP15 uma redução de 33%.

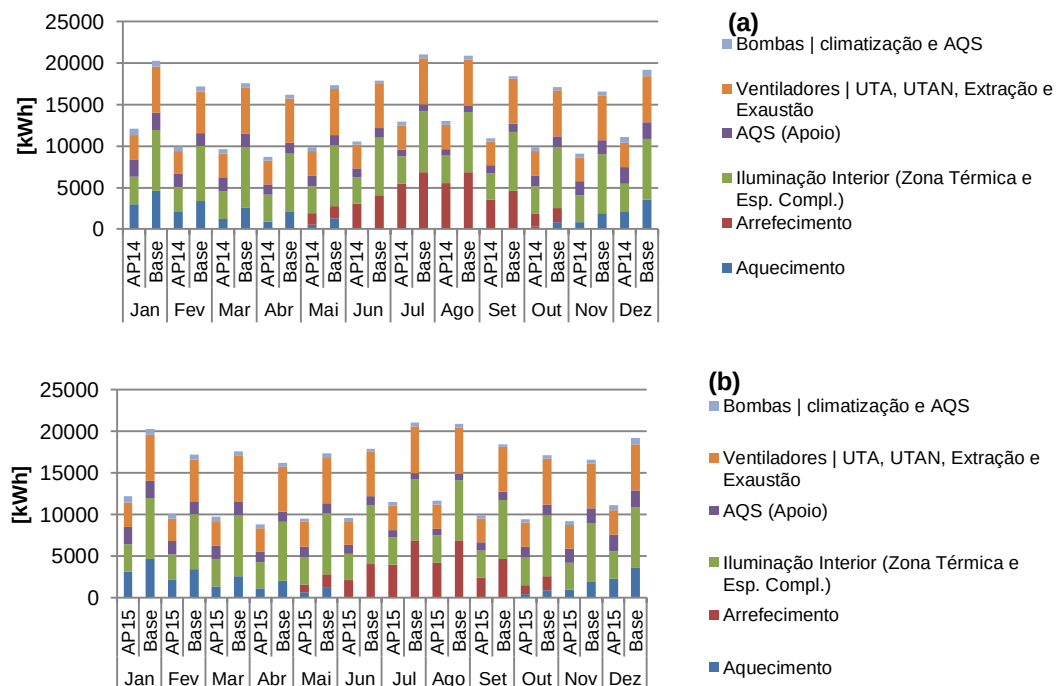


Figura 59 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com: (a) AP14 (b) AP15

Entretanto, no sentido de aumentar a eficiência energética no sistema de tratamento do ar novo, alterou-se a análise paramétrica AP15, reduzindo-se os caudais de insuflação das UTANs¹⁵, através da eliminação do caudal de ar novo dedicado às zonas dos corredores e circulações, uma vez que são espaços sem ocupação permanente. Adicionalmente, esta medida referenciada de AP16, permite um novo ajuste entre os caudais de extração e insuflação, promovendo o aumento da eficiência dos recuperadores de calor das UTANs. Na figura 60 pode-se avaliar, como exemplo, o impacto desta alteração no aumento da eficiência sensível do recuperador de calor da UTAN1 A, entretanto, novamente redimensionado.

Recuperador de Calor					
Código de Produto		HA1000-0805-037-2E00-2-0-2-0955			
Com By-pass e Registo Heatex					
INVERNO		Insuflação	Extracção		
	Perda de Carga	221,2	85,6	Pa	
	Temperatura do ar	1,90/11,16	20,00/5,15	°C	
	Humidade relativa do ar	80,0/42,3	50,0/100,0	%	
	Potência	17,753		kW	
	(a) Eficiência da Temperatura	51,2	82,0	%	
	Condensados	5,803		l/h	
-					
Recuperador de Calor					
Código de Produto		HA0850-0805-035-2E00-2-0-2-0955			
Com By-pass e Registo Heatex					
INVERNO		Insuflação	Extracção		
	Perda de Carga	188,4	123,7	Pa	
	Temperatura do ar	1,90/13,07	20,00/6,56	°C	
	Humidade relativa do ar	92,4/43,2	50,0/100,0	%	
	Potência	15,054		kW	
	(b) Eficiência da Temperatura	61,7	74,3	%	
	Condensados	3,961		l/h	
-					

Figura 60 – Comparação da eficiência sensível no recuperador de calor ar/ar: (a) RC UTAN1
(b) UTAN1 A

Por sua vez, a AP16 representa uma economia de energia de 36% no consumo global do edifício, respondendo assim à necessidade inicialmente identificada de redução das cargas internas, pela elevada dependência do consumo do edifício às mesmas. De ressaltar, que inicialmente o edifício apresentava uma carga térmica máxima de 102 kW na estação de arrefecimento e 110 kW para a estação de aquecimento, através da implementação progressiva das medidas anteriormente identificadas, a carga máxima para o período de arrefecimento passou para 69 kW e no período de aquecimento para 73 kW. Este apontamento é particularmente importante para as posteriores análises no lado da produção de energia térmica, aquando da seleção de equipamentos quer em termos energéticos quer em termos económicos.

¹⁵ UTAN1 tem um novo caudal de insuflação de 4.045 m³/h e extração de 2.750 m³/h; UTAN2 tem um novo caudal de insuflação de 4.825 m³/h e extração de 2.225 m³/h; UTAN3 tem um novo caudal de insuflação de 4.250 m³/h e extração de 3.500 m³/h.

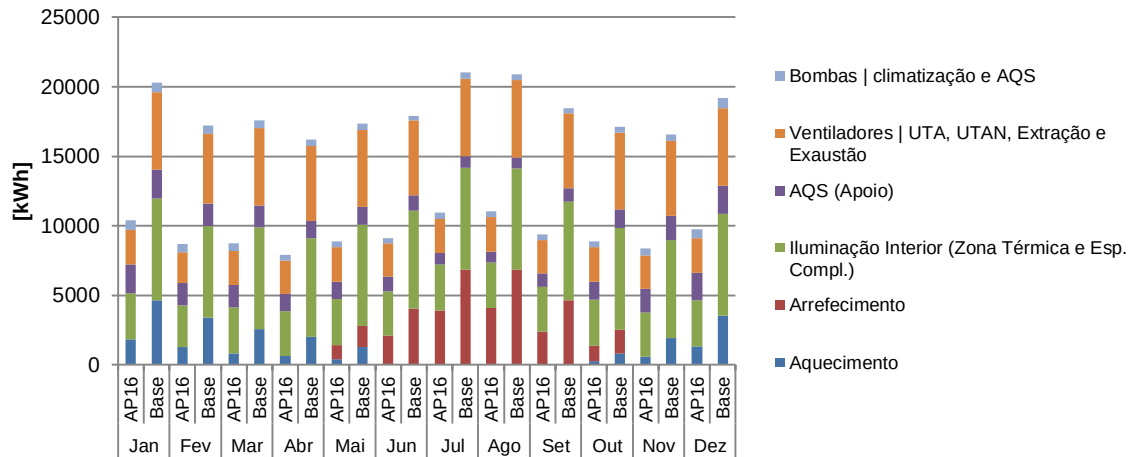


Figura 61 – Comparação dos consumos de energia final do cenário base com AP16

No quadro global, a figura 62a reflete a evolução favorável da estrutura de consumos regulados ao longo das estratégias estudadas. Na figura 62b e na tabela 16, pode-se comprovar evolução positiva destes indicadores (sem consumos tipo T), destacando-se a redução de 51% do índice de eficiência energética sem consumos T (AP16) e uma redução de cerca 50,7% de emissões de CO₂ face ao cenário base.

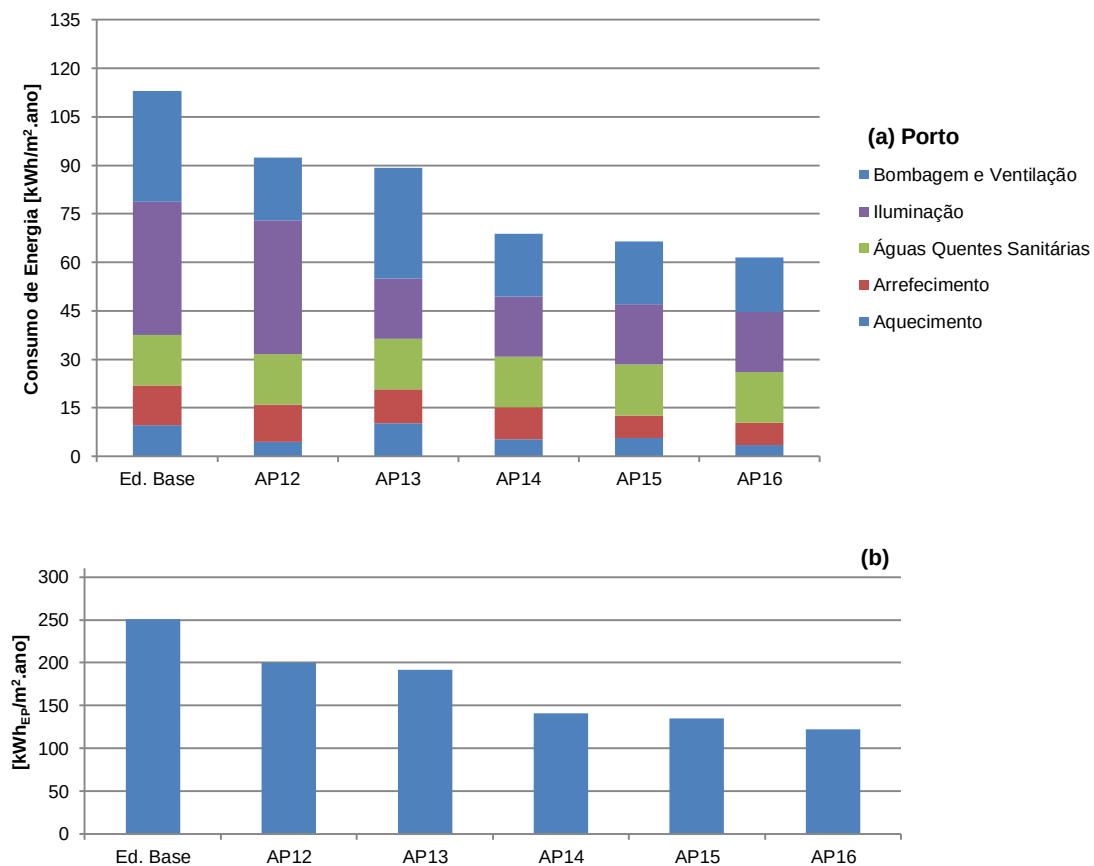


Figura 62 – (a) Indicadores de desempenho AP12 – AP16 e (b) IEE sem consumos do tipo T

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP12	AP13	AP14	AP15	AP16
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	4,47	10,28	5,38	5,7	3,43
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	11,58	10,52	9,8	7	7
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,2	41,2	18,6	18,6	18,6	18,6
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	19,5	34,12	19,45	19,45	16,73
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T							
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	11,18	25,7	13,45	14,25	8,58
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	28,95	26,29	24,5	17,5	17,5
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67	15,67
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103	103	46,5	46,5	46,5	46,5
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,3	48,8	85,3	48,63	48,63	41,83
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8	-7,8
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]						
IEEs – IEEren	[kWh_{EP}/m².ano]	250,99	199,8	191,66	140,95	134,75	122,27
Emissões de CO ₂ *	[ton/ano]	76,5	61,1	58,6	43,4	41,5	37,7

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 16 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP12 - AP16

A análise paramétrica AP16 é o ponto de partida para o início da otimização dos consumos dos equipamentos produtores de energia térmica. Inicia-se a otimização dos consumos energéticos pelo sistema de preparação de AQS. Mantendo o princípio da produção de água quente sanitária, AQS, ser efetuada prioritariamente, com recurso ao sistema solar térmico instalado na cobertura e complementado pelo sistema de apoio. Avaliou-se a alteração do equipamento existente (apoio) e simultaneamente o aumento da promoção da utilização de energia solar térmica para satisfazer as necessidades de AQS, a saber:

- AP17: Avaliação da substituição da caldeira existente por uma caldeira de condensação, alimentada a gás natural, com uma potência térmica de 45 kW, com eficiência de 97,4% a 100% da carga e aumento da fração solar do sistema solar térmico de 52% para 61%;
- AP18: Avaliação da substituição da caldeira atual, por uma a caldeira de combustão de biomassa com sistema de queima com base em pellets de madeira, com potência térmica de 50 kW com um rendimento de 90% e aumento da fração solar do sistema solar térmico de 52% para 61%;
- AP19: Como a temperatura de água quente requerida é inferior a 60°C, avaliou-se a alteração da caldeira existente pela implementação de uma bomba de calor para produção de AQS, ar-água com 43 kW de potência e eficiência sazonal de 3,62 (simulada através das curvas características do equipamento em função da temperatura exterior) e aumento da fração solar do sistema solar térmico de 52% para 61%;

As necessidades anuais de água quente sanitária são estimadas em 31.124 kWh, com a promoção do aumento da utilização de energia solar, recorrendo ao aumento do número de painéis instalados na cobertura (10 módulos – 22,4 m² para 13 módulos – 29,1 m²), existe uma redução anual das necessidades de apoio à produção de AQS de 18% (figura 63).

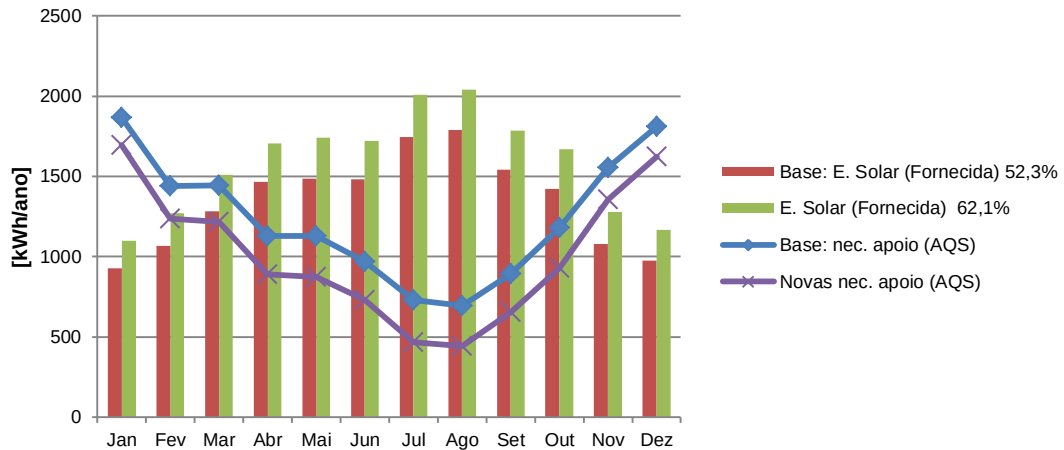


Figura 63 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico

Nesta conformidade, importa avaliar o consumo anual e mensal do apoio térmico para satisfazer a energia útil associada ao uso AQS, através da comparação dos sistemas anteriormente discriminados. É facilmente identificável que o sistema mais eficiente centra-se na utilização da bomba de calor de condensação a ar (redução de 80% do consumo face ao base). Por outro lado, a eficiência energética é sempre analisada numa perspetiva custo-benefício (será analisado mais à frente neste trabalho), pelo que será economicamente vantajoso e ambientalmente correta a produção de AQS recorrendo a uma caldeira a biomassa (existe disponibilidade de espaço para o efeito). Em termos de redução de consumos fica-se pelos 18%. Note-se que houve um aumento da utilização de energia solar, razão pela qual existe uma redução de 18% face ao cenário base, caso contrário, numa perspetiva de utilizador final, seria vantajoso apenas em termos de custo energético. No entanto, é energia proveniente de fonte renovável e com impacto expressivo na redução das emissões de CO₂, para além do benefício do custo energético. Relativamente à utilização da caldeira de condensação, que trabalha com base no princípio de recuperar a maior quantidade possível do calor emitido através dos gases da combustão. Aproveita a energia libertada pelo vapor de água contido nos gases provenientes da combustão ao passar ao estado líquido, permitindo assim obter uma eficiência térmica superior às das caldeiras convencionais. No caso concreto, é mais eficiente em 24% quando comprado com o cenário base, devido também à promoção do aumento da utilização de energia solar térmica (figura 64), que reduz as necessidades do apoio térmico.

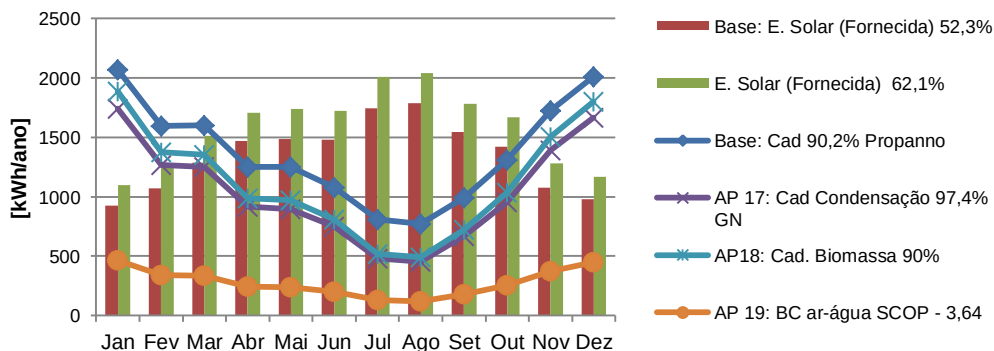


Figura 64 – Comparação do comportamento do consumo anual e mensal dos sistemas de apoio para satisfazer a preparação de AQS

No quadro global, a figura 65a reflete a evolução favorável da estrutura de consumos regulados ao longo das estratégias estudadas, destacando-se como seria de esperar, a AP19, uma vez que todos os outros pressupostos se mantêm da análise paramétrica AP16. Na figura 65b e na tabela 17, pode-se comprovar a evolução positiva destes indicadores (sem consumos tipo T). De notar o baixo valor do IEE na análise AP18, derivado do aumento da utilização de energias renováveis através da biomassa na utilização AQS, sendo todo o seu uso renovável. Em termos de economia global de energia no edifício, existe uma redução de 37,3% para AP17, 37% para AP18 e de cerca de 40,4% para AP19.

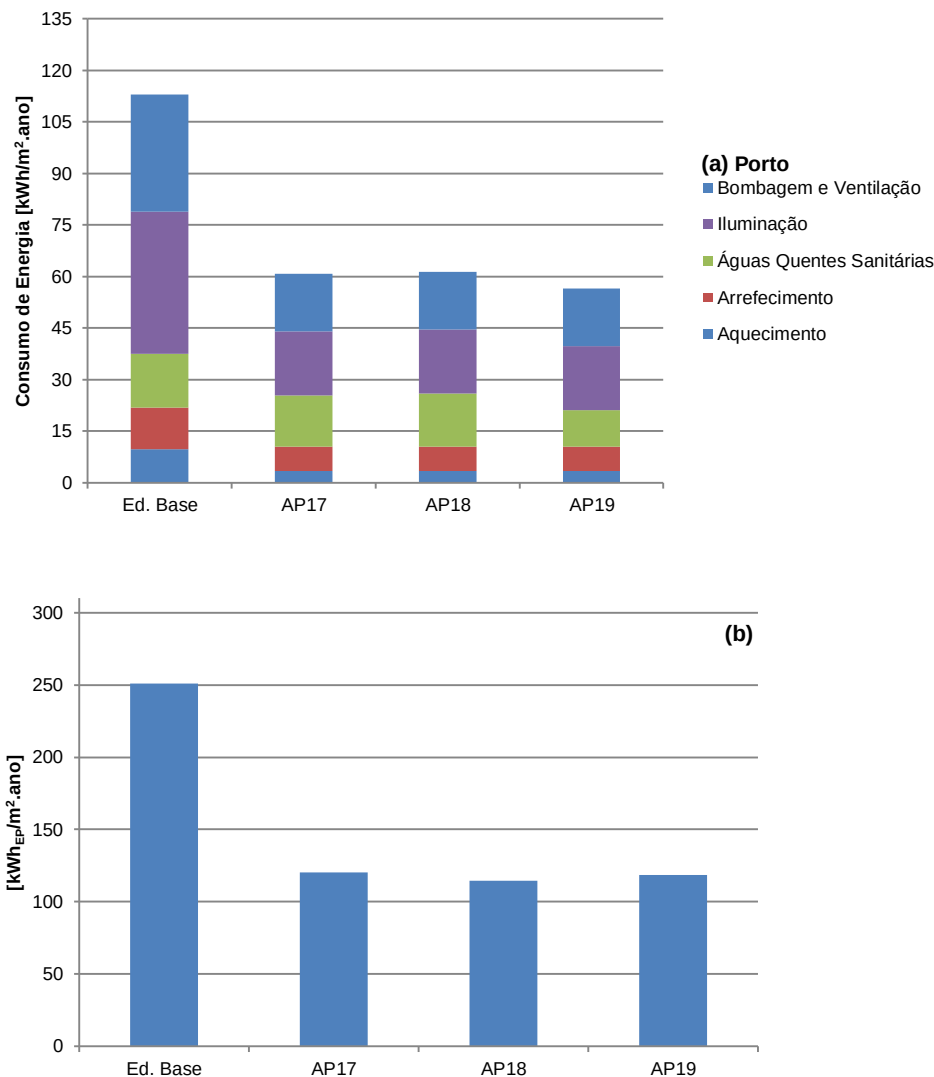


Figura 65 – (a) Indicadores de desempenho AP17 – AP19 e (b) IEE sem consumos do tipo T

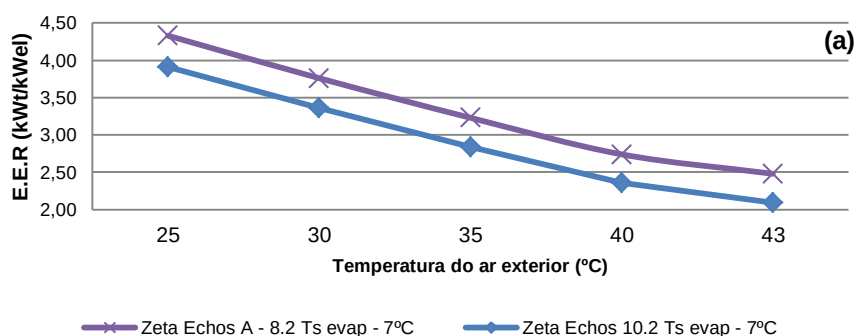
Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP17	AP18	AP19
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	3,43	3,43	3,43
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	7	7	7
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,05	15,54	10,69
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,2	18,6	18,6	18,6
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	16,73	16,73	16,73
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T					
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	8,58	8,58	8,58
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	17,5	17,5	17,5
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,05	15,54	13,1
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103	46,5	46,5	46,5
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,3	41,83	41,83	41,83
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-9,1	-15,5	-9,1
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]				
IEEs – IEEren	[kWh_{EP}/m².ano]	250,99	120,36	114,45	118,41
Emissões de CO ₂ *	[ton/ano]	76,5	37,5¹⁶	34,9	36,1

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 17 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP17 - AP19

Mantendo o foco na eficiência energética dos equipamentos produtores de energia térmica, a análise centra-se agora na otimização dos consumos associados ao sistema de climatização. De realçar, em coerência com a análise paramétrica AP16, que a seleção dos equipamentos levou em consideração a diminuição da potência máxima necessária para garantir as condições de conforto na estação de aquecimento e de arrefecimento. Assim, foram avaliadas as seguintes análises paramétricas, a saber:

- AP20: Avaliação da substituição da unidade existente para produção de energia térmica, por um *chiller*/bomba de calor, ar-água, mais eficiente, de classe A, operando com fluido refrigerante R410A, com potência unitária de 99,2 kW e 83,6 kW para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, com COP de 3,67 e EER de 3,23. A figura 66a mostra o comportamento dos dois equipamentos para uma temperatura de evaporação de 7°C, em função da temperatura exterior e a figura 66b mostra o comportamento do equipamento em modo de aquecimento, para uma temperatura de condensação de 45°C, também em função da temperatura exterior. O circuito de água aquecida e arrefecida mantém as condições inicialmente estabelecidas.



¹⁶ Na determinação das emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia final do gás natural, o fator de conversão de energia primária para emissões de CO₂ utilizou a portaria 15793-D/2013. Gás natural - 0,202 kgCO₂/kWh_{EP}

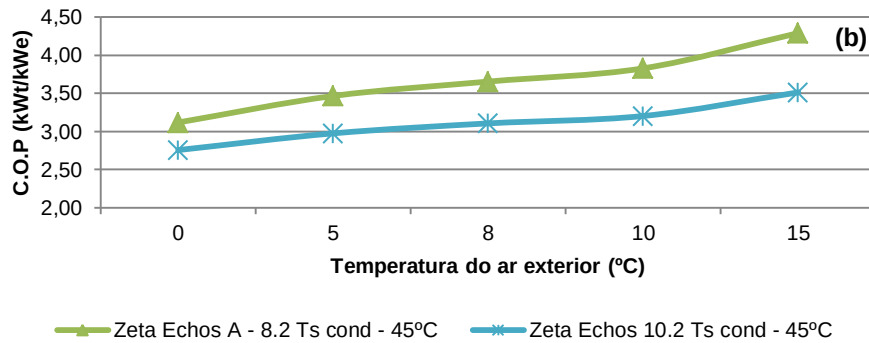


Figura 66 – (a) EER vs. Temperatura exterior do Ch/BC base e Ch/BC classe A (b) COP vs. Temperatura exterior do Ch/BC base e Ch/BC classe A

- AP21: Avaliação da utilização de duas caldeiras de combustão de biomassa com sistema de queima com base em pellets de madeira, com potência térmica de 60 kW com um rendimento de 90% para a produção de água quente dos dois serviços: aquecimento ambiente e produção de água quente sanitária (AQS). Mantendo a produção de água refrigerada através do *chiller* com o mesmo EER da solução base;
- AP22: Avaliação da substituição da unidade existente para produção de energia térmica, por aplicação de dois *chillers*/bomba de calor, água-água, mas através do aproveitamento geotérmico de baixa entalpia. O circuito primário dos *chillers*/bomba calor irá recorrer, de acordo com as considerações tomadas, a 10 furos geotérmicos, com 136 metros de profundidade cada, onde serão instalados os respetivos permutadores de calor, de circuito fechado e de posição vertical. O circuito secundário mantém o mesmo princípio de funcionamento, ou seja, distribui a água aquecida ou arrefecida, mantendo o sistema a dois tubos, pelos ventiloconvetores e as baterias das UTANs.

Os circuitos primários têm como objetivo trocar calor entre os *chillers*/bomba calor e os furos de permuta de calor a que estão ligadas. Os furos têm uma profundidade mínima estimada de 136 metros e cada um deles integra um permutador de calor geotérmico tipo “simples U”. Estas serpentinas verticais têm a vantagem de não estarem sujeitas às variações da temperatura do ar exterior, quando comparadas com serpentinas enterradas e dispostas na horizontal, que estão mais sujeitas às flutuações da temperatura do ar exterior, sendo por isso utilizadas em aplicações de baixa potência.

No cálculo das eficiências dos *chillers*/bomba de calor, foram considerados os seguintes pressupostos: do lado da utilização, o sistema em aquecimento funcionará com temperaturas entre 40°C (ida) e 35°C (retorno) e em arrefecimento entre 10°C (ida) e 15°C (retorno). Do lado da fonte, em situação de aquecimento, a temperatura de retorno da água, vinda dos permutadores enterrados na vertical, em circuito fechado, ao evaporador foi considerada em 10°C, com $\Delta T = 3K$. Para estação de arrefecimento, a temperatura de entrada no condensador e que vem do circuito fechado após passar pelos furos, foi considerada de 25°C com $\Delta T=5K$. Com estas condições cada *chiller*/bomba de calor, água/água, apresenta uma potência unitária de 39,7 kW e 34,4 kW para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, com COP de 5,59 e EER de 6,09. Na figura 67 pode-se visualizar as curvas de performance do equipamento: (a) - em aquecimento, temperatura de condensação ($T_{s\ cond}$) em função da temperatura de ida da água no evaporador para a sonda geotérmica (permutador de calor geotérmico vertical) em circuito fechado; (b) - O COP selecionado em função da temperatura de ida da água no

evaporador para a sonda geotérmica (7°C), quando comparado com diferentes temperaturas de utilização ($T_{s\ cond}$); (c) - em arrefecimento, temperatura de evaporação ($T_{s\ evap}$) em função da temperatura ida da água no condensador para a sonda geotérmica em circuito fechado, bem como pode ser observado o EER considerado no estudo;

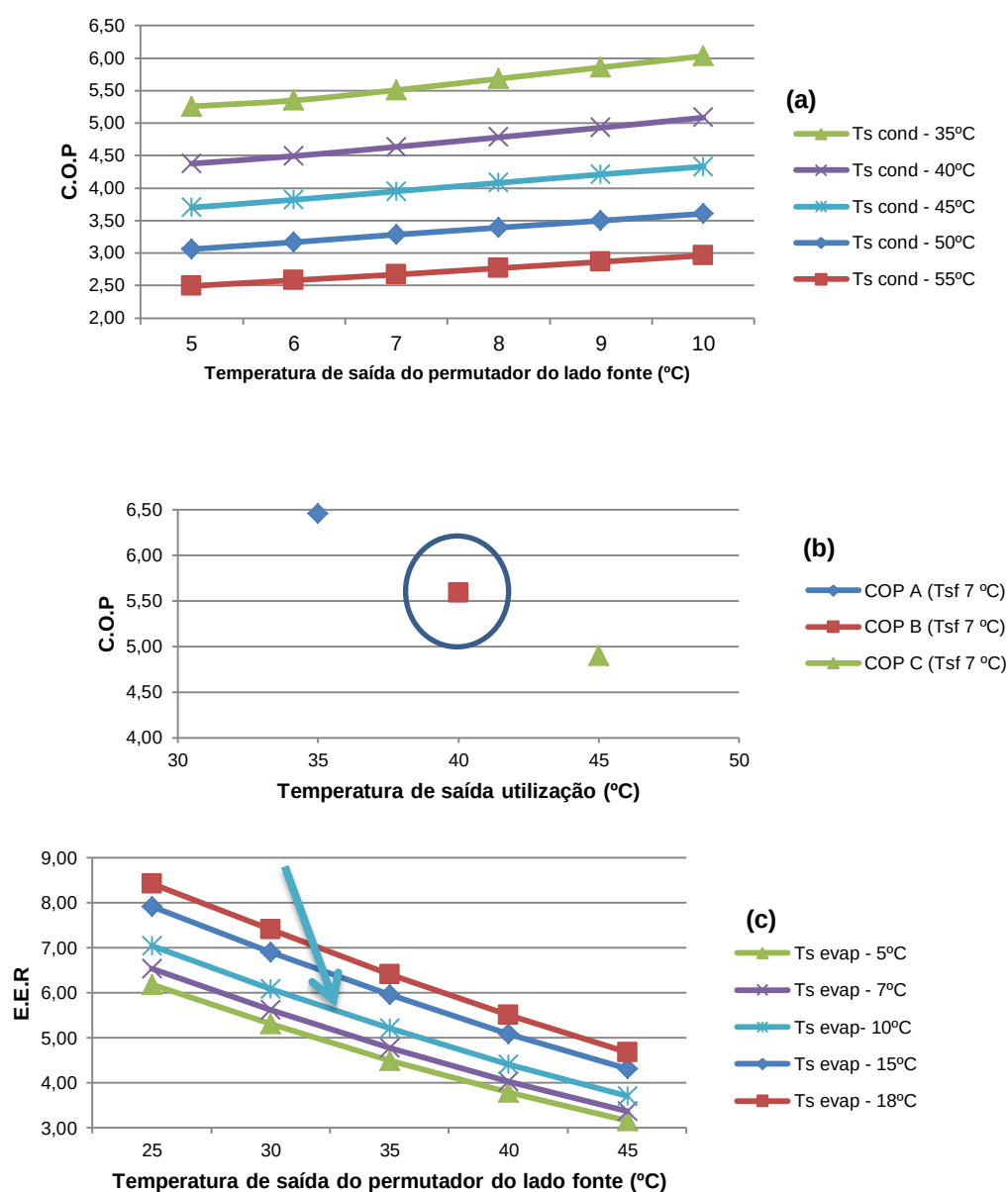


Figura 67 – Curvas de performance em aquecimento e arrefecimento

Na estimativa do comprimento necessário dos permutadores de calor geotérmicos, para o aproveitamento do calor do solo ($\dot{Q}_{h,a} = (1 - 1/COP) \cdot \dot{Q}_{cond}$. (5.9), ou a da rejeição de calor para o solo ($\dot{Q}_{c,r} = (1 + 1/EER) \cdot \dot{Q}_{evap}$. (5.10), foram considerados os pressupostos da tabela 18.

Permutador calor geotérmico vertical	1360	[m]
Estimativa do comprimento necessário (10 furos x 136 m)	10	
Considerações tomadas		
Condutividade térmica do solo assumida (λ_s)	2,4	[W/m.°C]
Fluxo de calor específico transferido entre o fluido e o furo (q)	48	[W/m]

Tabela 18 – Pressupostos de cálculo dos permutadores de calor geotérmicos verticais

Relativamente a análise dos resultados, o comportamento da estrutura de consumos de energia final, reflete as seleções preconizadas direcionadas apenas para o uso de aquecimento e arrefecimento, ou seja, existe uma redução no consumo de aquecimento e arrefecimento proporcional a eficiência do equipamento, caso das bombas de calor reversível. De salientar, que a AP21 derivado ao uso da caldeira para aquecimento ambiente aumentou o seu consumo como seria de esperar, no entanto todo este uso é de origem renovável, sendo isso refletido no cálculo do IEE, que é bastante uniforme nas três análises realizadas. Importar referir, que o uso de AQS, na AP20 e AP22, manteve a caldeira a biomassa para o apoio ao aquecimento. Em termos de economia de energia global no edifício, existe uma redução de 38% para AP20, 30,6% para AP21 e de 39 % para AP22.

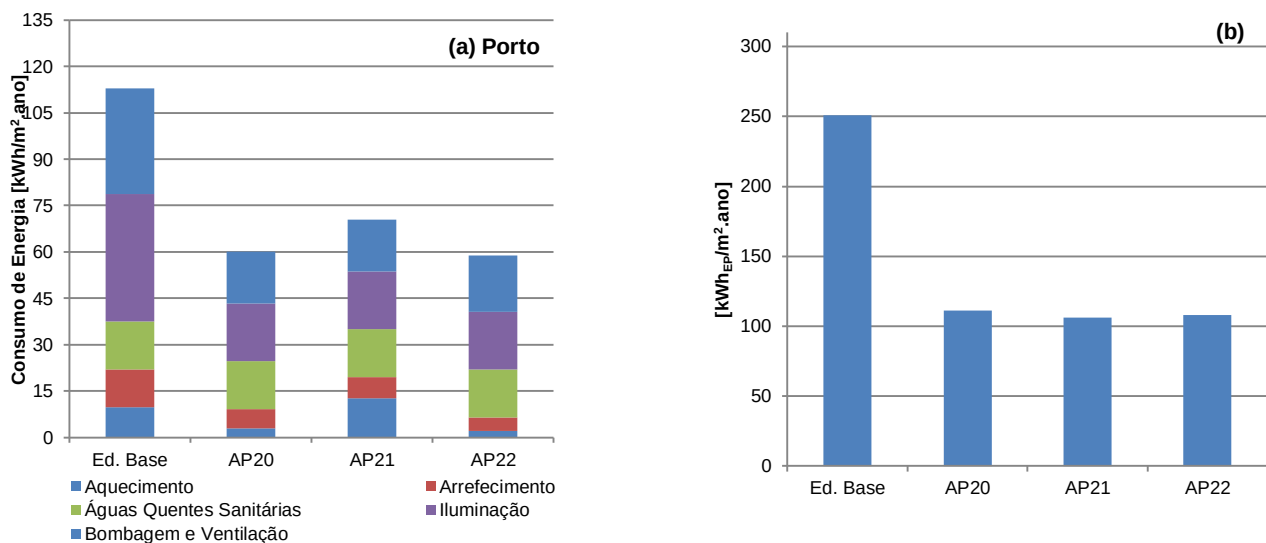


Figura 68 – (a) Indicadores de desempenho AP20 – AP22 e (b) IEE sem consumos do tipo T

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP20	AP21	AP22
Aquecimento	[kWh/m².ano]	9,66	2,86	12,57	2,03
Arrefecimento	[kWh/m².ano]	12,26	6,32	7,01	4,41
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m².ano]	15,67	15,54	15,54	15,54
Iluminação	[kWh/m².ano]	41,2	18,6	18,6	18,6
Bombagem e Ventilação	[kWh/m².ano]	34,12	16,73	16,76	18,2
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T					
Aquecimento	[kWh _{EP} /m².ano]	24,16	7,15	12,57	5,08
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m².ano]	30,66	15,8	17,53	11,03
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m².ano]	15,67	15,54	15,54	15,54
Iluminação	[kWh _{EP} /m².ano]	103	46,5	46,5	46,5
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m².ano]	85,3	41,83	41,91	45,5
Renovável Térmica					
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m².ano]	-7,8	-15,5	-28,1	-15,5
Renovável elétrica					
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m².ano]				
IEEs – IEEren					
IEEs – IEEren	[kWh _{EP} /m².ano]	250,99	111,32	105,95	108,14
Emissões de CO₂*					
Emissões de CO ₂ *	[ton/ano]	76,5	34	32,4	33

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 19 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP20 - AP22

Finalmente, vai-se avaliar o impacto do aumento da utilização de energias renováveis no indicador de eficiência energética, através da instalação de duas centrais fotovoltaicas para autoconsumo, nas análises paramétricas AP18 (aliada à AP16), AP20, AP21 e AP22; recomenda-se visualizar novamente a tabela 13 para identificar estas quatro novas variantes, AP23, AP24, AP25 e AP26.

A produção de energia elétrica com recurso a painéis fotovoltaicos pressupõe a instalação de um sistema constituído por um conjunto de painéis fotovoltaicos, e por um ou mais inversores que têm como missão converter a corrente contínua (na saída dos painéis) para corrente alternada (na saída do inversor). Esta corrente será diretamente injetada na rede de consumo do edifício. Pretende-se instalar dois sistemas fotovoltaicos para autoconsumo com ligação à rede elétrica de serviço público. As instalações fotovoltaicas não preveem a utilização de quaisquer elementos de acumulação; como tal, durante o período noturno será sempre a RESP (Rede Elétrica de Serviço Público) a fornecer a totalidade de energia ao edifício.

A energia consumida pelo edifício será um misto de energia produzida localmente e energia comprada à rede elétrica, com prioridade de utilização da energia produzida localmente. A simulação de produção de energia elétrica foi efetuada com o recurso ao programa de estudo de sistemas fotovoltaicos, *PVsyst* versão 6.32 (*Photovoltaic Systems*). Foram sugeridas duas instalações, nomeadamente para a cobertura do edifício e para cobertura do estacionamento, de acordo com as seguintes características:

- Instalação fotovoltaica para autoconsumo com potência instalada de 22,00 kWp que transforma energia solar em energia elétrica. A unidade é composta por 88 módulos fotovoltaicos de 250 Wp, dois inversores de 10,10 kW, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor. Apresenta uma área de 148 m² em cobertura plana acoplada a estrutura fixa com um ângulo de inclinação de 30° a Sul. A simulação de produção de energia elétrica estimada é de 30770 kWh/ano.
- Instalação fotovoltaica para autoconsumo com potência instalada de 11,00 kWp, sendo composta por 44 módulos fotovoltaicos de 250 Wp, um inversor, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor. Apresenta uma área de 74 m² colocada no parque de estacionamento com um ângulo de inclinação de 20° e azimute 15°. A simulação de produção de energia elétrica estimada é de 15038 kWh/ano.

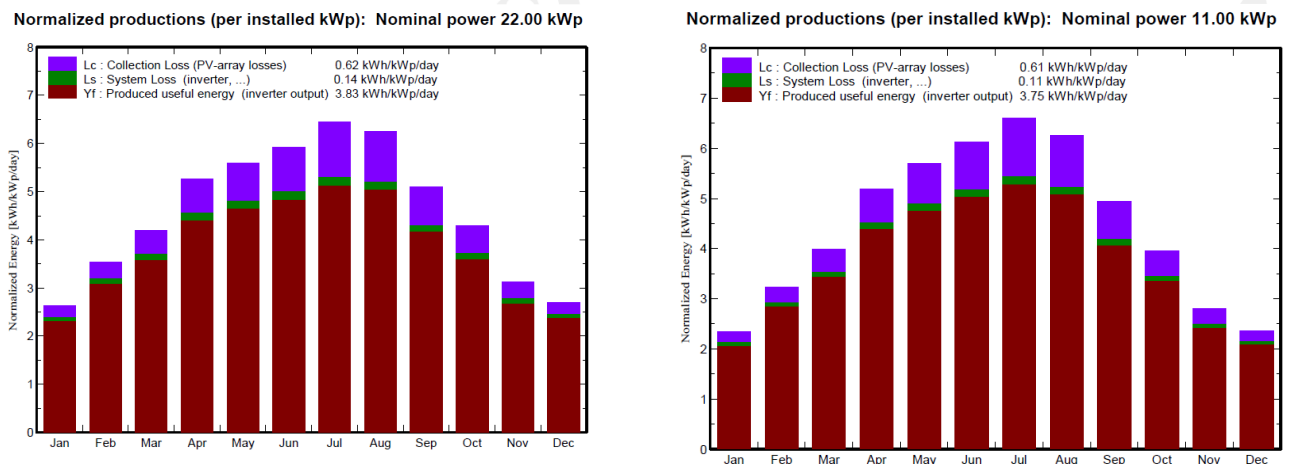


Figura 69 – Resultados da simulação dos sistemas fotovoltaicos (a) 22 kWp e (b) 11 kWp

Na figura 70a apresenta-se a evolução e distribuição dos consumos por forma de energia, onde se poder visualizar a penetração de cada vetor energético no consumo global do edifício das análises efetuadas. De realçar, que inicialmente apenas 5% do consumo era de origem renovável. Em relação ao indicador de eficiência energética existe uma redução que oscila entre 76% com um IEE de 59,65 kWh_{EP}/(m².ano) na AP23, a 80% com um IEE de 51,14 kWh_{EP}/(m².ano) na AP24, quando comprado com o cenário base (figura 70b). As emissões de CO₂, refletem as emissões evitadas derivadas da produção de energia elétrica local.

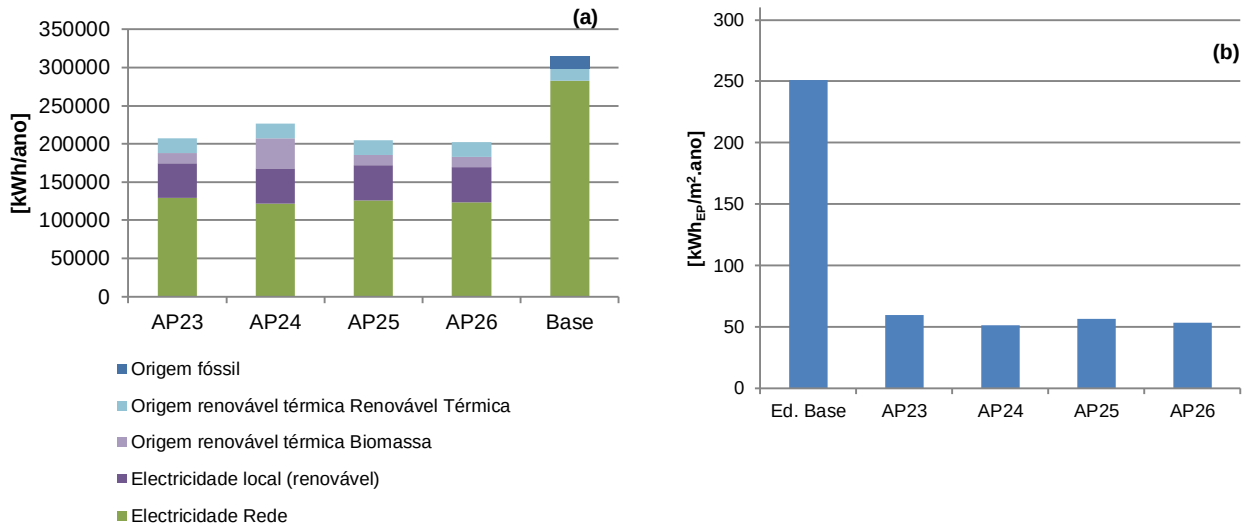


Figura 70 – (a) Consumos por forma de energia e (b) IEE sem consumos do tipo T

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP23	AP24	AP25	AP26
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	9,66	3,43	12,57	2,86	2,03
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	12,26	7	7,01	6,32	4,41
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	15,67	15,54	15,54	15,54	15,54
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	41,2	18,6	18,6	18,6	18,6
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	34,12	16,73	16,76	16,73	18,2
Indicador de Eficiência Energética s/ consumos não regulados tipo T						
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	24,16	8,58	12,57	7,15	5,08
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	30,66	17,5	17,53	15,8	11,03
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	15,67	15,54	15,54	15,54	15,54
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	103	46,5	46,5	46,5	46,5
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	85,3	41,83	41,9	41,83	45,5
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-7,8	-15,5	-28,1	-15,5	-15,5
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]		-54,8	-54,8	-54,8	-54,8
IEEs – IEEren	[kWh_{EP}/m².ano]	250,99	59,65	51,14	56,52	53,35
Emissões de CO₂*	[ton/ano]	76,5	18,5	15,9	17,5	16,6

*s/ consumos não regulados tipo T

Tabela 20 – Resumo dos principais indicadores de desempenho AP23 - AP26

5.9.7 Método oferta de energia (G) – procura de energia (L)

A evolução construtiva e a proveniência das estratégias implementadas é facilmente entendida na análise da figura 71. Esta permite identificar três etapas “chave”. A primeira contempla a AP12 e AP13, com a redução dos consumos através de medidas no setor da ventilação e no setor das cargas internas (iluminação). É visível que entre AP1 e AP11 a evolução não tem grande visibilidade na redução dos consumos. A segunda centra-se na combinação simultânea das estratégias dos mesmos setores (redução dos consumos da iluminação e reajuste do sistema de ventilação, com ventiladores mais eficientes, recuperação de calor ar/ar adequada e controlo da ventilação em função das necessidades de utilização), iniciando-se com a AP14 e evoluí para a redução dos consumos através da seleção de sistemas energeticamente eficientes, atuando-se na redução do consumo do sistema de AQS e no consumo do sistema de climatização, terminando com a solução AP22 a redução do lado da procura de energia. Importa salientar que, o salto entre AP15 e AP17, não é mais expressivo pelo facto dos maiores consumos estarem do lado das cargas internas, como seria de esperar. Finalmente, a terceira etapa pelo lado da oferta, através da produção local de energia, sob forma de aplicação de sistemas fotovoltaicos, visualizadas na figura 71 pelas ações AP23 a AP26.

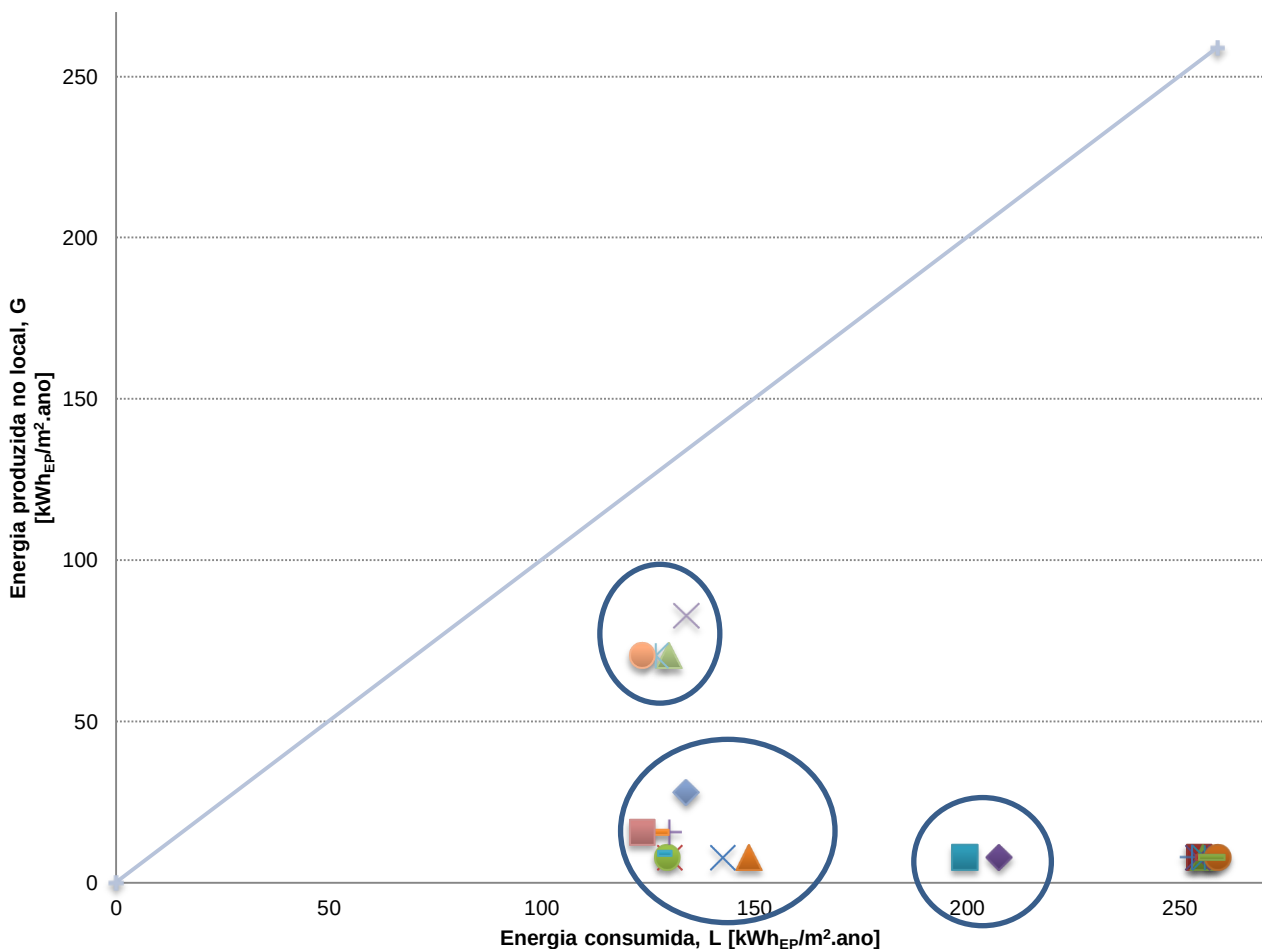


Figura 71 – Balanço de energia primária, método G-L

Nas duas figuras 72a e 72b visualiza-se todo o trabalho realizado. Com particular atenção para a AP19 que regista os menores consumos de energia final, derivado da aplicação da bomba de calor para produção de água quente sanitária, bem como, a AP22 pela integração da bomba de calor reversível geotérmica, que tem um forte impacto na redução dos consumos do aquecimento e arrefecimento ambiente. A partir da AP23 não existe qualquer intervenção nos consumos regulados, tipo S, sendo a produção local de energia elétrica descontada

diretamente (após conversão) no indicador de eficiência energética dos consumos tipo S. No que respeita ao consumo de energia primária, a análise AP24 é que apresenta melhor desempenho, derivado do uso da biomassa para a produção de energia térmica para aquecimento ambiente.



Figura 72 – (a) Indicadores de desempenho – consumos anuais de energia final por uso e (b) Índice de eficiência energética s/ consumos do tipo T

5.9.8 Avaliação da influência climática

Neste quadro procurou-se avaliar as medidas de maior impacto nZEB em duas zonas climáticas distintas, nomeadamente Bragança e Faro. Iniciou-se esta análise através da medida AP16, fundamentalmente, pela reformulação do sistema de ventilação, instalação de iluminação mais eficiente e também, pelo controlo solar adequado e pela otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC. Na figura 73 observa-se a estrutura dos consumos de energia final, por uso, nos três climas. Quer em Bragança e em Faro as medidas com melhor desempenho centram-se, também na AP22 (elevada eficiência do sistema de climatização, pela bomba de calor geotérmica reversível) e AP19 (elevada eficiência do sistema de AQS, através da bomba de calor). Em termos de índices de eficiência energética, o melhor resultado em Bragança é idêntico ao do Porto, com destaque na AP24, pela introdução da biomassa para a produção de energia térmica para os dois serviços (aquecimento ambiente e AQS), que originou uma maior penetração de energia renovável pelo lado da térmica, que tem impacto positivo e imediato (aliado à produção energia elétrica) na redução do índice de energia primária. Por sua vez, em Faro o melhor indicador de desempenho em termos de energia primária é a AP26, uma vez que não existe a mesma necessidade de aquecimento ambiente, a biomassa não apresenta a mesma expressão. Por outro lado, existe mais necessidade de arrefecimento ambiente e então a bomba de calor reversível geotérmica

reforça a sua visibilidade. No entanto, o maior peso centra-se no lado produção local de energia elétrica que em Faro é onde apresenta maiores estimativas de produção (figura 74).

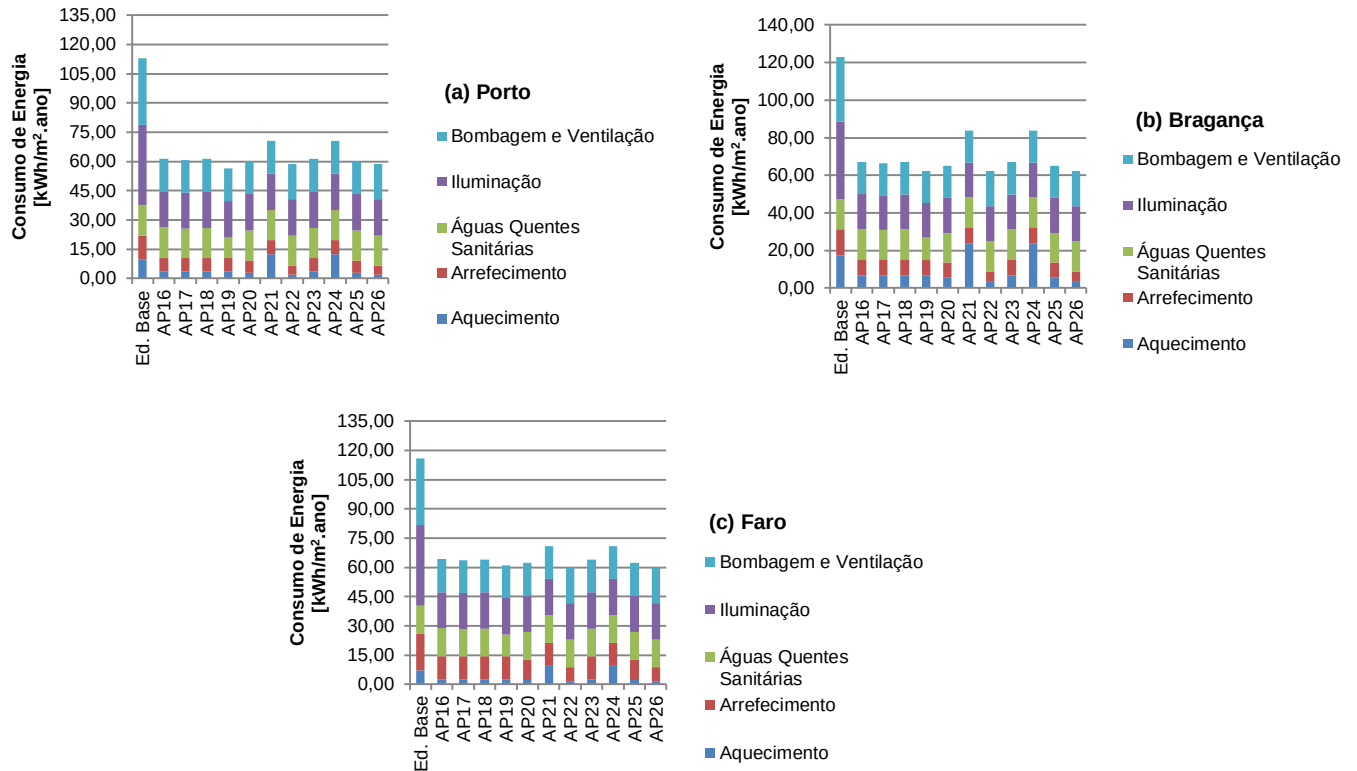


Figura 73 – Consumos anuais de energia final por uso: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

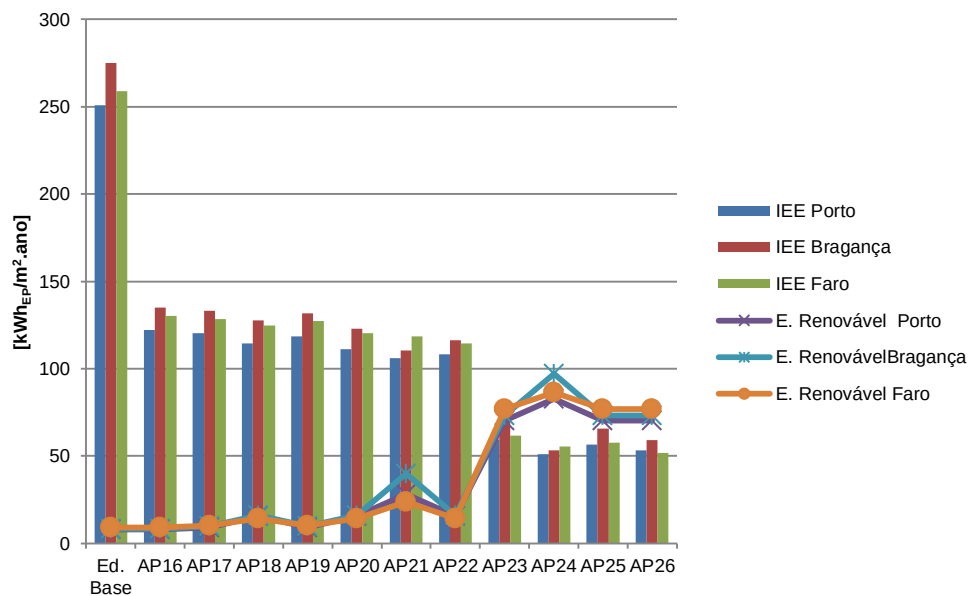


Figura 74 – Índice de eficiência energética s/ consumos do tipo T e penetração de energia renovável expressa em energia primária

A outra abordagem pelo método *G-L* que permite identificar a proveniência da adoção das estratégias, pode ser observada abaixo, onde se destaca com grande visibilidade a evolução da redução das necessidades pela penetração da eficiência energética desde do edifício base até à análise AP22, com a utilização de equipamento de maior eficiência (bomba de calor reversível com aproveitamento geotérmico de baixa entalpia) conduz a menores consumos de energia (aquecimento e arrefecimento ambiente), através da otimização na afetação dos recursos disponíveis, mantendo a mesma quantidade do valor energético. Pelo outro lado, visualiza-se a penetração da produção local de energia renovável térmica e elétrica. Do que foi realizado resulta que, é possível, tecnicamente, obter um edifício de serviços existente próximo do balanço de energia zero, reformulando o sistema ventilação pelo uso de ventilação controlada em função das necessidades, ventiladores eficientes e recuperação de calor adequada; reformulando o sistema de iluminação; utilizando um sistema de climatização bastante eficiente e produção local por instalação fotovoltaica. O termo “tecnicamente” resulta da análise se centrar nos consumos regulados, tipo S. A reformulação das cargas internas associadas aos equipamentos elétricos, também devem obrigatoriamente ser eficientes.

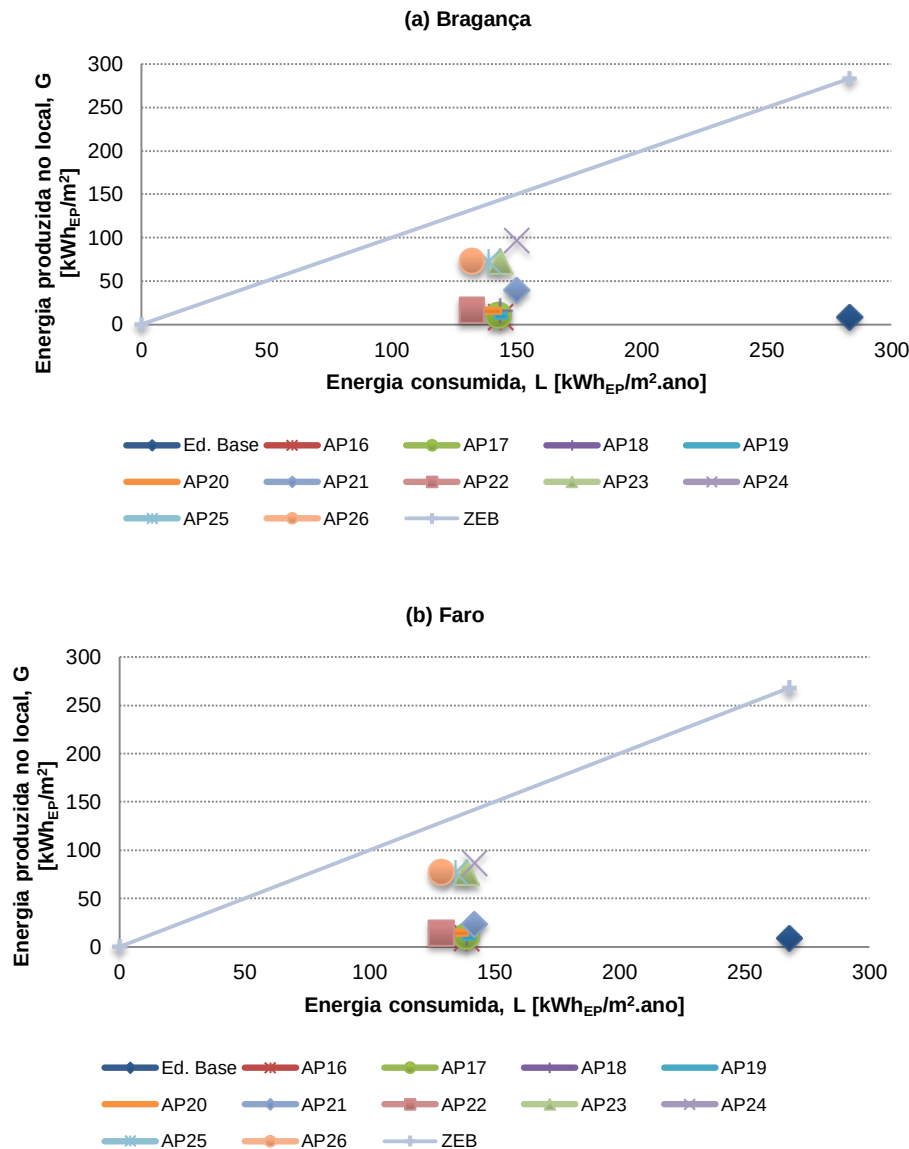


Figura 75 – Balanço de energia primária, método *G-L*: (a) Bragança e (b) Faro

5.10 Análise económica

O presente capítulo da análise económica a longo prazo refere-se às análises paramétricas identificadas de redução de consumo energético (lado da procura) e de utilização de energias renováveis (lado da oferta) no edifício em causa, citadas e analisadas energeticamente no subcapítulo anterior. A análise económica vai-se centrar no critério do nível ótimo de rentabilidade, que é definido como o nível de desempenho energético que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado, sendo o custo global determinado tendo em conta os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos de funcionamento. Na sua essência, a metodologia assenta na avaliação das diferentes soluções preconizadas no edifício com base no consumo de energia primária e nos seus custos globais, de cada uma das soluções, integrando os custos de investimento e os custos de exploração do edifício ao longo do seu período de vida, que no presente estudo se considera para o edifício de serviços, de 20 anos. As soluções com o menor valor para o somatório de todos os custos apontarão os níveis ótimos de rentabilidade. Para o efeito recorreu-se à seguinte expressão geral (Rushing, A. et al., 2010):

$$C_{ga} = C_I + C_0 \cdot \left(\frac{1+e}{i_a - e} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+i_a} \right)^{n_a} \right]_{i_a} \quad (5.11)$$

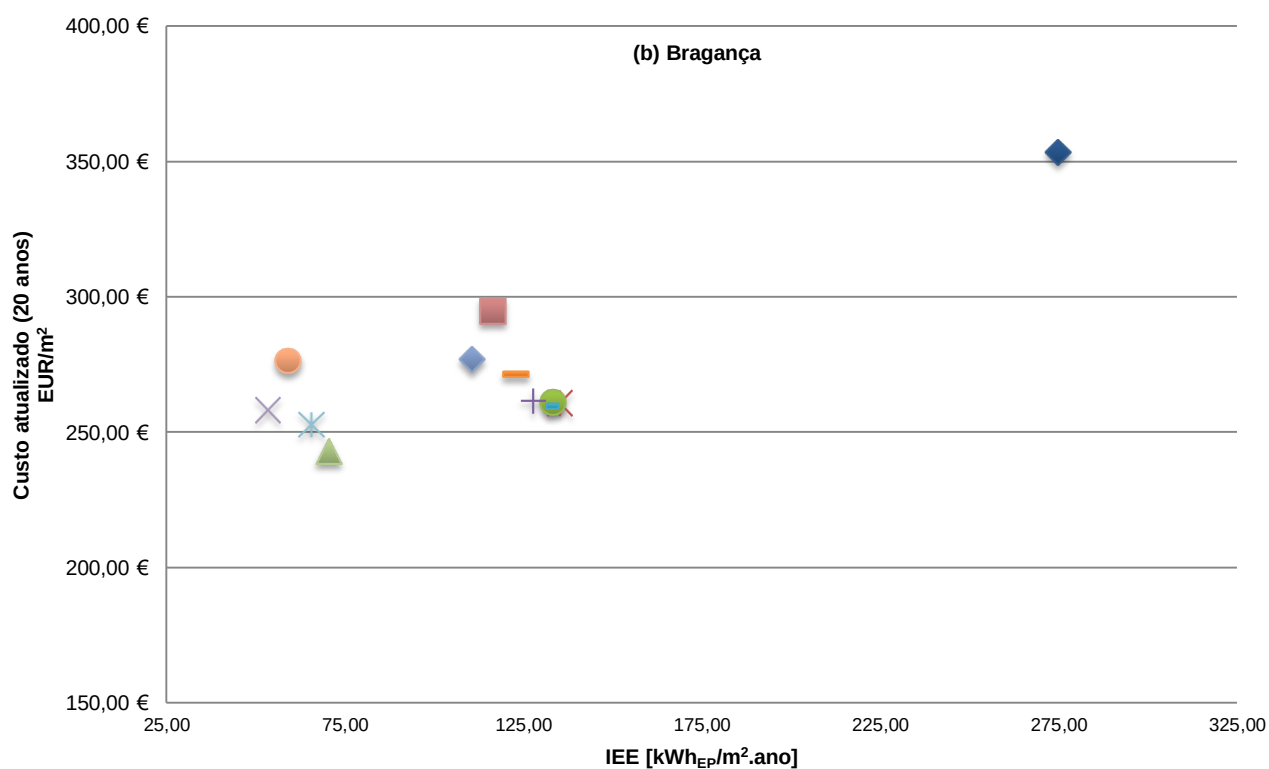
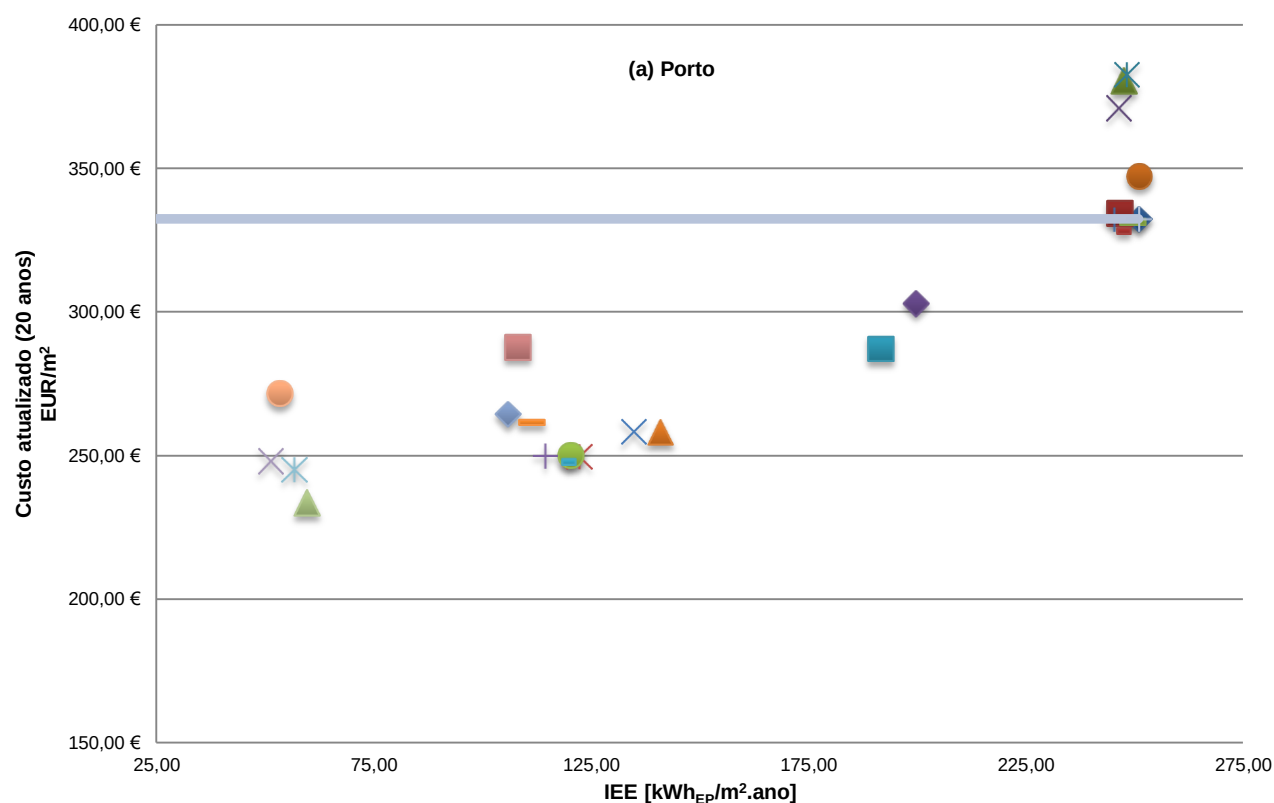
onde:

C_{ga}	Custo global do valor atual
C_I	Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas
C_0	Custo energético anual no ano de início
e	Taxa da inflação da energia ou da inflação geral
i_a	Taxa de atualização ou desconto
n_a	Número de anos a partir do período inicial

Para o cálculo do custo global associado a cada uma das variantes, foi necessário calcular os respetivos custos de investimento, os custos de manutenção e os custos associados aos consumos energéticos por fontes de energia existentes no edifício. Foram assumidos valores da taxa de inflação e taxa de atualização do capital igual a 2,5% e 4%, respetivamente. A determinação dos custos de investimento e manutenção foi realizada através da consulta de diversos fornecedores, de modo a obter uma base comparável sólida. Relativamente aos valores de referência para as tarifas das fontes energéticas, foram considerados os custos suportados pela empresa proprietária do edifício, noutras unidades com tipologia idêntica (lar de idosos com dormida). A tarifa da eletricidade é de Baixa Tensão Especial (BTE), potência contratada 64 kVA. Calculou-se o preço da eletricidade, indicado na tabela 21, usando a média ponderada da energia ativa, em função das horas de ponta (P), horas cheias (C), horas de vazio normal (VN) e super vazio (SV). Importa referir que neste caso particular, o custo mensal do termo fixo da potência contratada foi desprezado. Para as outras fontes energéticas utilizáveis no edifício, foram considerados os preços da tabela abaixo, relativos a 2014, baseados na consulta de faturas dos fornecedores de energia. Tendo em consideração a volatilidade do mercado energético foi adotado o valor médio 3,3% para a taxa da inflação da energia. De realçar que, foi desprezado o imposto de valor acrescentado (IVA) sobre a compra dos produtos em causa, pois essas parcelas são descontáveis nos valores de IVA cobrados pela empresa na prestação de serviços.

[€/kWh]					
Elettricidade	GPL (garrafas)	Gás Natural	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica
0,120	0,085	0,079	0,041	0,0	0,0

Tabela 21 – Preços considerados no cálculo dos custos energéticos do edifício de serviços (retirados dos contratos de fornecimento de energia do proprietário do edifício, relativos a 2014)



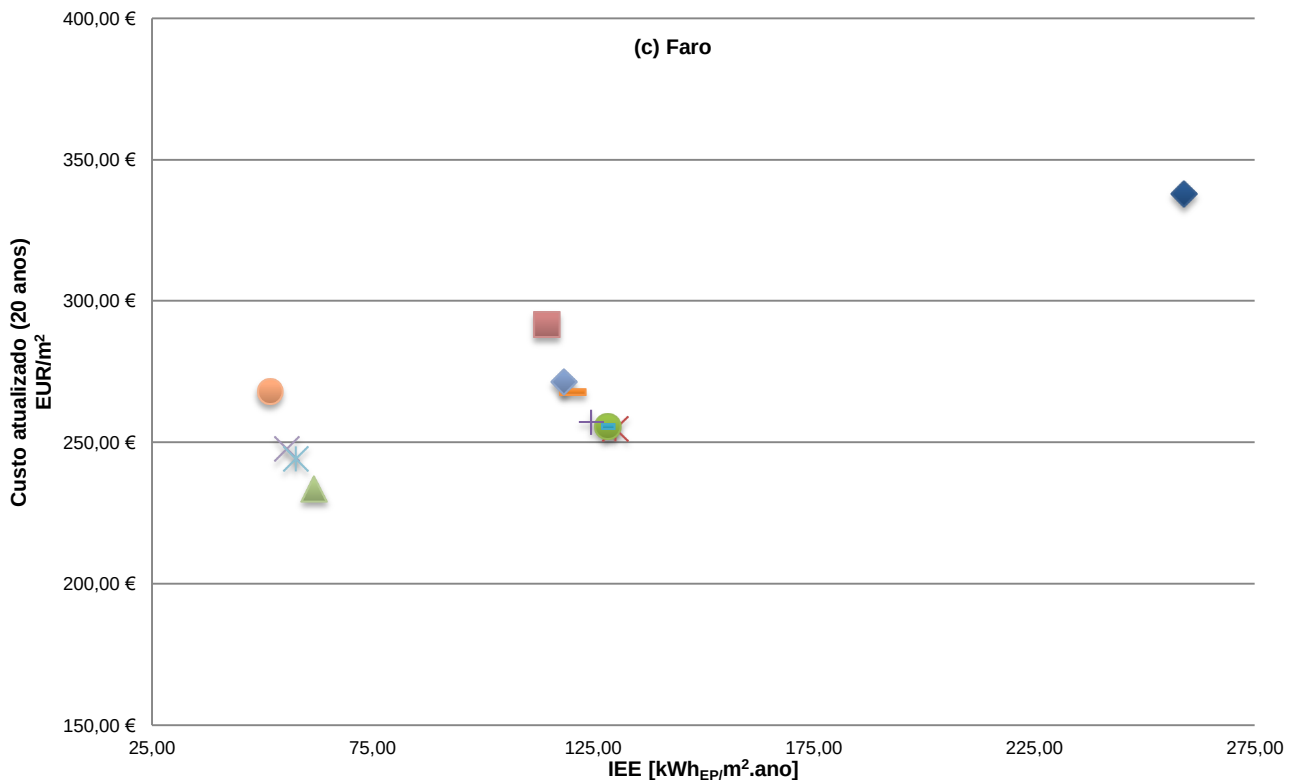


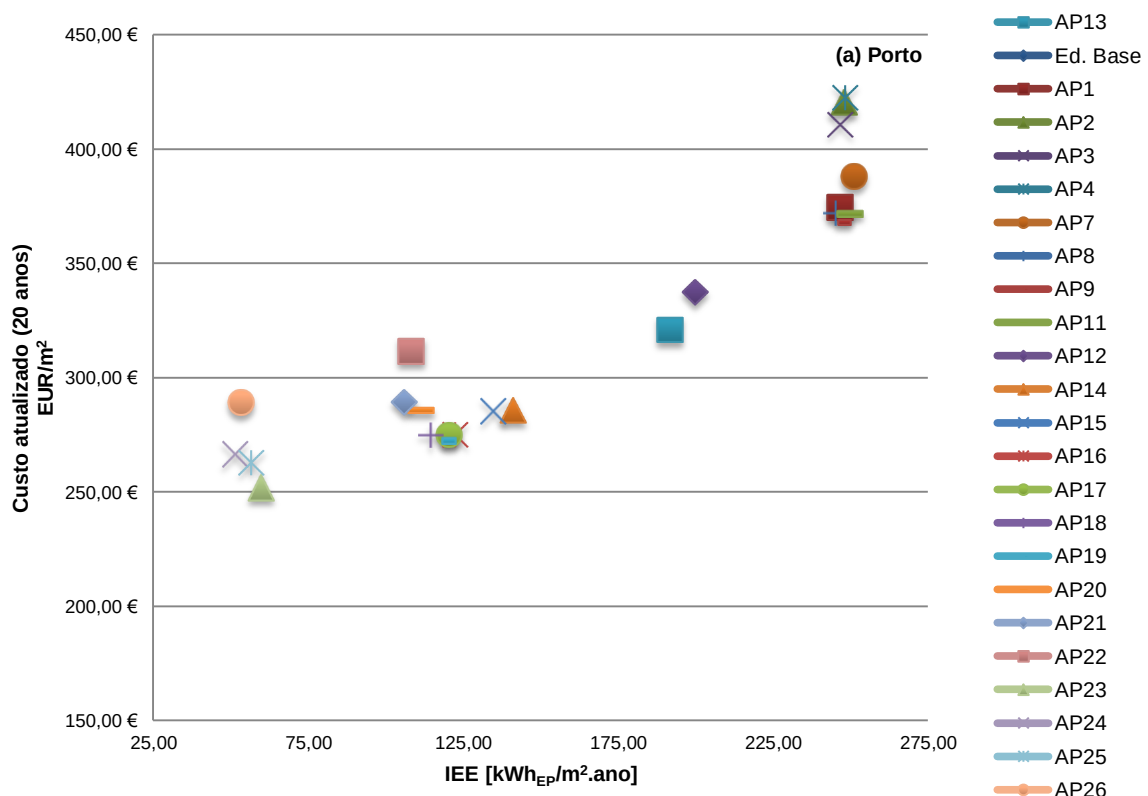
Figura 76 – Nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético (taxa de desconto 4% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo da energia 3,3%): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

Constata-se pela figura 76, que cada análise paramétrica realizada corresponde a um ponto na resultante do consumo de energia primária e do seu custo global atualizado. O nível ótimo de rentabilidade corresponde às soluções dentro dos níveis de rentabilidade positiva. Este último conceito corresponde a qualquer medida ou conjunto de medidas cujo custo de implementação seja inferior aos benefícios a obter durante o período de vida dessa medida, quando comparada com um cenário base. A medida ou conjunto de medidas em que os benefícios não compensam o custo de implementação (acima da linha azul da figura 76a) são consideradas não rentáveis, enquanto as que minimizam esse custo global indicam os níveis ótimos de rentabilidade. É visível pela figura acima (76a, 76b e 76c), que a solução de nível de rentabilidade ótima corresponde a variante AP23 nos três climas, com um indicador de eficiência energética previsto sem consumos não regulados, tipo T, de $59,64 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ no Porto e uma redução de 76 % em termos de energia primária face ao cenário base. Em Bragança, o IEE previsto respetivo é $70,34 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, valor que representa uma redução de 74% face ao cenário base e em Faro o IEE previsto é de $61,83 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, representando uma redução de 76% antes de qualquer intervenção. A AP23 é a combinação da variante AP16, que serviu de ponto de partida para a avaliação das soluções nos outros dois climas e onde se atuou, sensivelmente, reformulando o sistema ventilação e reformulando o sistema de iluminação, aliado à alteração do sistema de preparação de AQS e à promoção do aumento da utilização das renováveis, através do aumento do solar térmico, do uso da biomassa e da instalação dos dois sistemas fotovoltaicos, para produção de energia elétrica para autoconsumo. No entanto, isolando as soluções ao nível de intervenção nos sistemas energéticos, a figura 76 (a, b e c) permite também identificar que, ao nível dos sistemas produtores de energia térmica para climatização, a solução mais rentável é a AP20, pela

utilização da bomba de calor de classe A. Esta variante apresenta um IEE de 111,32 kWh_{EP}/(m².ano) no Porto e representa uma redução de 56% face ao valor do cenário base; já em Bragança, o IEE é de 122,76 kWh_{EP}/(m².ano) com uma redução de 55%; finalmente em Faro, o IEE é de 120,43 kWh_{EP}/(m².ano) com uma redução de 54% relativamente ao valor do cenário base, antes de qualquer intervenção. Ainda neste quadro, é possível analisar que ao nível do sistema de preparação de AQS, as variantes AP17, AP18 e AP19 têm comportamentos muito semelhantes quando analisadas ao nível de rentabilidade ótima, destacando-se ligeiramente a solução relativa à bomba de calor. No Porto e em Bragança a AP19 é a solução mais rentável com um valor de 118,40 kWh_{EP}/(m².ano) e 131,31 kWh_{EP}/(m².ano), respetivamente. Em Faro a solução mais rentável é partilhada entre a solução com a bomba de calor para AQS (A19) e AP17 (caldeira de condensação para AQS) com um IEE de 127,13 kWh_{EP}/(m².ano) e 128,34 kWh_{EP}/(m².ano) , respetivamente.

5.10.1 Análise de sensibilidade

De modo a avaliar a robustez dos resultados obtidos em função de alterações nos dados utilizados nos cálculos anteriores, especialmente no que diz respeito à evolução dos preços da energia, são realizadas análises de sensibilidade variando este pressuposto. Assim, avaliando o impacto neste edifício da variação da evolução do preço da energia, dos crescimentos anuais previstos nos cenários selecionados para um cenário de evolução contínua dos preços da energia de 4,5% ao ano, verifica-se no desenho das curvas de rentabilidade, que existe naturalmente o aumento do custo global, sendo a solução ótima na mesma a variante AP23. Na perspetiva da análise singular dos sistemas, de realçar o maior destaque no desempenho energético dos mesmos, com a bomba de calor reversível de classe A (aquecimento e arrefecimento ambiente) e a utilização da bomba de calor para preparação de AQS a apresentarem as melhores rentabilidades ótimas (figura 77 a, b e c), como seria de esperar.



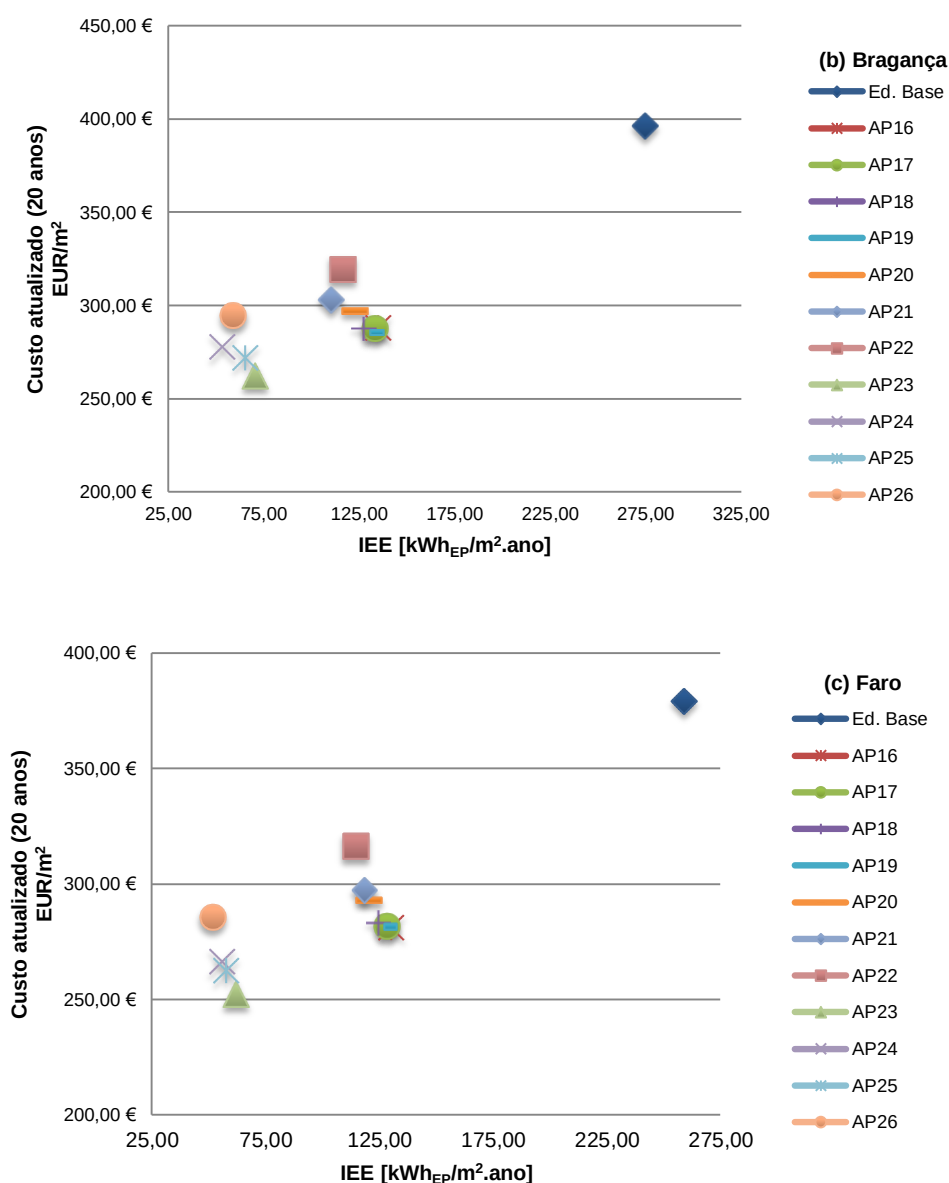


Figura 77 – Nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético (taxa de desconto 4% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo de energia 4,5%): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

5.10.2 Outros indicadores económicos

Neste ponto, abordam-se dois dos três critérios clássicos quantitativos e mais frequentemente utilizados na avaliação de investimentos, nomeadamente o Valor atual líquido (VAL), o período de recuperação do capital (PR) e a taxa interna de rentabilidade (TIR), que permitem à semelhança do cálculo do custo ótimo, avaliar quais as soluções estudadas mais rentáveis. Mantendo o foco nas duas primeiras, o VAL assenta na diferença entre a redução da fatura da energia e o capital investido, atualizados para o momento atual, sendo que os investimentos são economicamente viáveis, quando o VAL é positivo. Note-se a importância da taxa de atualização considerada, i_a . Quanto mais elevada for a taxa de atualização mais exigente será a análise económica das variantes. Relativamente ao período de recuperação do capital, tal como o nome indica, representa o prazo durante o qual os investimentos são recuperados.

Nas tabelas seguintes separou-se as soluções AP1 a AP15, para se poder comprar as variantes A16 – AP26 nos três climas estudados. Neste cenário, optou-se apenas por demonstrar os resultados, com as considerações inicialmente definidas e não avaliar a sensibilidade da alteração da inflação da energia como no subcapítulo anterior. De realçar que, todas as soluções a partir da AP9 até AP26 apresentam viabilidade económica. A variante AP22, relativa à bomba de calor reversível, por aproveitamento geotérmico, derivado do custo da instalação dos permutadores enterrados em circuito fechado, apresenta uma rentabilidade económica mais reduzida, com período de retorno do capital mais elevado (tabela 23). A redução da fatura energética é bastante expressiva a partir da variante AP14, aquando da introdução da ventilação controlada em função das necessidades de utilização e da instalação de iluminação eficiente (tabela 22). Ainda neste quadro, a redução da fatura sem a introdução da utilização de produção de energia elétrica para autoconsumo, atinge uma redução de aproximadamente 40% nos três climas (AP20), ver tabela 25. Quando se utiliza a produção local através dos sistemas fotovoltaicos, aquela redução ascende a mais de 50% em todos os climas analisados. Pode-se concluir pelos casos de estudo analisados no decorrer deste trabalho, que é possível intervir no edifício de forma energeticamente inteligente, respondendo ao desafio das necessidades quase nulas de energia, sendo tudo isto possível com rentabilidades de investimento atrativas para os proprietários.

AP ref.	Investimento [Euros]	Custo energético	Cga (20 anos) [€/m ²]	Economia			VAL (período 20 anos)	Retorno (PR) anos
				[kWh/ano]	[Euros]	[%]		
Base	--	35.255 €	332,48 €	--	--	--	--	--
AP1	11.912 €	34.834 €	334,42 €	3516	421,57 €	1,2%	--	s/ viabilidade económica
AP2	106.790 €	34.928 €	380,68 €	2732	327,57 €	0,9%	--	s/ viabilidade económica
AP3	88.992 €	34.808 €	371,09 €	3731	447,39 €	1,3%	--	s/ viabilidade económica
AP4	109.757 €	34.978 €	382,55 €	2313	277,30 €	0,8%	--	s/ viabilidade económica
AP7	30.780 €	35.271 €	347,36 €	--	--	0,0%	--	não considerado
AP8	10.000 €	34.692 €	332,24 €	4702	563,77 €	1,6%	--	s/ viabilidade económica
AP9		34.773 €	328,17 €	4026	482,72 €	1,4%	--	imediato
AP11		35.133 €	331,39 €	1024	122,78 €	0,3%	--	Imediato
AP12	34.200 €	30.121 €	303,03 €	42821	5.134,21 €	14,6%	24.309 €	11,69
AP13	16.301 €	29.311 €	287,23 €	49575	5.944,00 €	16,9%	57.306 €	4,43
AP14	50.501 €	24.230 €	258,25 €	91958	11.025,78 €	31,3%	117.856 €	6,00
AP15	62.413 €	23.608 €	258,40 €	97146	11.647,76 €	33,0%	117.541 €	6,94

Para o Cga e o VAL considerou-se: taxa de atualização 4% | inflação 2,5% | inflação da energia 3,3%

Tabela 22 – Principais indicadores económicos avaliados no Porto: cenário base e AP1 – AP15

ref.	Porto			Bragança		Faro	
	Investimento	VAL	PR	VAL	PR	VAL	PR
AP16	67.413 €	135.815 €	6,63	156.424 €	6,02	136.273 €	6,62
AP17	75.420 €	135.389 €	7,16	155.832 €	6,52	134.868 €	7,17
AP18	83.900 €	135.117 €	7,66	155.038 €	7,02	131.458 €	7,79
AP19	82.270 €	139.519 €	7,42	158.791 €	6,83	134.800 €	7,58
AP20	113.900 €	111.180 €	10,12	134.058 €	9,19	109.226 €	10,21
AP21	109.890 €	105.033 €	10,23	123.159 €	9,43	102.120 €	10,37
AP22	174.612 €	56.182 €	15,13	85.270 €	13,44	59.544 €	14,91
AP23	128.900 €	169.261 €	8,65	193.720 €	7,99	180.459 €	8,33
AP24	154.890 €	139.177 €	10,53	161.841 €	9,78	151.121 €	10,12
AP25	158.900 €	145.324 €	10,45	172.740 €	9,58	158.227 €	10,02
AP26	219.612 €	90.326 €	14,17	123.952 €	12,78	108.545 €	13,38

Tabela 23 – Principais indicadores económicos AP16 – AP26 (taxa de desconto 4% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo de energia 3,3%)

ref.	Porto		Bragança		Faro	
	C ₀	C _{ga}	C ₀	C _{ga}	C ₀	C _{ga}
Base	35.255 €	332,48 €	37.609 €	353,49 €	35.872 €	337,99 €
AP16	22.359 €	249,65 €	23.608 €	260,79 €	22.952 €	254,94 €
AP17	21.953 €	249,86 €	23.210 €	261,08 €	22.598 €	255,61 €
AP18	21.513 €	249,99 €	22.798 €	261,46 €	22.326 €	257,24 €
AP19	21.364 €	247,88 €	22.684 €	259,66 €	22.234 €	255,64 €
AP20	21.187 €	261,44 €	22.314 €	271,50 €	21.909 €	267,89 €
AP21	21.732 €	264,39 €	23.114 €	276,72 €	22.505 €	271,29 €
AP22	20.881 €	287,77 €	21.675 €	294,86 €	21.318 €	291,67 €
AP23	16.020 €	233,64 €	17.062 €	242,94 €	16.037 €	233,79 €
AP24	16.240 €	248,04 €	17.378 €	258,20 €	16.216 €	247,83 €
AP25	15.695 €	245,10 €	16.578 €	252,98 €	15.620 €	244,43 €
AP26	15.389 €	271,43 €	15.939 €	276,34 €	15.028 €	268,21 €

Tabela 24 – Custo energético anual e custo global atualizado AP16 – AP26 (taxa de desconto 4% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo de energia 3,3%)

AP	Redução Economia Porto			Redução Economia Bragança			Redução Economia Faro		
ref.	[kWh/ano]	[Euros]	[%]	[kWh/ano]	[Euros]	[%]	[kWh/ano]	[Euros]	[%]
AP16	107557	12.896,05 €	36,6%	116775	14.001,35 €	37,2%	107762	12.920,60 €	36,0%
AP17	111579	13.302,65 €	37,7%	120742	14.399,07 €	38,3%	111462	13.274,70 €	37,0%
AP18	110556	13.742,84 €	39,0%	119784	14.811,30 €	39,4%	110830	13.546,59 €	37,8%
AP19	120694	13.891,53 €	39,4%	129067	14.925,15 €	39,7%	117092	13.638,42 €	38,0%
AP20	113268	14.068,02 €	39,9%	123818	15.295,06 €	40,7%	114304	13.963,23 €	38,9%
AP21	91375	13.523,28 €	38,4%	84257	14.495,45 €	38,5%	96305	13.367,03 €	37,3%
AP22	115824	14.374,49 €	40,8%	129152	15.934,57 €	42,4%	119238	14.554,79 €	40,6%
AP23	110556	19.235,22 €	54,6%	119784	20.547,08 €	54,6%	110830	19.835,82 €	55,3%
AP24	91375	19.015,66 €	53,9%	84257	20.231,23 €	53,8%	96305	19.656,26 €	54,8%
AP25	113268	19.560,39 €	55,5%	123818	21.030,83 €	55,9%	114304	20.252,47 €	56,5%
AP26	115824	19.866,87 €	56,4%	129152	21.670,34 €	57,6%	119238	20.844,03 €	58,1%

Tabela 25 – Reflexo da economia de energia no edifício em valores monetários e energéticos AP16 – AP26

6 Caso de estudo – Edifício de Habitação

6.1 Introdução ao caso de estudo

O caso de estudo proposto diz respeito à análise de uma habitação unifamiliar. Trata-se de uma reabilitação que foi elaborada à luz do atual Sistema Nacional de Certificação Energética, SCE, (Decreto-Lei n.º118/2103). É uma moradia com pré-certificado energético que foi necessário para a emissão da licença de construção. A habitação apresenta com o atual SCE, para a sua localização real, uma classificação energética de classe A, cumprindo todos os requisitos de qualidade térmica da envolvente e requisitos dos sistemas técnicos. No entanto, a moradia mantendo as mesmas soluções construtivas e os mesmos sistemas energéticos de produção de energia térmica, será “recolocada” e avaliada nas outras três zonas climáticas de Portugal, nomeadamente Porto, Bragança e Faro. Assim, à semelhança do realizado com o edifício de serviços, pretende-se avaliar um conjunto de soluções passivas (pela redução das necessidades de energia útil por intervenção na envolvente) e se necessário, ativas (pela promoção da eficiência dos sistemas técnicos), bem como, implementar o aumento da oferta, através do incremento da utilização de sistemas energéticos renováveis na moradia base, com objetivo de alcançar um balanço energético quase nulo, avaliando o seu comportamento nas três zonas climáticas. Para o efeito, recorreu-se à metodologia cálculo suportada pelo despacho 15793-I/2013, no âmbito do REH (Regulamento de desempenho Energético dos Edifícios de Habitação), para determinar desempenho energético da moradia e ao despacho 15793-k/2013 para a caracterização dos parâmetros térmicos. Adicionalmente, será avaliada a viabilidade económica das estratégias recomendadas na perspetiva do nível ótimo de rentabilidade. Aplicação desta metodologia permitirá identificar os níveis ótimos de rentabilidade, identificando as variantes de medidas de eficiência energética e de geração de energia através de fontes renováveis que, para além de garantirem os objetivos energéticos e ambientais estabelecidos, o consigam com o melhor compromisso entre o custo de investimento e o custo ao longo do ciclo de vida do edifício.

6.2 Caracterização geral do edifício

Trata-se de uma intervenção de grande reabilitação que visa a construção de uma moradia unifamiliar. Prevê-se que o pé direito médio da habitação seja de 2,86 metros (desde a face do pavimento acabado até à face inferior do teto acabado), com uma área útil de 176,34 m². A moradia é composta por dois pisos, de tipologia T4. No que respeita às fachadas, a principal está orientada a Nordeste (NE), a fachada posterior está orientada a Sudoeste (SW). A fração é constituída, maioritariamente, por vãos simples, em caixilharia metálica de cor clara, sem quadrícula, classe 2 de permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor 6+6 mm com 10 mm de lâmina de ar, com proteção solar exterior, por estores com réguas de plástico na cor clara, na maior parte dos vãos. Verifica-se que existem poucos obstáculos que provocam

sombreamento, sendo a sua classe de inércia térmica forte e a ventilação processada de forma natural. Na figura seguinte identifica-se a volumetria do edifício nas várias orientações.



(a): Vista principal a Nordeste



(b): Vista a Sudoeste



(c): Vista a Sudeste



(d): Vista a Noroeste

Figura 78 – Fachadas principais do edifício

Nas tabelas seguintes identificam-se as áreas por orientação da envolvente opaca e não opaca (envidraçados) e áreas totais da envolvente opaca.

Paredes	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		Total
Parede Exterior	5,00	53,00	0,00	48,00	0,00	49,00	0,00	43,00	0,00	198,00
Envidraçados Exteriores	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontais	Total
Total	0,00	2,88	0,00	9,60	0,00	15,12	0,00	1,56	0,00	29,16

Tabela 26 – Áreas por orientação [m²]

Área útil de pavimento [m ²]	176
Pé direito médio (ponderado) [m]	2,86

Elementos Correntes da Envolvente	
Pavimentos	A [m ²]
exteriores	11,8
interiores	12,68
Total	24
Paredes	A [m ²]
exteriores	198
interiores	15,56
Total	214
Coberturas	A [m ²]
em Terraço	44
Inclinadas	
interiores	56,90
Total	101
Envidraçados	A [m ²]
exteriores	29
interiores	
Total	29
Elementos em contacto com o Solo	A [m ²]
Paredes	
Pavimentos	89
Total	89

Tabela 27 – Áreas da envolvente

6.3 Caracterização da envolvente

6.3.1 Envolvente opaca exterior e interior

Na tabela seguinte observa-se o resumo dos diversos valores de coeficientes de transmissão térmica que caracteriza a qualidade térmica da envolvente opaca e que têm que garantir os requisitos térmicos. No Anexo B.1 encontram-se a descrição detalhada das soluções construtivas consideradas, bem como a sua pormenorização construtiva.

Solução Envolvente Opaca	Código Solução	U [W/m ² .°C]
PORMENOR 1 - PAREDES EXTERIORES DE 30,6cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior)	PE_01	0,42
PORMENOR 1 - PAREDES EXTERIORES DE 30,6cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior)	PE_01_PTP	0,88
PORMENOR 2 - PAREDES EXTERIORES DE ESPESSURA 25,6 cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior)	PE_02	0,65
PORMENOR 2 - PAREDES EXTERIORES DE ESPESSURA 25,6 cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior)	PE_02_PTP	0,90

PORMENOR 3 - CAIXA DE ESTORE	PTP_03	0,57
PORMENOR 4 - PAREDES INTERIORES DE 18 cm (ENU Garagem)	PI_01	1,49
PORMENOR 9 - LAJE DE ESTEIRA_ENU	COB_01	0,40
PORMENOR 10 - LAJE DE TERRAÇO HORIZONTAL NÃO ACESSÍVEL	COB_02	0,40
PORMENOR 11 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE O EXTERIOR	PAV_EXT	0,40
PORMENOR 12 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE A GARAGEM	PAV_INT	0,39

Tabela 28 – Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca

Foram identificados os espaços não úteis descritos na tabela seguinte, os quais estão em contacto com as zonas aí descritas da moradia em estudo.

Descrição do espaço não útil	Zonas com as quais está em contacto	b_v
Garagem	Parede e pavimento interior em contacto com a garagem: PI01 ; PAV_INT	0,9
Desvão da cobertura	Laje de interior sob desvão da cobertura – COB_01	0,8

Tabela 29 – Espaços não úteis identificados

6.3.2 Envidraçados e dispositivos de proteção solar

Os vãos envidraçados variam consoante diversos fatores, tais como: localização, orientação e exposição solar. Na sua projeção devem ter-se em conta requisitos de proteção solar, redução acústica e segurança (ou seja, proteção de pessoas e/ou bens).

Os vãos envidraçados inicialmente sugeridos no projeto são caracterizados por três tipos distintos, nomeadamente:

- VEDPPE: Vãos envidraçados simples inseridos nas fachadas Nordeste, Sudoeste e Sudeste, em caixilharia metálica, de correr, na cor clara, sem quadrícula, classe 2 de permeabilidade ao ar (de acordo com a norma EN 12207), vidro duplo incolor 6 mm + 6 mm com 10 mm de lâmina de ar, fator solar do vidro ($g_{L,v}$) de 0,75, com proteção solar pelo exterior por persiana de réguas plásticas na cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,04. Coeficiente de transmissão do conjunto do vão envidraçado (U_w) de 2,98 [W/(m².°C)].
- VEDCOI: Vãos envidraçados simples inseridos na fachada Sudeste em caixilharia metálica, giratória, na cor clara, sem quadrícula, classe 2 de permeabilidade ao ar (de acordo com a norma EN 12207), vidro duplo incolor 6 mm + 6 mm com 10 mm de lâmina de ar, fator solar do vidro ($g_{L,v}$) de 0,75, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo *blackout* de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,37. Coeficiente de transmissão do conjunto do vão envidraçado (U_w) de 3,10 [W/(m².°C)].
- VD SP: Vãos envidraçados simples inseridos na fachada Noroeste em caixilharia metálica, de tipo fixa e giratória, na cor clara, sem quadrícula, classe 2 de permeabilidade ao ar (de acordo com a norma EN 12207), vidro duplo incolor 6+6 com 10 mm de lâmina de ar, sem qualquer dispositivo de proteção solar, fator solar do vidro ($g_{L,v}$) de 0,75. Coeficiente de transmissão do conjunto do vão envidraçado (U_w) 3,66 (janela fixa) e 4 [W/(m².°C)] para janela giratória.

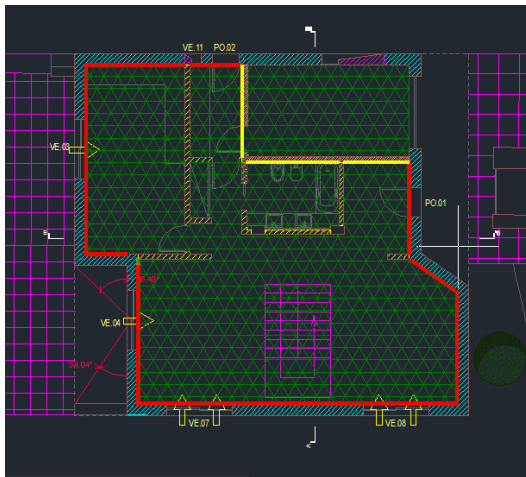
6.3.3 Classe de inércia térmica

A massa superficial útil de cada elemento da construção (M_{si}) depende fundamentalmente da localização e constituição de cada elemento construtivo que interferem no cálculo da inércia

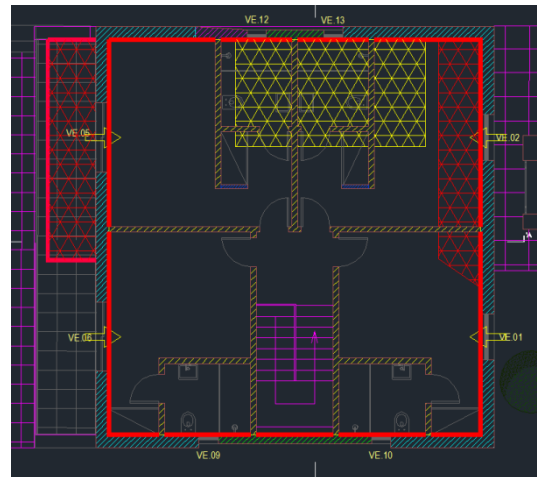
térmica interior, especificamente do posicionamento e características do isolamento térmico e do respetivo revestimento superficial.

A classe de inércia considerada para o imóvel foi Forte. Para determinação da classe de inércia foi utilizado o método detalhado considerando a contribuição das massas superficiais dos diversos elementos construtivos. O cálculo da inércia térmica interior da moradia unifamiliar em questão encontra-se no Anexo B.2.

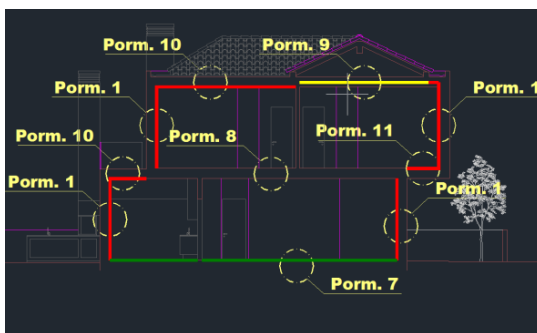
Na figura 79 visualiza-se as plantas e cortes do edifício em estudo, bem como caracteriza-se a delimitação da sua envolvente.



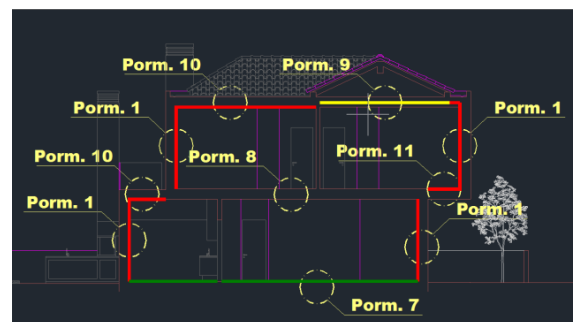
(a): Delimitação do piso 0



(b): Delimitação do piso 1



(c): Delimitação do corte A-A'



(d): Delimitação do corte B-B'

Figura 79 – Planas e cortes da moradia e respetiva delimitação da envolvente

Na codificação das cores, a delimitação a vermelho corresponde a envolvente exterior (horizontal e vertical), a amarelo visualiza-se a envolvente interior (horizontal e vertical) com requisitos térmicos de exterior, $b_{tr} > 0,7$ e a verde a envolvente sem requisitos de qualidade térmica no âmbito do REH.

Para efeitos de cálculo das situações de ponte térmica linear, o coeficiente de transmissão linear (ψ), foi determinado com recurso ao catálogo de pontes térmicas lineares do

*IteCons/ADENE*¹⁷ com valores de (ψ) determinados segundo a norma ISO 10211 para as diferentes soluções construtivas.

6.4 Renovação do ar interior

A renovação do ar interior no imóvel processa-se com base em ventilação natural, não estando prevista a instalação de ventilação mecânica com a exceção de ventiladores individuais na instalação sanitária e cozinha, com um funcionamento pontual e descontínuo.

O caudal de ar novo requerido por razões higiénicas em função da ocupação e atividade, mas também para compensação das extrações realizadas nos espaços (tais como cozinha, e instalações sanitárias), é garantido mediante depressão criada nestes espaços, sendo a compensação garantida de um modo natural mediante aberturas autorreguláveis instaladas nos vãos exteriores. O escoamento do ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço será assegurado por intermédio de folgas nas portas previstas pela arquitetura.

Para efeitos de determinação da respetiva taxa de ventilação, foi considerado que a moradia se encontra na região B¹⁸ em zona urbana, mas sem obstáculos que atenuem o vento, estando o edifício desprotegido.

Foi determinado o valor de 0,68 renovações de ar por hora (h^{-1}) quer para estação de aquecimento, quer para a estação de arrefecimento com base apenas na ventilação natural e considerando a caixilharia de classe 2 e a existência de aberturas autorreguladas a 2 Pa com caudal nominal total de $450 \text{ m}^3/\text{h}$, uniformemente distribuídas pelas fachadas.

6.5 Caraterização do sistema de climatização

No que respeita ao aquecimento ambiente, não se encontra definido qualquer sistema para o seu tratamento, pelo que no cálculo do desempenho energético em aquecimento, considerou um sistema por defeito, com recurso a resistência elétrica. Relativamente ao arrefecimento ambiente da moradia, foi considerado um sistema de expansão direta, multisplit, com EER de 2,8 (classe C), composto por uma unidade exterior e cinco unidades interiores do tipo mural. Sendo a interligação entre as unidades exteriores e as unidades interiores realizada através de tubagem de cobre, isolada termicamente para circulação do fluido frigorigéneo, constituído por 2 circuitos, ida e retorno.

6.6 Caraterização do sistema de preparação de AQS

A produção de água quente sanitária, AQS, será efetuada maioritariamente pelo sistema solar térmico e complementado pelo esquentador, a gás natural, com 19,2 kW de potência nominal e eficiência de 88 %. O esquentador inicialmente preconizado é concebido para funcionar com água pré-aquecida proveniente do sistema solar térmico, caso esta temperatura seja superior à definida pelo utilizador, o esquentador termostático não entra em funcionamento.

¹⁷ IteCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências de Construção. ADENE – Agência para a Energia.

¹⁸ Moradia situada a uma distância inferior a 5 km da costa, com altitude de 94 m para o Porto e 145 m para Faro. No caso de Bragança, foi considerado que a moradia se encontra a uma altitude de 680 m.

6.7 Caracterização do sistema de aproveitamento de energias renováveis

Encontra-se previsto um sistema solar térmico para produção de água quente sanitária, do tipo plano, com depósito. A energia térmica captada pelo sistema solar será transmitida à AQS através de permuta na serpentina do depósito de acumulação (300 litros), circulando num circuito fechado, não havendo contacto direto da água que circula no painéis solares e a AQS consumida no edifício.

O sistema solar será instalado na cobertura inclinada a 25° com azimute a 45°, não foram consideradas obstruções assinaláveis do horizonte, prevendo-se a instalação de dois coletores perfazendo uma área de aproximadamente 4,5 m². O cálculo da contribuição solar foi efetuado com recurso ao *Solterm 5.1*. Para as características e condições descritas, o valor obtido pelo programa para o fornecimento de energia térmica (E_{solar}) e a considerar na análise do comportamento do desempenho energético da moradia, é de 2290 kWh/ano para o Porto, 2317 kWh/ano para Bragança e de 2589 kWh/ano para Faro.

Na figura 80 apresenta-se a estimativa de desempenho de sistema solar térmico para o concelho do Faro, através do balanço energético mensal e anual (Aguiar et al., 2012).

Localização, posição e envolvente do sistema						
Concelho de Faro						
Coordenadas nominais: 37,0°N, 7,9°W						
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG(2009) www.lneg.pt solterm.suporte@lneg.pt)						
Obstruções do horizonte: por defeito						
Orientação do painel: inclinação 25° - azimute 45°						
Balanço energético mensal e anual						
	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	68	89	,	164	252	88
Fevereiro	84	103	,	175	228	53
Março	120	133	,	208	252	45
Abril	163	170	,	234	244	11
Maio	208	203	,	249	252	4
Junho	221	213	,	240	244	4
Julho	236	230	,	252	252	0
Agosto	219	224	,	252	252	0
Setembro	154	167	,	241	244	3
Outubro	113	135	,	220	252	32
Novembro	78	102	,	185	244	59
Dezembro	66	90	,	168	252	84
Anual	1729	1858	,	2589	2971	382
Fracção solar: 87,1%						
Rendimento global anual do sistema: 31%				Produtividade: 574 kWh/[m ² colector]		

Figura 80 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico para Faro

6.8 Contexto metodológico de cálculo do desempenho energético

No âmbito deste subcapítulo teve-se por base as portarias e despachos aplicáveis ao abrigo do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Decreto-lei nº 118/2013, bem como as normas Europeias relativas à matéria.

As necessidades de aquecimento são estimadas admitindo para a moradia um funcionamento médio em regime permanente, ou seja, temperatura do ambiente interior mantida num valor constante que se admite satisfazer as exigências de conforto térmico na estação fria. O cálculo das necessidades baseia-se no balanço térmico simples para o ar interior, traduzindo o

princípio da conservação da energia. Ou seja, se as perdas de calor forem maiores que os ganhos, a temperatura do ar interior tende a baixar. Para tal não acontecer é necessário fornecer, através de equipamento auxiliar, a energia correspondente à exata diferença entre as perdas e ganhos à mesma taxa de variação a que ocorrem. As necessidades de energia são contabilizadas numa base anual, pelo que o levantamento das perdas e dos ganhos segue essa unidade temporal. As necessidades anuais de aquecimento ($Q_{i'c}$), são determinadas de acordo com a norma europeia EN ISO 13790 e calculada pela expressão seguinte:

$$Q_{i'c} = (Q_{tr,i'} + Q_{ve,i'} - \eta_{g,i'} \cdot Q_{g,i'}) \quad (6.1)$$

em que:

$Q_{i'c}$	Necessidades anuais de aquecimento, [kWh/ano]
$Q_{tr,i'}$	Transferência de calor por transmissão global na estação de aquecimento pela envolvente, [kWh]
$Q_{ve,i'}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh]
$Q_{g,i'}$	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, que corresponde à soma dos ganhos internos de calor ($Q_{int,i'}$), com os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos ($Q_{sol,i'}$), [kWh]
$\eta_{g,i'}^{19}$	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento. A contabilização dos ganhos úteis a partir dos ganhos térmicos brutos é calculada em função da inércia térmica e da relação entre os ganhos térmicos brutos e as perdas por transferência de calor por transmissão pela envolvente e pela ventilação.

O coeficiente global de transferência de calor num edifício (H_t) é dado pela soma do coeficiente global de transferência de calor por transmissão pela envolvente (H_{tr}) e do coeficiente de transferência de calor por ventilação devido à renovação do ar interior (H_{ve}).

Na estação de aquecimento, a determinação das perdas de calor através da envolvente ($Q_{tr,i'}$) e perdas de calor devido à renovação do ar interior ($Q_{ve,i'}$), são calculadas pela multiplicação do número de graus-dia (GD) na base de 18°C, com a soma de duas parcelas, o coeficiente global de transferência de calor por transmissão pela envolvente ($H_{tr,i'}$) e o coeficiente de transferência de calor por ventilação ($H_{ve,i'}$), de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{(tr+ve),i'} = 0,024 \cdot GD \cdot (H_{tr,i'} + H_{ve,i'}) \quad (6.2)$$

¹⁹ O fator de utilização de ganhos térmicos, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento é calculado de acordo com as seguintes expressões: se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$ $\eta = (1 - \gamma^a)/(1 - \gamma^{a+1})$; se $\gamma = 1$ $\eta = a/(a + 1)$ e se $\gamma < 0$ $\eta = 1/\gamma$. Com $a = 1,8$ em edifícios de inércia térmica fraca, $a = 2,6$ em edifícios de inércia térmica média e $a = 4,2$ em edifícios de inércia térmica forte. Em que:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve})$$

Q_g	Ganhos térmicos brutos na estação em estudo, [kWh]
Q_{tr}	Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, na estação em estudo, [kWh]
Q_{ve}	Transferência de calor por ventilação na estação em estudo, [kWh]
a	Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica

em que:

GD	Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região, na base 18°C [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$]
$H_{tr,i'}$	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$]
$H_{ve,i'}$	Coefficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [$\text{W}/^{\circ}\text{C}$]

Por sua vez, o coeficiente global de transferência de calor por transmissão ($H_{tr,i'}$) para efeito de cálculo das necessidades na estação de aquecimento, resulta na soma do coeficiente de transferência de calor através da envolvente em contacto com o exterior (H_{ext}), da envolvente em contacto com espaços não úteis (H_{enu}), da envolvente em contacto com edifícios adjacentes (H_{adj}) e de elementos em contacto com o solo (H_{ecs}).

Para o cálculo do coeficiente de transferência de calor por ventilação ($H_{ve,i'}$), calcula-se através da seguinte equação:

$$H_{ve,i'} = \left(\frac{\rho_{ar} \cdot C_p}{3600} \right) \cdot R_{ph,i'} \cdot A_p \cdot pd \quad (6.3)$$

em que:

ρ_{ar}	Massa volúmica do ar, $\rho_{ar} \cong 1,21$ [kg/m^3]
C_{par}	Calor específico do ar, $C_{par} \cong 1005$ [$\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
$R_{ph,i'}$	Taxa nominal horária de renovação do ar interior, para a estação de aquecimento [h^{-1}]
$A_p \cdot pd$	Volume do edifício ou fracção, [m^3]
$\left(\frac{\rho_{ar} \cdot C_{par}}{3600} \right)$	Este termo toma o valor de 0,34 [$\text{W}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$]

No que respeita aos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados no período de aquecimento ($Q_{sol,i'}$), o cálculo é efetuado segundo a seguinte expressão:

$$Q_{sol,i'} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i'n,j} \cdot A_{s,i'n,j} \right] \cdot M \quad (6.4)$$

em que:

G_{sul}	Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{mês}$]
X_j	Fator de orientação para as diferentes exposições
$F_{s,i'n,j}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento
$A_{s,i'n,j}$	Área efetiva de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m^2]
M	Duração média da estação convencional de aquecimento, [meses]

Relativamente aos ganhos internos ($Q_{int,i'}$), resulta da multiplicação dos ganhos internos médios ($4 \text{ W}/\text{m}^2$), pela área de pavimento e pela duração média da estação de aquecimento (M), entretanto convertida na base anual.

A metodologia para o cálculo das necessidades anuais de arrefecimento (Q_{vc}) é complementar à utilizada para o cálculo dos ganhos úteis na estação de aquecimento. Os ganhos úteis são definidos como aqueles que não provocam sobreaquecimento do espaço interior. Por oposição, os ganhos não úteis originam sobreaquecimento e, nesta medida,

implicam necessidades de arrefecimento para o restabelecimento das condições de conforto dos espaços. Sendo os ganhos não úteis o problema típico do Verão, a sua contabilização pode ser feita adotando a metodologia de cálculo dos ganhos úteis para a estação fria, adaptada às condições exteriores e interiores do Verão, e afetando os ganhos totais no Verão (ganhos internos e ganhos solares através da envolvente opaca e transparente) do fator $(1 - \eta)$, para obter as necessidades anuais de arrefecimento da moradia. Para a estação de arrefecimento, as necessidades anuais são determinadas também de acordo a norma europeia EN ISO 13790 e calculadas pela expressão seguinte:

$$Q_{vc} = (1 - \eta_{g,v}) \cdot Q_{g,v} \quad (6.5)$$

em que:

Q_{vc}	Necessidades anuais de arrefecimento, $[kWh/ano]$
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, que corresponde à soma dos ganhos internos de calor ($Q_{int,v}$), com os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente opaca e na envolvente envidraçada ($Q_{sol,v}$), $[kWh]$
$\eta_{g,v}$	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento.

Baixando ao detalhe a estação de arrefecimento, os ganhos térmicos resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada ($Q_{sol,v}$), calculam-se de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vn,j} \cdot A_{s,vn,j} \right] \quad (6.6)$$

em que:

I_{sol}	Intensidade média de radiação total incidente na orientação j , ao longo da estação de arrefecimento, $[kWh/m^2]$
$F_{s,vn,j}$	Fator de obstrução da superfície n com orientação j
$A_{s,vn,j}$	Área efetiva de radiação solar na superfície n com a orientação j , $[m^2]$

A metodologia de cálculo dos ganhos internos na estação de arrefecimento é igual à descrita para as necessidades de aquecimento, mas para a estação de arrefecimento, que tem uma duração convencional de 4 meses (2.928 horas).

Tendo em conta a natureza das parcelas que foram apresentadas anteriormente para o cálculo das necessidades anuais de arrefecimento, importa agora explicar a transferência de calor por transmissão da envolvente ($Q_{tr,v}$) e a transferência de calor devido à renovação do ar interior, ($Q_{ve,v}$), que juntamente com os ganhos térmicos brutos são a base para o cálculo do fator de utilização de ganhos térmicos. Assim a transferência de calor resulta da relação:

$$Q_{(tr+ve),v} = 2,928 \cdot (H_{tr,v} + H_{ve,v}) \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad (6.7)$$

em que:

$\theta_{v,ref}$	Temperatura de referência na estação de arrefecimento, sendo a temperatura convencional de conforto, igual a 25°C
------------------	---

$\theta_{v,ext}$	Temperatura de média do ar exterior na estação de arrefecimento, [°C]
$H_{tr,v}$	Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, sendo a metodologia de cálculo igual à descrita na estação de aquecimento, mas com a soma de três parcelas. $H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs}$, [W/°C] (6.8)
$H_{ve,v}$	Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, sendo a metodologia de cálculo igual à descrita na estação de aquecimento, mas com a taxa de renovação do ar interior $R_{ph,v}$ da estação de arrefecimento, [W/°C]

No âmbito do REH a estação de arrefecimento tem a duração de 4 meses (2.928 horas), sendo feita a divisão por 1.000 para converter Wh em kWh.

Relativamente às necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS (Q_a), a metodologia é igual a descrita na equação (5.8) do capítulo anterior, dedicado ao edifício de serviços.

Devido às perdas que ocorrem nos processos de produção e transporte de energia térmica, para se conseguir a energia útil dos diferentes usos, n , aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias), a energia solicitada pelos sistemas térmicos (k), deverá ser naturalmente superior e dependerá da eficiência (η_k) com que são realizados aqueles processos. Assim, a passagem das necessidades de energia útil para energia efetivamente consumida pelos equipamentos é feita utilizando a expressão (5.6) do capítulo 5.

Seguindo o mesmo foco, o índice de desempenho energético em termos de energia primária, é determinado pela soma dos diferentes consumos anuais de energia, por fonte de energia i , incluindo as de origem renovável, através da equação (5.6), satisfazendo as necessidades úteis dos n usos: aquecimento (Q_{ic}), arrefecimento (Q_{vc}), produção de AQS (Q_a) e consumo de ventilação mecânica (W_{vm}), deduzidas das eventuais contribuições de fontes de energia renovável (E_{REN}) destinadas ao consumo e convertidos para energia primária ($F_{pu,i}$) por unidade de área interior útil de pavimento (A_{pav}). O índice de energia primária para o edifício de habitação no âmbito deste estudo, será designando por necessidades nominais de energia primária (N_{tc}), sendo calculado através da expressão (5.5) do capítulo 5 e adaptada para seguinte forma geral:

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \frac{1}{A_{pav}} \left[\sum_i \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot Q_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,i} \right] + \frac{1}{A_{pav}} \left[\sum_i \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta^{20} \cdot Q_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,i} \right] \\
 & + \frac{1}{A_{pav}} \left[\sum_i \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,i} \right] + \frac{1}{A_{pav}} \sum_i W_{vm,i} \cdot F_{pu,i} \\
 & - \frac{1}{A_{pav}} \sum_i E_{REN,i} \cdot F_{pu,i} \quad (6.9)
 \end{aligned}$$

²⁰ No âmbito do REH, δ toma o valor 1, exceto para o uso de arrefecimento (Q_{vc}) que pode tomar o valor 0 sempre que o risco de sobreaquecimento for minimizado. Ou seja, sempre que o fator de utilização de ganhos η_v for superior ao respetivo fator de utilização de ganhos térmicos de referência $\eta_{v,REF}$, o que significa uma melhor gestão dos ganhos úteis que são aqueles que não provocam sobreaquecimento interior. Por sua vez, o $\eta_{v,REF}$ é calculado em função da diferença entre a temperatura convencional de conforto, $\theta_{v,ref} = 25^\circ\text{C}$ e a temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento ($\theta_{v,ext}$). Sendo $\eta_{v,REF} = 0,45$ se $0 < \Delta\theta \leq 1$; $\eta_{v,REF} = 0,30$ se $\Delta\theta \leq 0$ e $\eta_{v,REF} = 0,52 + 0,22 \ln\Delta\theta$ para $\Delta\theta > 1$. No decorrer deste caso de estudo este parâmetro foi considerado.

Para além das necessidades de energia, outro apontamento relevante é a determinação da potência dos sistemas de aquecimento e arrefecimento no edifício residencial. O dimensionamento dos sistemas de climatização deve ser efetuado para uma situação de ponta, ou seja, para que este consiga dar resposta na maioria das situações. No que respeita ao aquecimento para contabilizar uma certa margem de segurança considera-se que o sistema de aquecimento deve ser capaz de repor todas as perdas térmicas. Ou seja, desprezam-se os eventuais ganhos térmicos que possam existir.

Conhecido o coeficiente global de transferência de calor (H_t em W/°C) para estação de aquecimento, representativo das trocas de calor sensível com o exterior, com os espaços não climatizados, edifícios adjacentes, através dos elementos em contacto com o terreno, através das pontes térmicas lineares e devidas à renovação do ar interior (seja por ventilação natural ou mecânica), a potência térmica sensível útil a fornecer ao ar interior do edifício para realizar o seu aquecimento ($P_{saq,i'}$ em kW) pode então ser obtida através da seguinte expressão:

$$P_{saq,i'}^{21} = \frac{(H_{tr,i'} + H_{ve,i'})}{1.000} \cdot (\theta_{i,i'} - \theta_{i',extp}) \quad (6.10)$$

em que:

$\theta_{i,i'}$	Temperatura do ar interior para o projeto na estação de aquecimento, para a qual se sugere 20°C
$\theta_{i',extp}$	Temperatura do ar exterior do projeto, especificada aqui para uma probabilidade acumulada de ocorrência de 2,5% de acordo com a publicação do INMG (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica) em função do local, [°C].

No que respeita à potência de arrefecimento, o cálculo preciso dada a natureza altamente dinâmica dos fenómenos em causa, só é possível por meio de simulação dinâmica detalhada, metodologia que foi utilizada no caso de estudo do capítulo 5. No entanto, no âmbito deste caso de estudo, recorreu-se à metodologia de cálculo simplificada de Raimundo (2012), adaptada à situação atual do âmbito REH.

Para se contabilizar uma certa margem de segurança considera-se que o sistema de arrefecimento deve ser capaz de retirar todos os ganhos térmicos. Ou seja, desprezam-se as eventuais perdas térmicas que possam existir.

Os ganhos térmicos no verão devem-se aos ganhos sensíveis brutos a partir do ambiente exterior, aos ganhos sensíveis devidos à radiação solar, aos ganhos sensíveis por produção interna de calor e aos ganhos latentes devidos à condensação de vapor de água associada ao processo de arrefecimento do ar “húmido”.

Conhecido o coeficiente global de transferência de calor (H_t em W/°C) para a estação de arrefecimento, representativo das transferências de calor pela envolvente e transferências de calor devidas à renovação do ar interior, o valor da potência térmica sensível de arrefecimento (a retirar ao ar interior) devida aos ganhos associados à envolvente e aos ganhos associados ao ar exterior ($P_{trans,v}$ em kW) pode ser obtido através da seguinte expressão:

²¹ No caso de edifícios residências, a única carga latente com impacto em termos de dimensionamento dos equipamentos de climatização é a associada à renovação do ar interior, seja por ventilação natural ou por ventilação mecânica. A potência latente de aquecimento só pode ser contabilizada se existirem dispositivos dedicados à humedificação do ar interior ou do ar insuflado. Neste caso concreto, a potência de calor latente não foi considerada.

$$P_{trans,v}^{22} = \frac{(H_{tr,v} + H_{ve,v})}{1.000} \cdot (\theta_{v,ext,p} - \theta_{i,v}) \quad (6.11)$$

em que:

- $\theta_{i,v}$ Temperatura do ar interior para o projeto que será igual à temperatura de referência na estação de arrefecimento, igual a 25°C
- $\theta_{v,ext,p}$ Temperatura do ar exterior do projeto, especificada aqui para uma probabilidade acumulada de ocorrência de 97,5% de acordo com a publicação do INMG (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica) em função do local, [°C].

Os ganhos solares brutos no verão ($Q_{sol,v}$) devem-se aos ganhos solares pela envolvente envidraçada ($Q_{senvidra,v}$ em kWh/ano) e aos ganhos solares pela envolvente opaca ($Q_{sopaco,v}$ em kWh/ano). No âmbito do REH, a duração da estação de arrefecimento é de 122 dias (meses de junho, julho, agosto e setembro). Considerando que nestes meses há 12 horas/dia efetivas “de Sol”, obtêm-se 1.464 horas de radiação solar (Raimundo, 2012). Tendo em conta o perfil diário da intensidade da radiação solar, pode demonstrar-se que em cada dia o seu valor máximo é cerca de quatro vezes o valor médio. Então, o valor da potência térmica requerida de arrefecimento devida aos ganhos solares ($P_{solar,v}$ em kW) pode ser obtido através da seguinte expressão (Raimundo, 2012):

$$P_{solar,v} = \frac{4 \cdot (Q_{senvidra,v} + Q_{sopaco,v})}{1.464} \quad (6.12)$$

Por outro lado, num edifício de habitação existe os ganhos resultantes de fontes internas de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, ao calor dissipado dos equipamentos e à iluminação ($Q_{int,v}$ em kWh/ano). Sabendo que a duração da estação de arrefecimento considerada pelo REH corresponde a 2.928 horas e tendo em conta o perfil diário destes ganhos, pode admitir-se que o seu valor máximo é cerca de duas vezes o médio. Então, o valor da potência térmica sensível devida aos ganhos internos ($P_{int,v}$ em kW) é dado por (Raimundo, 2012):

$$P_{int,v} = \frac{2 \cdot (Q_{int,v})}{2.928} \quad (6.13)$$

Nesta conformidade, a potência térmica útil a retirar ao ar interior para realizar o seu arrefecimento ($P_{arr,v}$ em kW) é definido no âmbito deste caso de estudo por:

$$P_{arr,v} = P_{trans,v} + P_{solar,v} + P_{int,v} \quad (6.14)$$

²² Na estação de arrefecimento a potência latente devido à ventilação foi desprezada no cálculo da potência térmica útil a retirar ao ar interior.

6.9 Indicadores de desempenho energético

Na figura 81 é possível visualizar-se os resultados anuais para os três climas do estudo. Os valores apresentados incluem as necessidades energéticas, os consumos por usos, bem como, a estrutura de energia final por forma de energia para o cenário base.

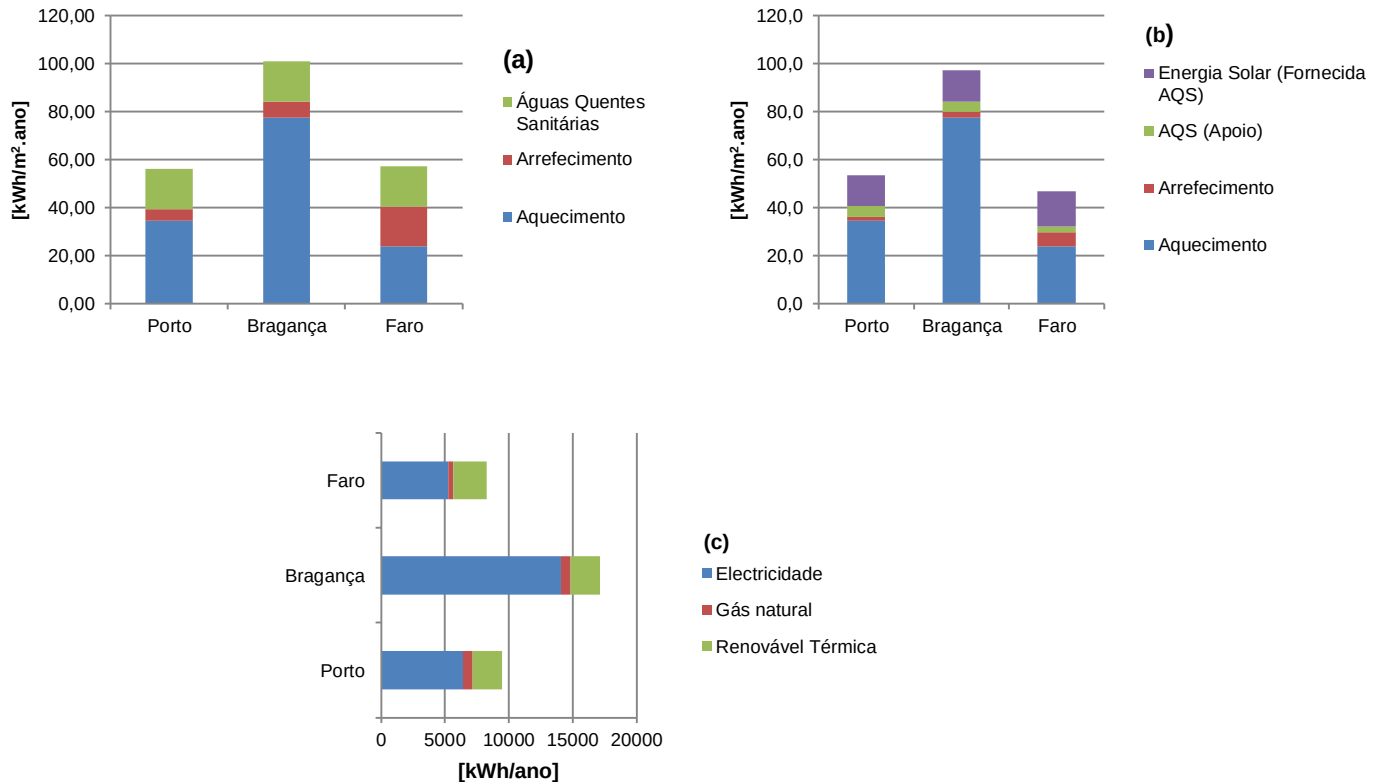


Figura 81 – (a) Necessidades de energia útil e consumo anual de energia final: (b) por uso e (c) por fonte de energia

É notório o destaque das necessidades de energia útil para aquecimento nas três cidades, logicamente que o maior peso relativo centra-se em Bragança (77%), devido à severidade do clima (traduzida pelo valor dos graus-dia de aquecimento), seguido do Porto (61%) e Faro (42%). Por sua vez, é em Faro que as necessidades de arrefecimento se expressam e representam 29%, não sendo nada significativas nos outros dois climas. Ressalta a elevada exposição da habitação às condições exteriores através da envolvente e portanto maior dependência do clima, justificando-se pelo facto de ser um edifício de habitação, existe maior relação entre a área da envolvente (através das qual se processam as trocas de calor) e volume interior, logo uma importância elevada da resistência térmica da envolvente no comportamento térmico do edifício.

Relativamente às necessidades úteis de AQS, que representam o segundo maior peso relativo, são maioritariamente satisfeitas pelo solar térmico, com fração solar de 77% no Porto, 78% em Bragança e 87% em Faro. Na perspetiva dos consumos, o aquecimento ambiente reflete a resistência elétrica ($\eta=1$) e no consumo do arrefecimento ambiente é refletida a eficiência do sistema multisplit ($EER = 2,8$). Importa ainda destacar, pela figura 81c, o elevado peso da eletricidade para satisfazer a procura dos usos de aquecimento e arrefecimento ambiente.

Na figura 82a e tabela 30 visualiza-se os indicadores de desempenho energético do edifício base, expressos em energia final nos três climas do estudo. De salientar, que na zona climática

do Porto, o consumo associado ao arrefecimento não foi contabilizado, derivado ao facto de δ tomar o valor nulo uma vez que o risco de sobreaquecimento é minimizado. Ou seja, o fator de utilização de ganhos η_v é superior ao respetivo fator de utilização de ganhos térmicos de referência $\eta_{v,REF}$, tal como anterior explicado no contexto metodológico. Importa referir que o consumo de águas quentes sanitárias (AQS) engloba a energia associada ao solar térmico, a única fonte renovável do edifício. Na tabela 30 e na figura 82b apresentam-se também as necessidades anuais de energia primária, ressaltando o consumo de energia primária na zona de Bragança. No Anexo B.3 sintetiza-se os resultados de cálculo nas três zonas climáticas.

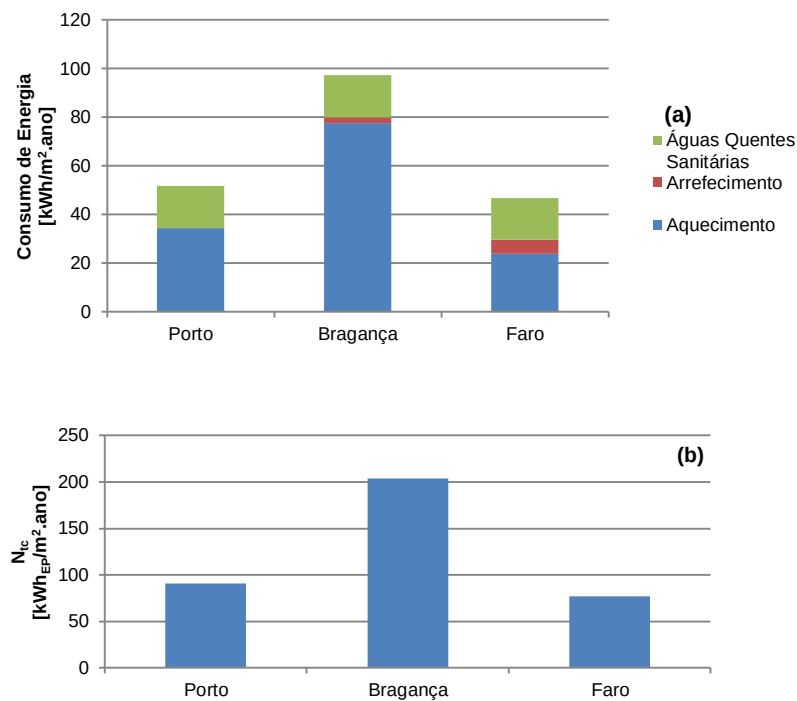


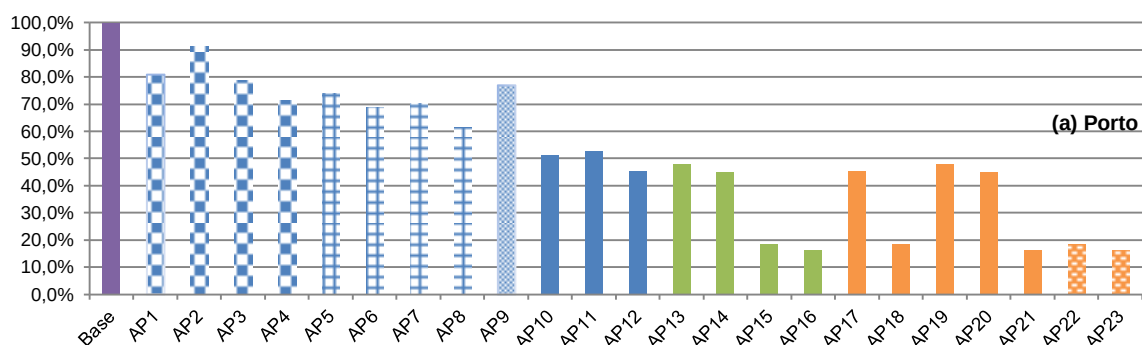
Figura 82 – (a) Desempenho energético por uso (b) Necessidades anuais de energia primária (Ntc)

		Edifício Base		
Necessidades anuais de energia		Porto	Bragança	Faro
Aquecimento	[kWh/m².ano]	34,53	77,55	23,79
Arrefecimento	[kWh/m².ano]	4,83	6,65	16,64
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m².ano]	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho				
Aquecimento	[kWh/m².ano]	34,53	77,55	23,79
Arrefecimento	[kWh/m².ano]	0,00	2,38	5,94
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m².ano]	17,38	17,36	17,15
Aquecimento	[kWh _{EP} /m².ano]	86,33	193,88	59,48
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m².ano]	0,00	5,94	14,86
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m².ano]	17,38	17,36	17,15
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m².ano]	-12,99	-13,14	-14,68
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m².ano]	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m².ano]	90,72	204,03	76,81
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	2,35	5,22	1,98

Tabela 30 – Resumo dos principais indicadores de desempenho

6.10 Medidas de eficiência energética e produção de energia local

Pretende-se realizar análises de sensibilidade no cenário base, através dos dois eixos de atuação eficiência energética/produção local, de forma a identificar soluções que visem otimizar o desempenho energético da habitação, no sentido de atingir a meta pretendida de balanço energético quase nulo. Do lado da procura de energia, as medidas ou conjunto de medidas, seguem uma hierarquia e têm particular incidência, na redução das necessidades de energia por intervenção na envolvente térmica, através da melhoria das soluções construtivas, através da melhoria das características dos vãos envidraçados e através da otimização das necessidades associadas à ventilação, posteriormente, segue-se a otimização dos consumos associados aos sistemas de climatização e preparação de AQS. Do lado da oferta, o aumento da utilização de energias renováveis no edifício, através da implementação de sistemas produção local de energia renovável para autoconsumo. As análises de sensibilidades serão avaliadas nos três climas em simultâneo. Assim, no trabalho foi avaliada a possibilidade de implementar soluções, de acordo com a figura 83, que representa os consumos da moradia após a introdução de cada medida ou conjunto de medidas nos três climas, independentemente de terem progredido ou não ao longo do processo de análise. De notar que, as cores representam medidas incidentes em diferentes setores de atuação e o padrão representa dentro de cada setor diferentes planos de ação. Por ordem de prioridades, o padrão azul, composto pelas primeiras oito análises paramétricas (AP), passa pela intervenção na envolvente, que por sua vez, representa um conjunto de medidas na envolvente opaca, envolvente envidraçada, o padrão da análise AP9 é referente unicamente à ventilação. O azul sólido representa a combinação simultânea de variantes do setor da envolvente opaca e não opaca com a combinação da ventilação. De notar que são medidas cuja implementação provoca uma redução do consumo de energia no próprio setor mas também, indiretamente, no sistema de climatização devido à redução da carga térmica (ganho ou perdas de calor) que provocam. Na progressão de uma das variantes anteriores com a ventilação, será então otimizado o sistema de climatização e água quente sanitária e avaliado o efeito da eficiência energética dos sistemas, sinalizado a verde na figura. Por fim, analisa-se a utilização de energias renováveis no edifício, representado a laranja, na figura 83, com o seu padrão a significar uma variante desse setor. No Anexo B.4 encontra-se a descrição das análises paramétricas realizadas.



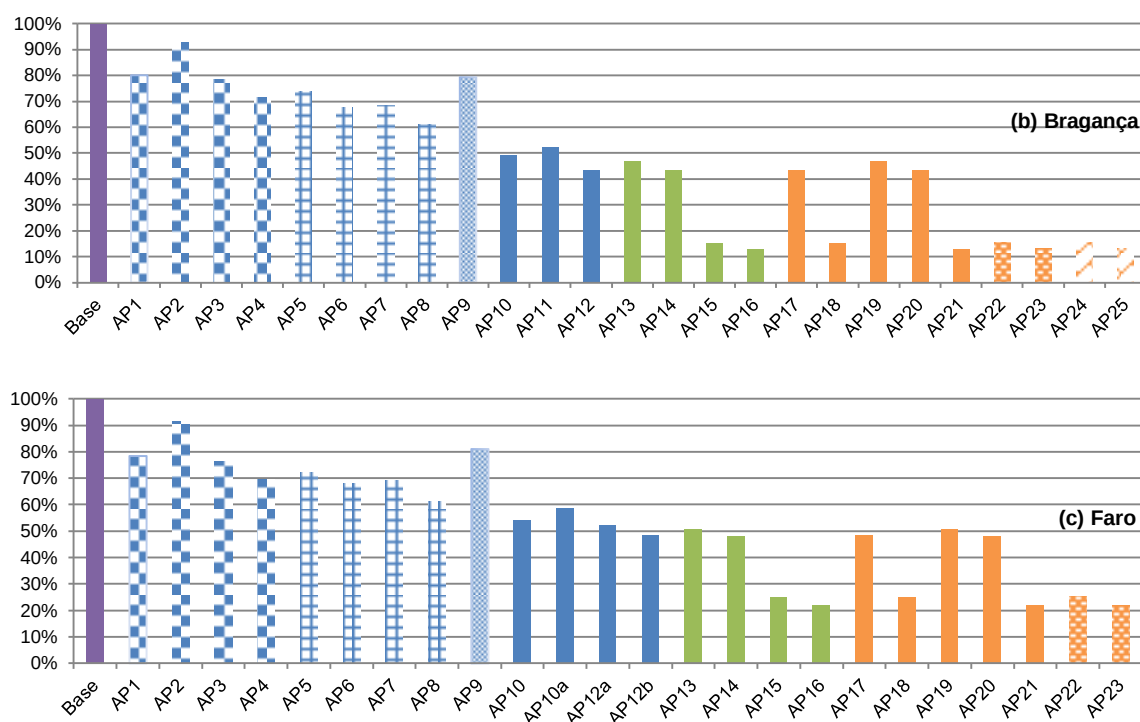


Figura 83 – Consumo de energia de cada análise quantificada em [%]: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

6.10.1 Otimização da envolvente térmica

Relembrando a caracterização genérica da moradia em análise, que é composta por paredes exteriores simples em alvenaria com isolamento térmico pelo exterior (material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado, EPS, de 6 cm) em toda a envolvente opaca vertical com requisitos térmicos. Pavimentos e coberturas com requisitos térmicos com isolamento térmico de 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal). Vãos envidraçados em caixilharia metálica sem rotura térmica, vidro duplo corrente, com fator solar ($g_{L,v}$) de 0,75 (6 mm + 6 mm) com caixa-de-ar de 10 mm, $U_w = 2,98 - 4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. No que respeita ao sistema de climatização, aquecimento por resistência elétrica e multisplit com EER = 2,8 (classe C) para arrefecimento. E a produção de água quente sanitária, AQS, será efetuada maioritariamente pelo sistema solar térmico e complementado pelo esquentador a gás natural.

No âmbito da envolvente opaca horizontal e vertical, analisou-se o aumento da espessura do isolamento, não alterando a sua localização na estrutura de base e não interferindo na inércia térmica do edifício, as variantes são:

- AP1: Aumento do isolamento térmico em 2 cm em toda a envolvente opaca exterior e interior (horizontal e vertical) com requisitos térmicos e aplicação de isolamento na parede interior para espaço não útil (ENU) a garagem (8 cm).
- AP2: Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos.
- AP3: Aumento do isolamento térmico em 2 cm na envolvente opaca (vertical) com requisitos térmicos, aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (8 cm de EPS) e aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos.
- AP4: Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (vertical) com requisitos térmicos, aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (10

cm) e aumento do isolamento térmico em 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos.

Na figura abaixo visualiza-se a evolução do comportamento das soluções estudadas da envolvente opaca nos três climas, através dos indicadores de desempenho expressos em energia final. O maior impacto, tal como esperado e pretendido, deu-se na redução dos consumos na estação de aquecimento, com economia de energia global para o edifício a variar entre 8,6% a 28,6% no Porto, 7,2% a 28,3% em Bragança e 8,4% a 30,4% em Faro. A análise mais expressiva com seria de esperar centra-se na análise paramétrica (AP) 4. De referir que, apenas se encontra identificado o uso de arrefecimento e aquecimento onde existiu efetivamente intervenção.

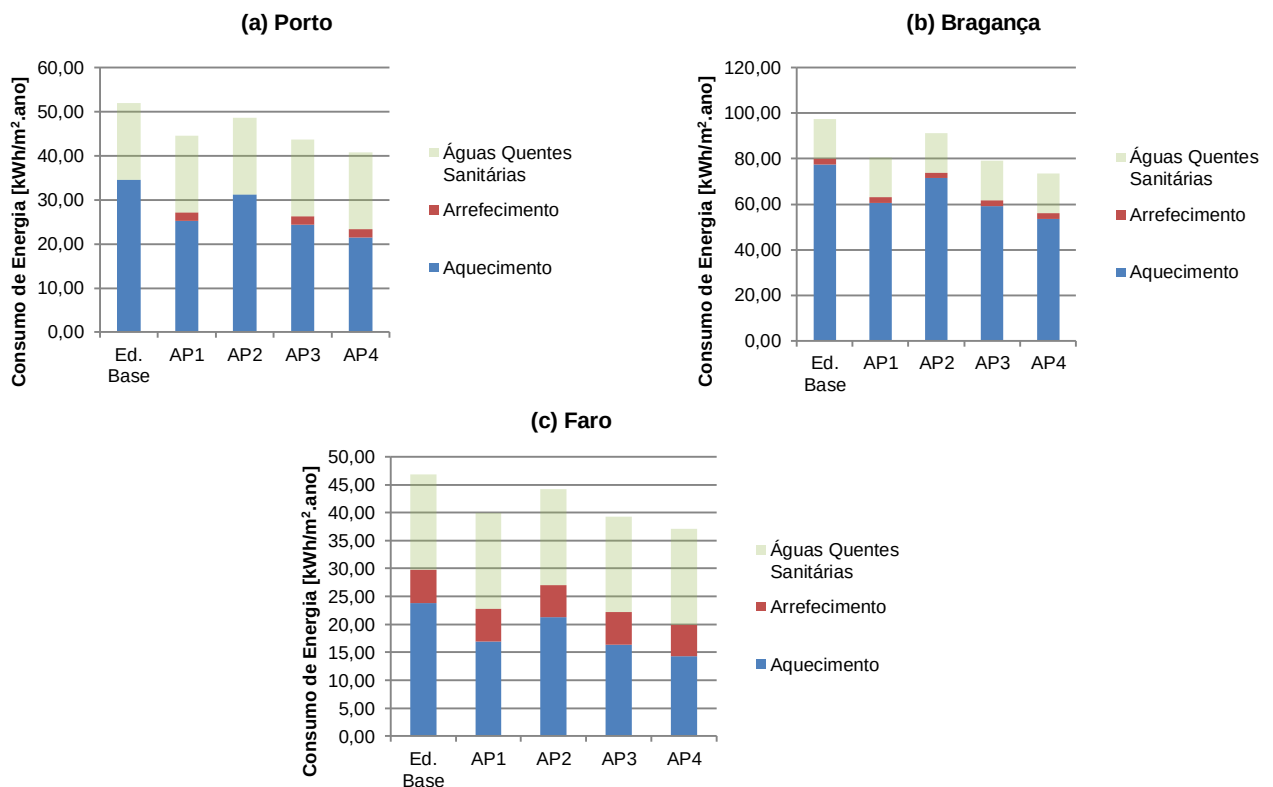


Figura 84 – Indicadores de desempenho AP1 – AP4: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

Nas tabelas seguintes quantifica-se o visualizado na figura acima. De salientar, que na zona climática do Porto, o risco de sobreaquecimento deixou de ser minimizado com a aplicação das soluções AP1, AP3 e AP4, uma vez que as suas necessidades de arrefecimento aumentaram, como aliás aumentaram em Bragança, excetuando na solução AP2. Em contrapartida, em Faro existe uma tendência de diminuição das necessidades de arrefecimento, embora pouco expansiva. Por outro lado, o impacto da redução nas necessidades de aquecimento é mais expressivo e tende a evoluir, sendo a sua diminuição o reflexo da dimensão das variantes aplicadas, ou seja, em função da espessura do isolamento e da zona corrente da envolvente empregue, nomeadamente, paredes e coberturas, ou apenas coberturas (AP2). Um apontamento importante, estas variantes centraram-se na redução do coeficiente de transferência de calor ($W/^\circ C$) pela envolvente exterior (paredes e coberturas) e envolvente interior (paredes e coberturas) para os espaços não úteis, o que implica uma redução imediata na transferência de calor por transmissão através da envolvente.

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	25,22	31,18	24,44	21,51
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	4,83	5,28	4,73	5,22	5,27
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	25,22	31,18	24,44	21,51
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	0	1,89	0	1,86	1,88
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38

Tabela 31 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP1 – AP4

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	60,66	71,56	59,2	53,61
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	6,65	7,11	6,5	7,03	7,06
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	60,66	71,56	59,2	53,61
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	2,38	2,54	2,32	2,51	2,52
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36

Tabela 32 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP1 – AP4

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	16,93	21,3	16,36	14,24
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	16,64	16,43	16,06	16,21	15,91
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	16,93	21,3	16,36	14,24
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	5,94	5,87	5,74	5,79	5,68
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15

Tabela 33 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP1 – AP4

No contexto da envolvente não opaca (vãos envidraçados), avaliou-se o comportamento térmico da moradia a partir da análise paramétrica AP3, ou seja, a partir da aplicação do aumento do isolamento térmico em 2 cm na envolvente opaca (vertical) com requisitos térmicos, aplicação de isolamento na parede interior (ENU) para a garagem (8 cm de EPS) e aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos. As soluções técnicas são as seguintes, a saber:

- AP5: Vãos envidraçados simples em caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo corrente, fator solar ($g_{l,v}$) de 0,75 (6 mm + 6 mm) com caixa-de-ar de 10 mm e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre 2,43 - 3,44 W/(m². °C).
- AP6: Vãos envidraçados em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, de classe 4, com vidro duplo (6 mm + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm de baixa emissividade, com coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre 1,46 - 2,52 W/(m². °C) e fator solar ($g_{l,v}$) de 0,6.
- AP7: Vão envidraçado em caixilharia em PVC com vidro duplo (6 mm + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm de baixa emissividade, com coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre 1,33 - 1,79 W/(m². °C) e fator solar ($g_{l,v}$) de 0,6.

Adicionalmente, através da variante AP4, nomeadamente, a partir do aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (vertical), aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (10 cm) e aumento do isolamento térmico em 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal), analisou-se no comportamento térmico da moradia a solução técnica AP6, denominando-se assim a análise paramétrica AP8.

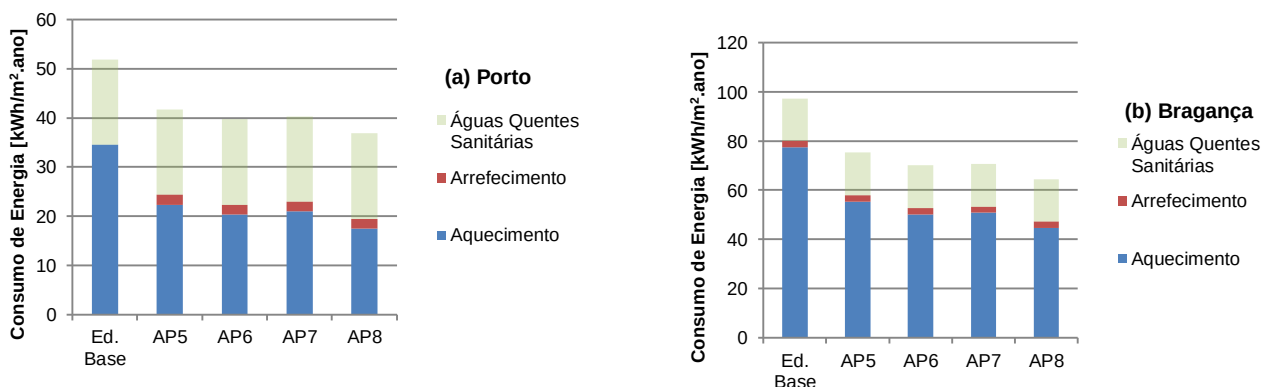
A diferença entre os valores do coeficiente de transmissão térmica das janelas deve-se ao facto de terem sido definidas janelas com diferentes dimensões e diferentes tipos de janela (fixa, giratória ou de correr), bem como, ter-se considerado a contabilização do coeficiente de transmissão térmica do vão médio dia-noite (U_{wdn}), aplicável a locais com ocupação noturna e diurna, considerando-se a contribuição dispositivos de oclusão noturna que também funcionam como proteções solares os quais é lícito assumir que sejam totalmente fechados durante a noite.

Nas análises acima referidas, a determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado (U_w), teve por base a EN ISO 10077-1 e foi obtido pela equação 6.15, onde A_g é a área do vidro, U_g é o coeficiente de transmissão térmica do vidro, A_f é a área da caixilharia, U_f é o coeficiente de transmissão térmica do perfil de caixilharia, l_g é o comprimento da ligação vidro/caixilho e ψ_g é a transmissão térmica linear entre o vidro e o caixilho.

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f} \quad (6.15)$$

A determinação da contabilização do coeficiente de transmissão térmica do vão médio dia-noite (U_{wdn}), também teve por base a mesma norma, e corresponde à média dos coeficientes de transmissão térmica de um vão com a proteção aberta e fechada, respetivamente, posição típica durante o dia e posição típica durante a noite.

Na figura 85 verifica-se o comportamento térmico das variantes nos três climas em análise.



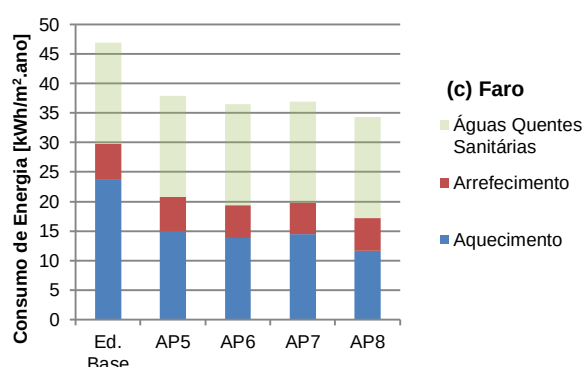


Figura 85 – Indicadores de desempenho AP5 – AP8: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

Estas soluções tiverem impacto no coeficiente de transmissão de calor através da envolvente exterior não opaca ($W/^{\circ}C$) o que implica uma redução na transferência de calor por transmissão pela envolvente e nos ganhos solares brutos que baixaram, quer na estação de arrefecimento, quer na estação de aquecimento. De realçar que derivado à alteração da caixilharia, relativamente à classe de permeabilidade ao ar, houve uma redução na taxa de renovação do ar, refletindo uma redução no coeficiente de transferência de calor por ventilação. Em termos globais, existe uma redução efetiva no aquecimento e verifica-se que a AP5, AP6 e AP7, têm comportamentos muito semelhantes, destacando-se ligeiramente a AP6, sendo no entanto a AP8 a que apresenta maior visibilidade. Em termos de economia de energia global na moradia, as soluções variam entre 26% a 39% mas três regiões. Nas tabelas seguintes quantifica-se o visualizado na figura 85. De salientar, que na zona climática do Porto e Bragança, as soluções preconizadas tiveram impacto negativo nas necessidades de arrefecimento, que não é crítico derivado a sua reduzida expressão. Por outro lado, em Faro o impacto foi positivo, embora com uma redução pouco expressiva.

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	22,35	20,37	21,06	17,47
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	4,83	5,63	5,51	5,24	5,59
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	22,35	20,37	21,06	17,47
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	0	2,01	1,97	1,87	2
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38

Tabela 34 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP5 – AP8

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	55,23	50,07	50,81	44,51
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	6,65	7,49	7,28	6,94	7,33
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	55,23	50,07	50,81	44,51
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	2,38	2,68	2,6	2,48	2,62
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36

Tabela 35 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP5 – AP8

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	14,85	13,79	14,42	11,7
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	16,64	16,65	15,7	15,16	15,41
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	14,85	13,79	14,42	11,7
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	5,94	5,95	5,61	5,41	5,5
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15

Tabela 36 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP5 – AP8

Na perspetiva global, na figura 86 e nas tabelas seguintes pode-se visualizar as necessidades anuais de energia primária das variantes estudadas, onde o impacto de redução foi de 42% face ao cenário base para a AP8, no Porto, 40% em Bragança e 41% em Faro. Entretanto, é relevante mencionar que a elevada expressão do Ntc na zona climática de Bragança, é totalmente derivado ao facto das necessidades de aquecimento que representam 77% das necessidades globais, serem satisfeitas por resistência elétrica, que penaliza severamente a conversão de energia final para energia primária, não esquecer que o fator de conversão F_{pu} é igual a 2,5 kWh_{EP}/kWh para a eletricidade.

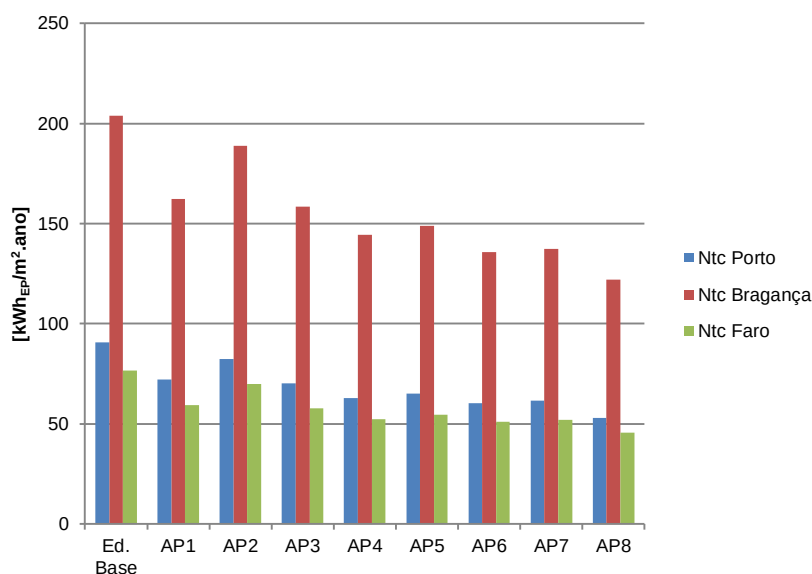


Figura 86 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base e AP1 a AP8

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	86,33	63,05	77,95	61,1	53,78	55,88	50,93	52,65	43,68
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	4,71	0	4,66	4,71	5,03	4,92	4,68	4,99
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	90,72	72,15	82,34	70,15	62,88	65,3	60,24	61,72	53,06
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	2,35	1,88	2,14	1,83	1,64	1,7	1,57	1,61	1,39

Tabela 37 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP1 – AP8

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	193,88	151,65	178,9	148	134,03	138,08	125,18	127,03	111,28
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	5,94	6,35	5,8	6,28	6,3	6,69	6,5	6,2	6,54
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	204,04	162,22	188,92	158,5	144,55	148,99	135,9	137,45	122,04

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	5,22	4,16	4,84	4,07	3,71	3,83	3,49	3,53	3,14
-----------------------------	-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabela 38 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP1 – AP8

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	59,48	42,33	53,25	40,9	35,6	37,13	34,48	36,05	29,25
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	14,86	14,67	14,34	14,47	14,21	14,87	14,02	13,54	13,76
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	76,81	59,47	70,06	57,84	52,28	54,47	50,97	52,06	45,48

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	1,98	1,53	1,8	1,49	1,35	1,41	1,32	1,35	1,18
-----------------------------	-----------	------	------	-----	------	------	------	------	------	------

Tabela 39 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP1 – AP8

6.10.2 Otimização da Ventilação

Neste setor foi definido a instalação no cenário base, de um sistema de ventilação mecânica controlada com recuperador de calor ar/ar em contra fluxo com rendimento mínimo de 75%, designando-se por análise paramétrica AP9. O ar novo filtrado é introduzido pelo módulo de recuperação permitindo a recuperação de calor da extração do ar das casas de banho para a insuflação nos locais necessitados, quartos e sala. Estas funções são obrigatoriamente executadas por ventiladores de alto rendimento com consumo específico de ventilação muito baixos de classe SFP1 (*Specific Fan Power*) com filtros em ambos os lados. No Verão, é realizado o arrefecimento gratuito, ou seja, sempre que a temperatura exterior seja inferior à interior (situação tipicamente noturna), o ar novo é insuflado diretamente na casa “bypassando” o recuperador. Na estação de aquecimento as perdas associadas ao consumo de ventilação reduzem na ordem dos 62% nas três zonas climáticas. Para refletir a redução do consumo nas perdas de calor devido à renovação do ar interior ($Q_{ve,i'}$), é necessário multiplicar a expressão (6.3), por um coeficiente de correção da temperatura ($b_{ve,i'}$) tendo em conta o sistema de recuperação, que se calcula de acordo com a expressão seguinte (6.16), em que o η_{RC} é o rendimento do recuperador e V_{ins} é o caudal de ar novo insuflado através do sistema de recuperação:

$$b_{ve,i'} = 1 - \eta_{RC} \cdot \frac{V_{ins}}{R_{ph,i'} \cdot A_P \cdot p d} \quad (6.16)$$

Na estação de arrefecimento, como o sistema de recuperação é promovido de “by-pass”, a transferência de calor devido à renovação do ar interior ($Q_{ve,v}$) não sofre qualquer alteração pelo fator de correção de temperatura. De realçar, que a taxa de renovação horária que inicialmente era de $0,68 \text{ h}^{-1}$ baixou para $0,57 \text{ h}^{-1}$ na estação de aquecimento e para $0,6 \text{ h}^{-1}$ no período de arrefecimento. Na figura abaixo denota-se a redução das perdas de calor devido à renovação do ar interior ($Q_{ve,i}$) na estação de aquecimento nos três climas.

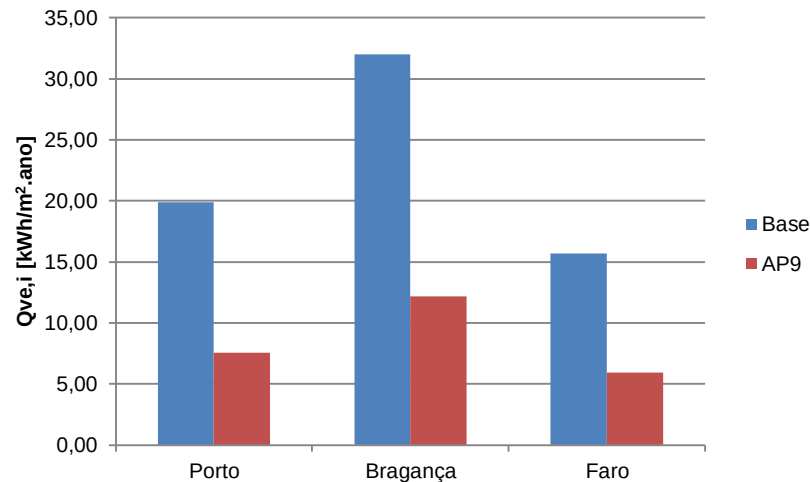


Figura 87 – Perdas de calor associadas à ventilação no Inverno ($Q_{ve,i}$)

Tendo em conta as considerações apresentadas, importa estudar esta solução, combinando-a com a intervenção na envolvente opaca exterior e interior, pelas análises paramétricas AP3 e AP4 e com a introdução da solução dos vãos envidraçados através da AP6. Assim, a combinação resulta nas seguintes variantes nas zonas climáticas do Porto e Bragança:

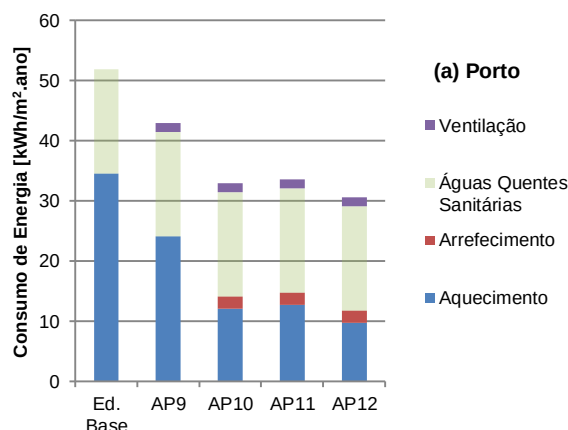
- AP10: Aumento do isolamento térmico em 2 cm na envolvente opaca (vertical) e aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (8 cm de EPS), aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) e vãos envidraçados em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, de classe 4, com vidro duplo com caixa-de-ar de 16 mm de baixa emissividade, com coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre $1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ e fator solar ($g_{l,v}$) de 0,6. Adicionalmente, foi introduzido o sistema de ventilação com recuperador de calor do tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
- AP11: Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (vertical), aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (10 cm), aumento do isolamento térmico em 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) e sistema de ventilação com recuperador de calor do tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
- AP12: Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (vertical), aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (10 cm) e aumento do isolamento térmico em 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal). Vãos envidraçados em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, com vidro duplo de baixa emissividade, com coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre $1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ e fator solar ($g_{l,v}$) de 0,6. E finalmente, sistema de

ventilação com recuperador de calor do tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.

No que se refere, à zona climática de Faro por uma questão de preocupação com as necessidades anuais de energia útil para arrefecimento, foram ligeiramente modificadas as soluções AP10 e a AP12, a análise AP11 não foi estudada neste clima. Assim, as modificações introduzidas centraram-se na envolvente envidraçada, através da alteração do fator solar e da qualidade térmica do vidro. Adicionalmente, reforçou-se a proteção solar na análise paramétrica AP12. De seguida apresenta-se as alterações propostas na zona climática de Faro:

- AP10a e AP12a: Introdução na AP10 e AP12, vãos envidraçados em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, de classe 4, com vidro duplo (6 mm + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm de baixa emissividade, com coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) entre 1,37 – 1,76 W/(m².°C) e fator solar ($g_{l,v}$) de 0,5.
- AP12b: Introdução na AP12a, o reforço da proteção solar com a aplicação pelo exterior de portadas de madeira, resultando numa proteção totalmente ativada (g_T) de 0,03.

Na figura 88 e seguintes tabelas, observa-se as necessidades de energia útil e os indicadores de desempenho, expressos em energia final, da solução AP9 e das variantes AP10 a AP12, AP10a, AP12a e AP12b em Faro. No Porto, na estação de aquecimento desenha-se uma redução de 72% das necessidades de energia útil, com a variante AP12, penalizando o arrefecimento em apenas 16%. Em Bragança, a redução das necessidades evoluem com a AP12 até aos 64% face ao cenário base, penalizando apenas 10% as necessidades de arrefecimento. Finalmente, em Faro, a redução das necessidades de energia para aquecimento resultou em 70% com a AP12b e a redução das necessidades de arrefecimento fixaram-se em 23% face à solução base. No entanto, com a aplicação do sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor ar/ar, introduziu-se um consumo associado aos ventiladores de extração e insuflação com um valor de 1,45 kWh/m².ano, para todas as zonas climáticas.



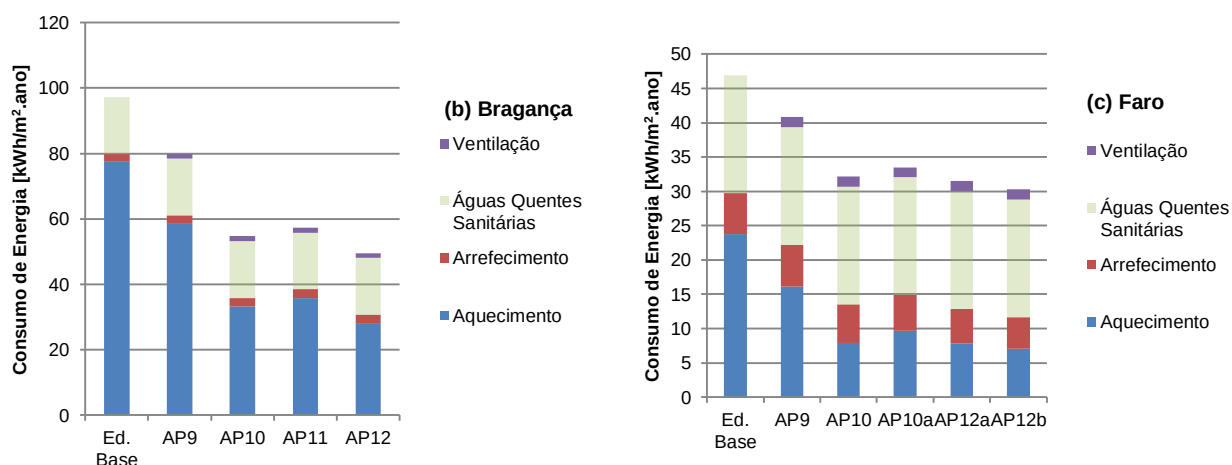


Figura 88 – Indicadores de desempenho AP9 – AP12: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP9	AP10	AP11	AP12
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	24,12	12,14	12,72	9,77
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	4,83	5,14	5,51	5,65	5,59
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	24,12	12,14	12,72	9,77
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	0	0	1,97	2,02	2
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45

Tabela 40 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Porto: AP9 – AP12

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP9	AP10	AP11	AP12
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	58,59	33,28	35,77	28,15
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	6,65	7,01	7,28	7,48	7,33
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	58,59	33,28	35,77	28,15
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	2,38	2,5	2,6	2,67	2,62
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45

Tabela 41 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Bragança: AP9 – AP12

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP9	AP10	AP10a	AP12a	AP12b
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	16,12	7,91	9,67	7,77	7,07
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	16,64	17,02	15,7	14,63	14,33	12,86
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85	16,85
Indicadores de Desempenho							
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	16,12	7,91	9,67	7,77	7,07
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	5,94	6,08	5,61	5,23	5,12	4,59
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45

Tabela 42 – Resumo dos principais indicadores de desempenho - Faro: AP9 – AP12b

No quadro global, a figura 89 e as tabelas seguintes refletem a evolução favorável das necessidades anuais globais de energia primária (Ntc) das variantes estudadas, destacando-se como seria de esperar, a AP12, com um Ntc de 37,44 kWh_{EP}/m².ano e economia global de energia de 55%, para o Porto, de 84,77 kWh_{EP}/m².ano e economia global de energia de 57%, para Bragança e 35,26 kWh_{EP}/m².ano e uma economia global de energia de 52% para Faro, relativa à variante AP12b. Em termos de redução de emissões com CO₂ varia entre 56% a 60% nos três climas.

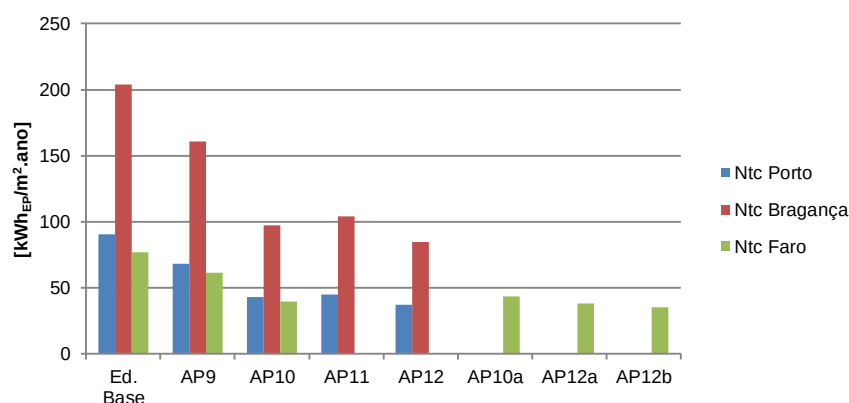


Figura 89 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base e AP9 a AP12, AP10a, AP12a e AP12b

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP9	AP10	AP11	AP12
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	86,33	60,3	30,35	31,8	24,43
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	4,92	5,04	4,99
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,38	17,38	17,38	17,38	17,38
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,62	3,63	3,63	3,63

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	90,72	68,31	43,29	44,86	37,44

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	2,35	1,72	1,09	1,13	0,94
-----------------------------	-----------	------	------	------	------	------

Tabela 43 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP9 – AP12

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP9	AP10	AP11	AP12
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	193,88	146,48	83,2	89,43	70,38
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	5,94	6,26	6,5	6,68	6,54
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,62	3,63	3,63	3,63

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	204,04	160,58	97,55	103,96	84,77

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	5,22	4,07	2,46	2,63	2,14
-----------------------------	-----------	------	------	------	------	------

Tabela 44 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP9 – AP12

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	AP9	AP10	AP10a	AP12a	AP12b
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	59,48	40,3	19,78	24,18	19,43	17,68
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	14,86	15,2	14,02	13,06	12,79	11,48
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,62	3,63	3,63	3,63	3,63
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	76,81	61,59	39,9	43,34	38,32	35,26
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	1,98	1,53	0,98	1,07	0,94	0,87

Tabela 45 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP9 – AP12b

É ainda importante salientar que inicialmente a moradia apresenta uma potência térmica útil de aquecimento de 9,3 kW e de 12,71 kW para arrefecimento na zona climática do Porto, através da implementação progressiva das medidas anteriormente identificadas, após a variante AP12, a potência térmica útil a fornecer ao ar interior para o período de aquecimento passou para 5,25 kW e no período de arrefecimento a potência térmica útil a retirar ao ar interior passou para 9,59 kW. Mantendo o mesmo foco, em Bragança a potência térmica útil reduziu 43% (6,73 kW) e 25% (10,57 kW), para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Em Faro, com a utilização da variante AP12b, a redução foi de 45% (4,24 kW) e 29% (10 kW) para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Este apontamento é particularmente importante para as posteriores análises no lado da produção de energia térmica, aquando da seleção de equipamentos quer em termos energéticos quer em termos económicos.

6.10.3 Otimização dos consumos de climatização e água quente sanitária

Com foco na eficiência energética dos equipamentos produtores de energia térmica, a análise centra-se agora na otimização dos consumos associados ao sistema de climatização e ao sistema de preparação de água quente sanitária. De realçar, em coerência com a análise paramétrica AP12 e A12b (zona climática de Faro), que a seleção dos equipamentos levou em consideração a diminuição da potência térmica útil máxima necessária a fornecer ou a retirar ao ar interior para realizar o aquecimento ou arrefecimento, respetivamente. Assim, foram avaliadas as seguintes análises paramétricas, a saber:

- AP13: Avaliação da utilização de caldeira de combustão de biomassa com sistema de queima com base em pellets de madeira, com potência térmica de 24 kW com um rendimento de 90% para a produção de água quente dos dois serviços: aquecimento ambiente conjugada com a instalação de uma rede de radiadores nas divisões principais e apoio à produção de água quente sanitária (AQS). Mantendo o arrefecimento ambiente através do sistema de expansão direta, multisplit, com EER de 2,8 (classe C).
- AP14: Avaliação da utilização de caldeira condensação, alimentada a gás natural, com uma potência térmica de 24 kW, com eficiência de 97,4% a 100% da carga para a produção de água quente dos dois serviços: aquecimento ambiente conjugada com a instalação de uma rede de radiadores nas divisões principais e apoio à produção de água quente sanitária (AQS). Mantendo o arrefecimento ambiente através do sistema de expansão direta, multisplit, com EER de 2,8 (classe C).

- AP15: Avaliação da utilização de bomba de calor para produção de AQS, com 3 kW de potência e eficiência (COP) de 3,6 com uma capacidade de 300 litros e uma unidade bomba de calor reversível, ar/água, de classe A, com potência unitária de 12,1 kW e 10,7 kW para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, com COP de 3,4 e EER de 3,23. A distribuição da energia térmica através de rede hidráulica é a dois tubos com fluido de transporte a água. O sistema em aquecimento funcionará com temperaturas entre 45°C (ida) e 40°C (retorno) e em arrefecimento entre 7°C (ida) e 12°C (retorno). O equipamento fornecerá, durante a estação fria e quente, água aquecida e arrefecida às unidades terminais de climatização (ventiloconvetores de chão), sendo estes controlados por termóstato ambiente.
- AP16: Mantendo a mesma bomba de calor para produção de AQS da AP15, vai-se avaliar a utilização de uma bomba de calor reversível, ar/água, para funcionamento com sistema de aquecimento a baixa temperatura (COP de 4,22 e potência de 11,2 kW) e arrefecimento a alta temperatura (EER de 3,81 e potência de 12,3 kW), através de pavimento radiante. O sistema em aquecimento funcionará com temperaturas entre 35°C (ida) e 30°C (retorno) e em arrefecimento entre 18°C (ida) e 23°C (retorno).

Relativamente a análise dos resultados (figuras e tabelas seguintes), o comportamento da estrutura de consumos de energia final, reflete as seleções preconizadas. Ou seja, existe uma redução no consumo de aquecimento e arrefecimento proporcional a eficiência dos equipamentos, caso das bombas de calor reversível. De ressaltar, a utilização de sistemas de aquecimento de baixa temperatura e de arrefecimento de temperatura elevada que é vantajosa do ponto de vista das perdas de distribuição e da eficiência energética, resultando num melhor desempenho global. No que respeita ao consumo anual do apoio térmico para satisfazer a energia útil associada ao uso AQS, houve uma redução de 75% com a utilização da bomba de calor face ao cenário base. De notar que na figura 90 o consumo AQS inclui a parcela da energia solar. Do ponto de vista da caldeira de condensação para satisfazer as necessidades de aquecimento (ambiente e AQS), representa a redução mais expressiva em Bragança (49%), face ao cenário base, resultado das elevadas necessidades de aquecimento ambiente desta zona. A caldeira a biomassa é sempre vantajosa, quer em termos de custo energético, quer em termos ambientais, uma vez que toda a energia necessária ao uso de aquecimento é proveniente de fonte renovável. No impacto geral, o melhor comportamento em termos de energia final centra-se na solução AP16, já em termos de energia primária, o melhor comportamento é direcionado para solução a biomassa (AP13), com o destaque para a zona do Porto ($N_{tc} = 8,62 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$) e Bragança ($N_{tc} = 10,16 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$), seguido de Faro ($N_{tc} = 15,11 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$). Estes resultados são explicados pelo facto de naquelas duas primeiras zonas climáticas, as necessidades de energia para aquecimento ambiente serem consideravelmente superiores, e quando somadas à parcela do consumo de AQS (também superior), representa uma fatia superior a 90% que é totalmente renovável e que desconta na parcela dos consumos não renováveis quando convertidos em energia primária (figura 91). Importa ainda fazer referência a redução de emissões de CO_2 , que se expressa pela solução AP13, com 93% no Porto, 96% em Bragança e 83% em Faro.

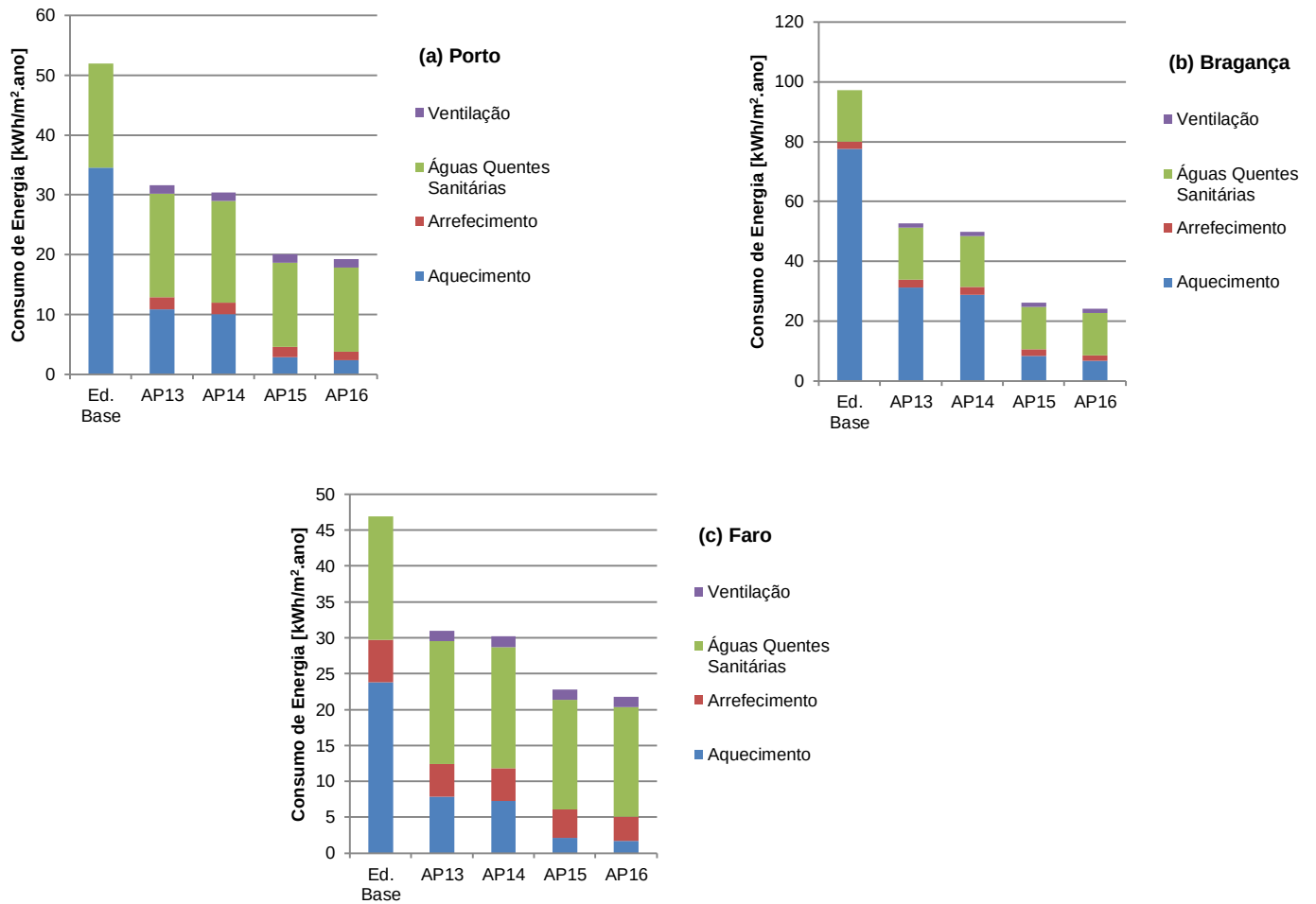


Figura 90 – Consumos anuais de energia final por uso: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

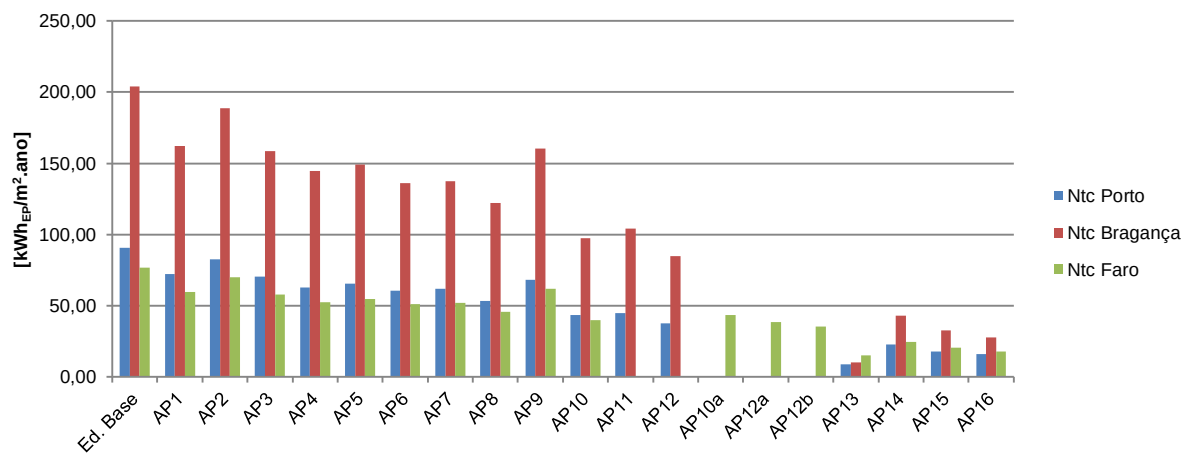


Figura 91 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc), edifício base a AP16

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP13	AP14	AP15	AP16
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	10,86	10	2,87	2,32
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	0	2	2	1,73	1,47
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,38	17,28	16,94	14,05	14,05
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	86,33	10,86	10	7,18	5,79
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	4,99	4,99	4,33	3,67
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,38	17,28	16,94	15,67	15,67
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-12,99	-28,14	-12,99	-12,99	-12,99
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	90,72	8,62	22,57	17,81	15,76

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	2,35	0,16	0,66	0,4	0,35
-----------------------------	-----------	------	------	------	-----	------

Tabela 46 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP13 – AP16

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP13	AP14	AP15	AP16
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	31,28	28,81	8,28	6,67
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	2,38	2,62	2,62	2,27	1,92
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,36	17,26	16,94	14,17	14,17
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	193,88	31,28	28,81	20,7	16,68
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	5,94	6,54	6,54	5,67	4,81
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,36	17,26	16,94	15,72	15,72
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63

Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-13,14	-48,54	-13,14	-13,14	-13,14
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	204,3	10,17	42,78	32,57	27,69

Emissões de CO ₂	[ton/ano]	5,22	0,2	1,36	0,77	0,65
-----------------------------	-----------	------	-----	------	------	------

Tabela 47 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP13 – AP16

Necessidades anuais de energia -		Ed. Base	AP13	AP14	AP15	AP16
Indicadores de Desempenho						
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	7,86	7,24	2,08	1,68
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	5,94	4,59	4,59	3,98	3,38
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,15	17,09	16,9	15,27	15,27
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	59,48	7,86	7,24	5,2	4,19
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	14,86	11,48	11,48	9,95	8,44
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,15	17,09	16,9	16,18	16,18
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-14,68	-24,95	-14,68	-14,68	-14,68
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	76,8	15,11	24,56	20,28	17,75
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	1,98	0,33	0,67	0,46	0,4

Tabela 48 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP13 – AP16

6.10.4 Utilização de energias renováveis

Neste capítulo vai-se avaliar o impacto do aumento da utilização de energias renováveis nas necessidades anuais globais de energia primária (Ntc), através da instalação de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo, nas análises paramétricas AP12, AP12b (Faro), AP13, AP14, AP15 e AP16.

A energia consumida pelo edifício será um misto de energia produzida localmente e energia comprada à rede elétrica, com prioridade de utilização da energia produzida localmente. A simulação de produção de energia elétrica foi efetuada com o recurso ao *PVsys* versão 6.32 (*Photovoltaic Systems*). Foram sugeridos sistemas fotovoltaicos para a cobertura da habitação de acordo com as seguintes características:

- Instalação fotovoltaica para autoconsumo com potência instalada de 750 Wp. A unidade será composta por 3 módulos fotovoltaicos de 250 Wp, três inversores de 250 W, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor. Apresenta uma área de 5 m² em cobertura plana acoplada a estrutura fixa com um ângulo de inclinação de 30° a Sul.

Entretanto, com foco no objetivo de balanço energético anual nulo para as zonas climáticas do Porto e Faro, às variantes AP15 e AP16 foi adicionada a seguinte instalação fotovoltaica:

- Instalação fotovoltaica para autoconsumo com potência instalada de 1.000 Wp. A unidade será composta por 4 módulos fotovoltaicos de 250 Wp, dois inversores de 500 W, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor. Apresenta uma área de 6,6 m² em cobertura plana acoplada a estrutura fixa com um ângulo de inclinação de 30° a Sul.

Adicionalmente, para atingir o desafio de energia de balanço energético nulo numa base anual, foi considerado para a zona climática de Bragança uma instalação de 1,5 kWp, a saber:

- Instalação fotovoltaica para autoconsumo com potência instalada de 1.500 Wp. A unidade será composta por 12 módulos fotovoltaicos de 125 Wp, um inversor de 1.500 W, um analisador de rede e um controlador lógico programável em permanente comunicação com o inversor. Apresenta uma área de 13,1 m² integrados na cobertura inclinada com um ângulo de inclinação a 25° e com azimute de -45°.

Na tabela abaixo esquematiza-se as variantes estudadas com a utilização do sistema de energias renováveis.

Ref.	Análises Paramétricas (AP)
AP17	AP12 ou AP 12b (Faro) + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP18	AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP19	AP 13 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP20	AP 14 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP21	AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP22	AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1000 W
AP23	AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1000 W
AP24	Bragança: AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1500 W
AP25	Bragança: AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1500 W

Tabela 49 – Análises paramétricas realizadas com os sistemas fotovoltaicos

Na figura abaixo pode visualizar-se a contribuição da energia elétrica estimada proveniente da simulação realizada para os sistemas referidos nas três zonas climáticas.

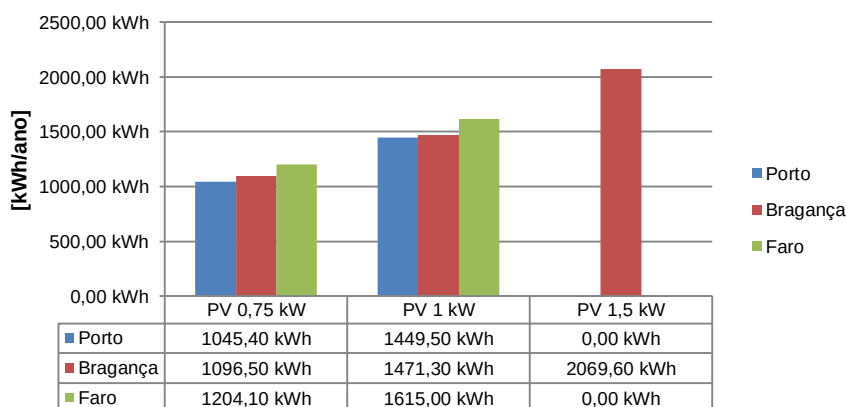


Figura 92 – Resultados da estimativa da energia produzida a partir dos sistemas fotovoltaicos para os três climas

Nas tabelas e figuras abaixo demonstra-se a penetração das fontes renováveis para atingir o balanço energético nulo. Nos três climas a utilização da biomassa combinada com o sistema de produção de energia elétrica para autoconsumo de 750 W, atinge o balanço energético nulo numa base anual. Por outro lado, verifica-se que no Porto e Faro é alcançado o balanço nulo com o sistema de autoconsumo de 1 kW, combinado com a utilização da bomba de calor, variantes AP22 e AP23. No caso da zona climática de Bragança, foi necessário recorrer ao sistema de 1,5 kW e ao uso da bomba de calor com a utilização de sistema de aquecimento a baixa temperatura, embora o arrefecimento a alta temperatura também ajude, é o aquecimento com o uso deste sistema que alavanca o caminho para o balanço de energia zero, através da

variante AP25. Entretanto, é relevante mencionar que a energia elétrica produzida a partir dos sistemas fotovoltaicos foi descontada diretamente no consumo de energia primária e não foi destinada a nenhum uso em particular.

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP17	AP18	AP19	AP20	AP21	AP22	AP23
Indicadores de Desempenho									
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	34,53	9,77	2,87	10,86	10	2,32	2,87	2,32
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	0	2	1,73	2	2	1,47	1,73	1,47
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,38	17,38	14,05	17,28	16,94	14,05	14,05	14,05
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	86,33	24,43	7,18	10,86	10	5,79	7,18	5,79
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	4,99	4,33	4,99	4,99	3,67	4,33	3,67
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,38	17,38	15,67	17,28	16,94	15,67	15,67	15,67
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-12,99	-12,99	-12,99	-28,14	-12,99	-12,99	-12,99	-12,99
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	-14,82	-14,82	-14,82	-14,82	-14,82	-20,55	-20,55
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	90,72	22,61	2,99	0	7,75	0,94	0	0
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	2,35	0,56	0,02	0	0,28	0	0	0

Tabela 50 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Porto: AP17 – AP23

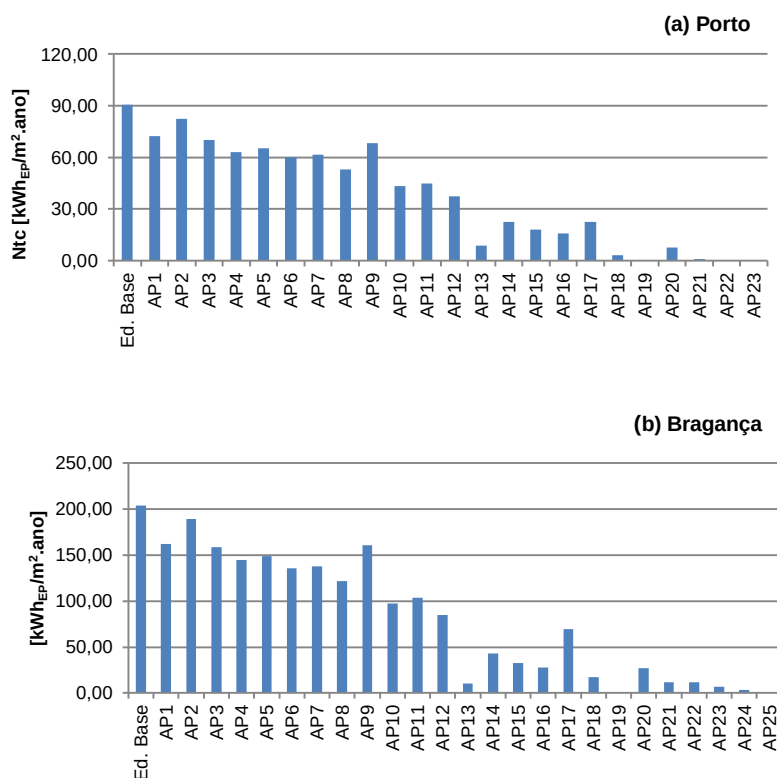
Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP17	AP18	AP19	AP20	AP21	AP22	AP23	AP24	AP25
Indicadores de Desempenho											
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	77,55	28,15	8,28	31,28	28,81	6,67	8,28	6,67	8,28	6,67
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	2,38	2,62	2,27	2,62	2,62	1,92	2,27	1,92	2,27	1,92
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,36	17,36	14,17	17,26	16,94	14,17	14,17	14,17	14,17	14,17
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	193,88	70,38	20,7	31,28	28,81	16,68	20,7	16,68	20,7	16,68
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	5,94	6,54	5,67	6,54	6,54	4,81	5,67	4,81	5,67	4,81
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,36	17,36	15,72	17,26	16,94	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-13,14	-13,14	-13,14	-48,54	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14	-13,14
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	-15,55	-15,55	-15,55	-15,55	-15,55	-20,86	-20,86	-29,34	-29,34
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	204,03	69,22	17,03	0	27,23	12,14	11,72	6,83	3,23	0
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	5,22	1,75	0,38	0	0,97	0,26	0,24	0,12	0,025	0

Tabela 51 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Bragança: AP17 – AP25

Necessidades anuais de energia		Ed. Base	AP17	AP18	AP19	AP20	AP21	AP22	AP23
Indicadores de Desempenho									
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	23,79	7,07	2,08	7,86	7,24	1,68	2,08	1,68
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	5,94	4,59	3,98	4,59	4,59	3,38	3,98	3,38
Águas Quentes Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	17,15	17,15	15,27	17,09	16,9	15,27	15,27	15,27
Ventilação	[kWh/m ² .ano]	0	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	59,48	17,68	5,2	7,86	7,24	4,19	5,2	4,19
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	14,86	11,48	9,95	11,48	11,48	8,44	9,95	8,44
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	17,15	17,15	16,18	17,09	16,9	16,18	16,18	16,18
Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	-14,68	-14,68	-14,68	-24,95	-14,68	-14,68	-14,68	-14,68
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	-17,07	-17,07	-17,07	-17,07	-17,07	-22,9	-22,9
Ntc	[kWh _{EP} /m ² .ano]	76,8	18,18	3,21	0	7,49	0,68	0	0
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	1,98	0,51	0,03	0	0,24	0	0	0

Tabela 52 – Resumo dos principais indicadores de desempenho (Ntc) - Faro: AP17 – AP23

Para melhor interpretação apresenta-se para cada região, a evolução do indicador de energia primária de todas as medidas e conjunto de medidas estudadas. No Anexo B.4 pode-se visualizar os indicadores de desempenho energéticos das principais variantes avaliadas.



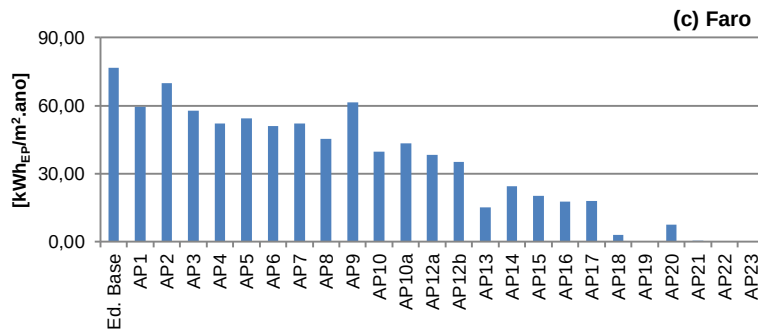
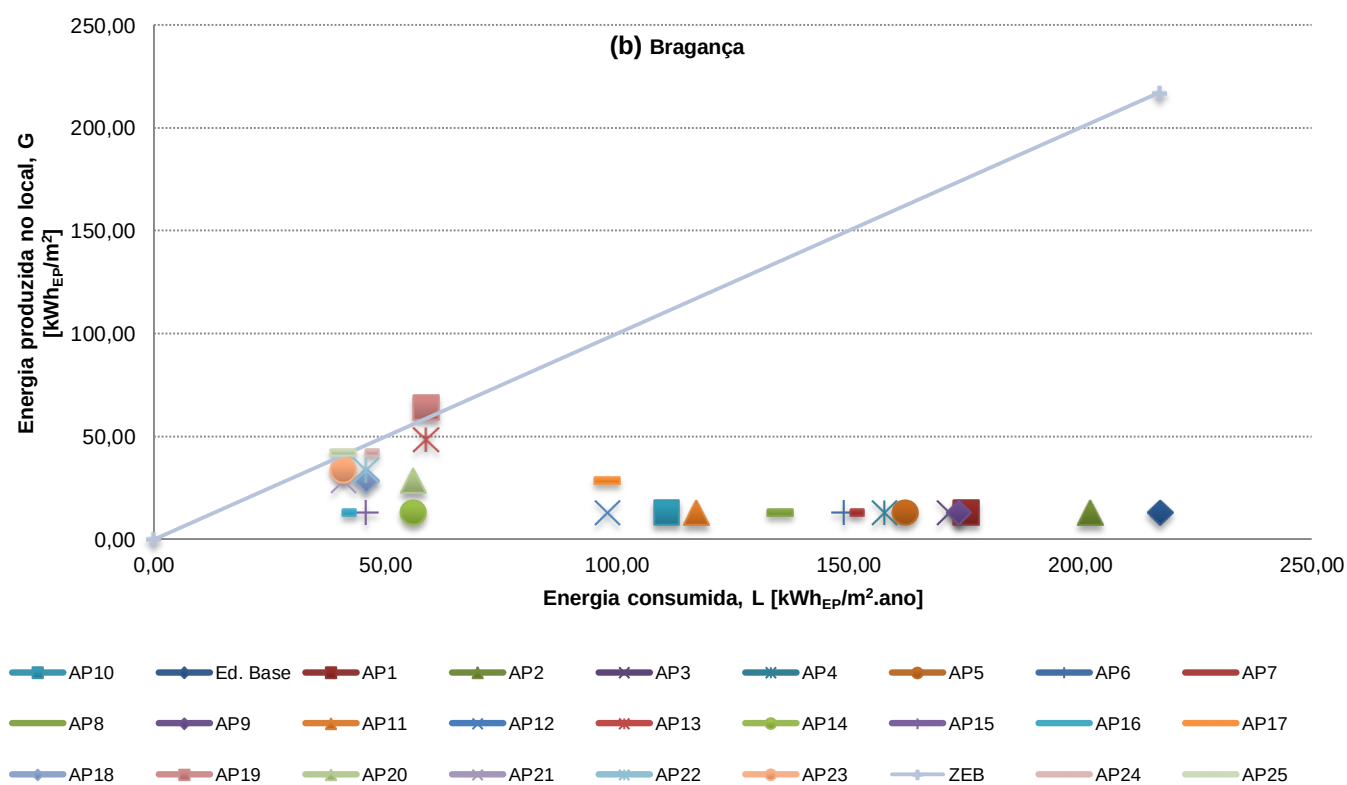
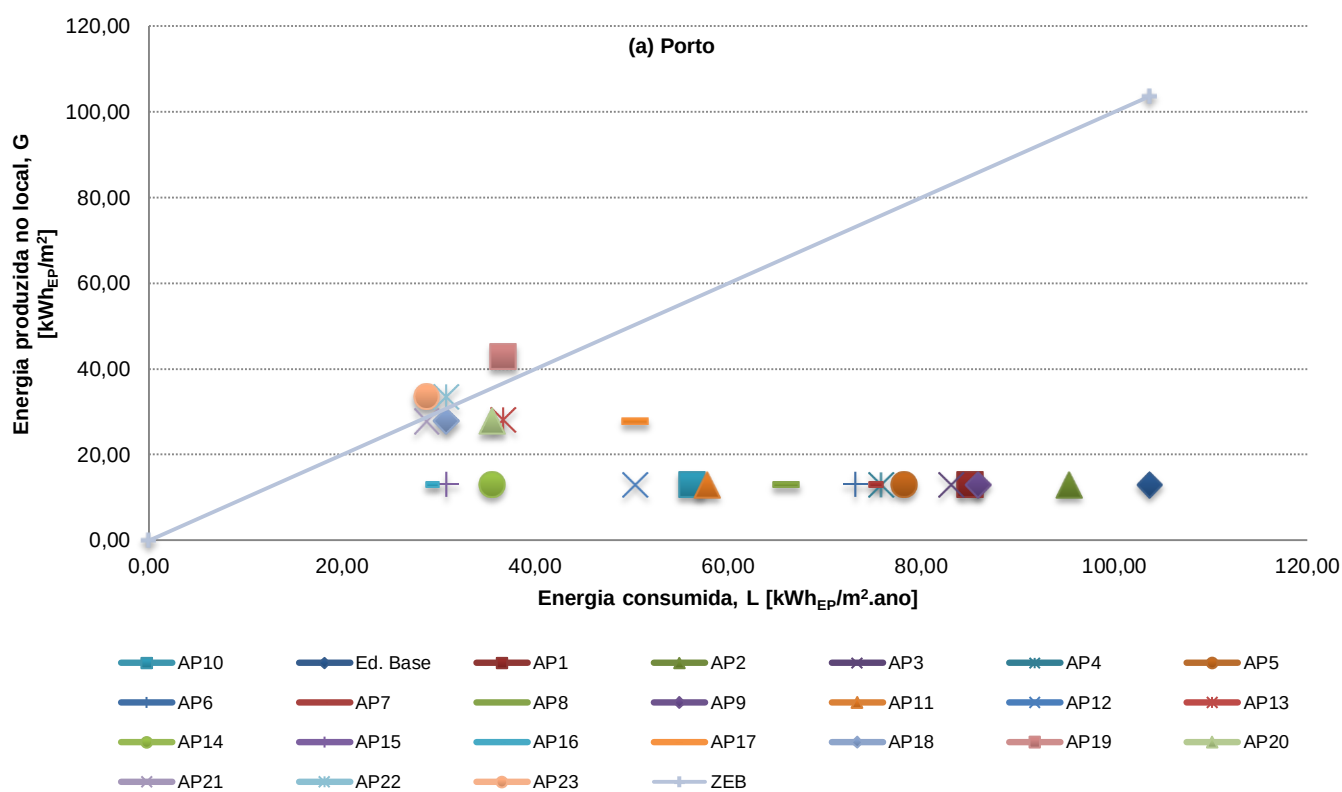


Figura 93 – Necessidades anuais de energia primária (Ntc): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

6.10.5 Método oferta de energia (G) – procura de energia (L)

A outra abordagem possível e concordante com o acima referido que tem por base um balanço de energia em que a energia produzida no local, para autoconsumo, é contabilizada de uma forma explícita. De acordo com esta formulação, a energia consumida na moradia é estimada pelo vetor energético (*L*, *load*), enquanto a energia produzida no local (*G*, *generated*) é diferenciada por vetor energético produzido: energia elétrica e térmica. O balanço de energia primária resulta assim do balanço global entre a energia produzida e consumida, denominado por balanço *G-L*. Considerando a figura 94a e figura 94c referente às zonas climáticas do Porto e a Faro, é possível verificar que com as soluções AP19 (caldeira a biomassa e sistema de autoconsumo de 750 W), AP22 (bomba de calor modo de funcionamento convencional e sistema de autoconsumo de 1.000 W) e AP23 (bomba de calor modo de funcionamento a baixa temperatura e alta temperatura e sistema de autoconsumo de 1.000 W) levam a moradia a ter energia excedentária, ou seja a oferta é superior à procura. Por outro lado, as soluções AP18 (bomba de calor modo de funcionamento convencional e sistema de autoconsumo de 750 W) e AP21 (bomba de calor modo de funcionamento a baixa temperatura e alta temperatura e sistema de autoconsumo de 750 W) podem ser enquadradas como soluções de nZEB, ou seja com necessidades de energia quase nulas. Pelo lado do eixo da eficiência energética, verifica-se que a progressão é contínua e que inicia-se com introdução de medidas passivas, pela redução das necessidades de energia até a variante AP12 e continua com a utilização de sistemas energeticamente eficientes ao conduzir a menores consumos de energia, através da otimização na afetação dos recursos disponíveis, mantendo a quantidade do valor energético, a partir do conjunto das medidas AP13. Relativamente à localização da Moradia em Bragança, o comportamento é ligeiramente idêntico, sendo no entanto alcançado a energia excedentária através das soluções AP19 e da solução A25 (bomba de calor e sistema de autoconsumo de 1.500 W). O caminho dos nZEB dá-se com as soluções AP22, AP23 e AP24, através da utilização da bomba de calor e sistemas de produção de energia elétrica com 1.000 W e 1.500 W, respetivamente. De notar que a solução AP13 (apenas com utilização de caldeira a biomassa) enquadra-se também nas necessidades de energia quase nulas, devido à severidade do clima e consequente necessidade de aquecimento ambiente, que através do uso da biomassa a proximidade ao balanço energético nulo é relevante (figura 94b).



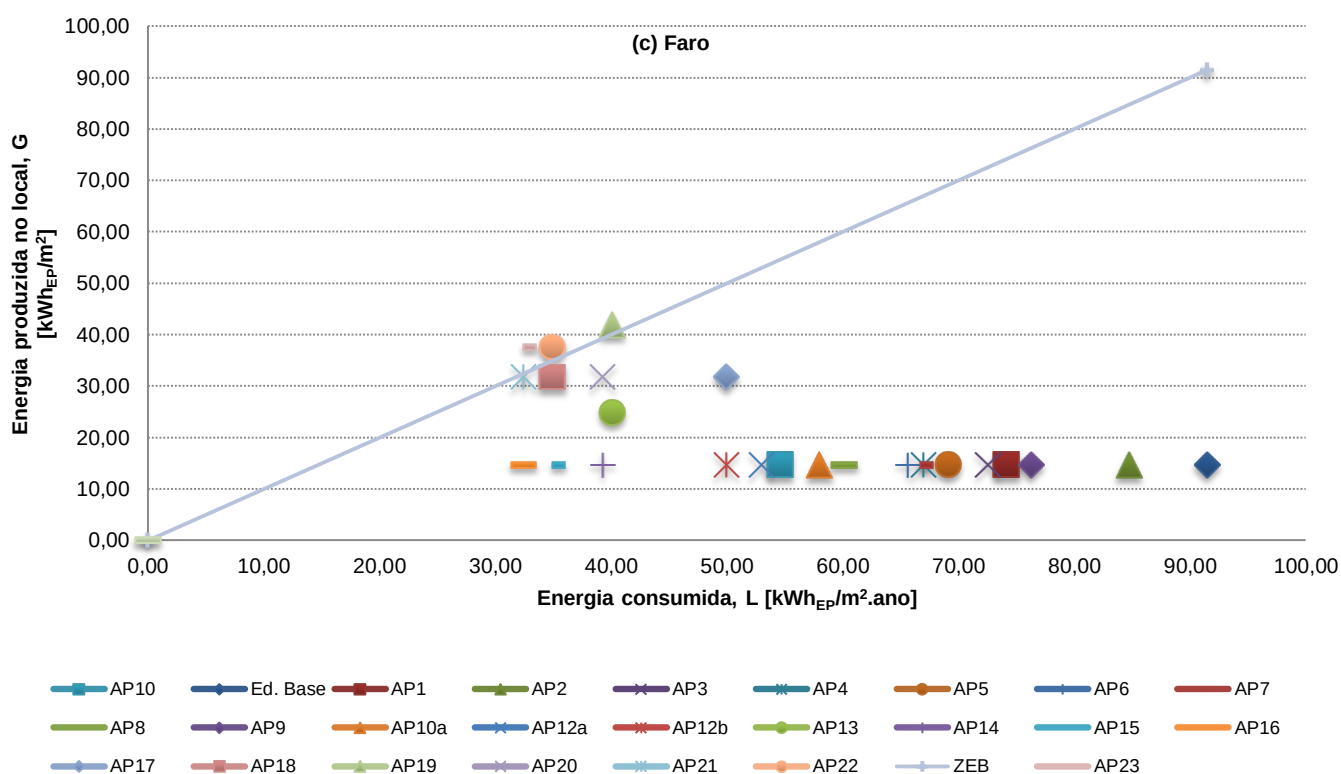


Figura 94 – Balanço de energia primária, método G-L: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

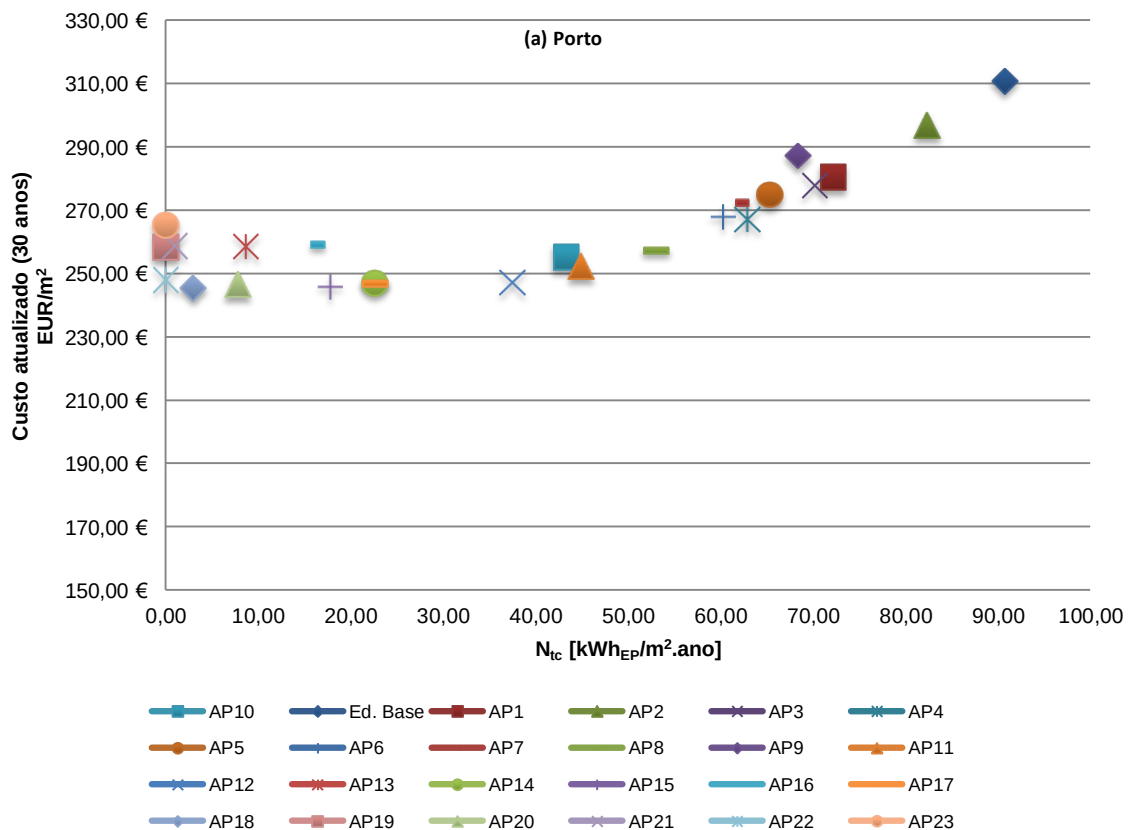
6.11 Análise económica

Neste capítulo apresenta-se os resultados obtidos no plano do critério do nível ótimo de rentabilidade, bem como os resultados alcançados com os outros dois indicadores económicos clássicos, utilizados na avaliação de investimentos, nomeadamente o Valor atual líquido (VAL) e o período de recuperação do capital (PR). Para cada solução ou agrupamento de medidas foram calculados os diferentes custos de investimento e utilizações de energia primária, e consequentemente os custos de exploração ao longo de 30 anos. Para o efeito, foram assumidos valores da taxa de inflação e taxa de atualização do capital igual a 2,5% e 3%, respetivamente. A determinação dos custos de investimento e manutenção foi realizada através da consulta de diversos fornecedores, de modo a obter uma base comparável sólida. Os valores de referência para as tarifas das fontes energéticas, correspondem aos preços praticados atualmente, em Portugal, para as classes de consumo nas quais a moradia se enquadra. Tendo em consideração a volatilidade do mercado energético foi adotado o valor médio 3,3% para a taxa da inflação da energia. Os custos considerados para a energia estão apresentados na Tabela 53 e são tarifários retirados de contratos reais de fornecimento de energia doméstico, relativos a 2015 para o setor da habitação em Portugal.

[€/kWh]				
Eletricidade	Gás Natural	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica
0,159	0,079	0,05	0,0	0,0

Tabela 53 – Preços considerados no cálculo dos custos energéticos do edifício de habitação (retirados de contratos de fornecimento de energia no setor doméstico, relativos a 2015)

Pela análise das figuras abaixo constata-se que os níveis ótimos de rentabilidade são diferentes nas três zonas climáticas, o que é explicado pelo facto dos edifícios serem dominados pelas cargas externas, através da envolvente e ventilação pela admissão de ar exterior, ao contrário dos grandes edifícios de serviços, que têm uma maior exposição às cargas internas e menor dependência do clima. Assim, denota-se que no Porto o nível de rentabilidade é alcançado com a variante AP18, ou seja, recorrendo à utilização de bomba de calor, interligada aos ventiloconvetores e sistema fotovoltaico de 750 W, valor que representa uma redução de 97% e um N_{tc} de $2,99 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$, quando comparado com a solução base. Em Bragança, dada a forte dependência das necessidades de aquecimento, resultando como a zona que tem o maior custo global, o custo ótimo é garantido pela solução AP24, através da utilização da bomba de calor e a utilização de sistema fotovoltaico de 1.500 W, representando um indicador de energia primária (N_{tc}) de $3,23 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ com uma redução de 98% face ao cenário base. Este resultado reforça a ideia de quanto maior são as necessidades energéticas, maior é o interesse em investir na eficiência energética e na utilização das fontes renováveis, sem esquecer dos efeitos positivos diretos no ambiente que origina. Por outro lado, em Faro, os custos globais são mais reduzidos, explicados pelas menores necessidades energéticas, a solução ótima é a medida AP17, aquela que intervém apenas na redução das cargas térmicas, com a intervenção na envolvente e ventilação, sem alterar os seus sistemas energéticos e introduzindo um sistema fotovoltaico de 750 W. O valor encontrado das necessidades anuais de energia primária (N_{tc}) para Faro é de $18,18 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ e reduz em 76 % o consumo de energia primária. Na figura 95 é possível verificar estes resultados do nível ótimo de rentabilidade de desempenho energético da moradia, para uma taxa de atualização de 3%, taxa de inflação 2,5% e com inflação do preço da energia de 3,3%.



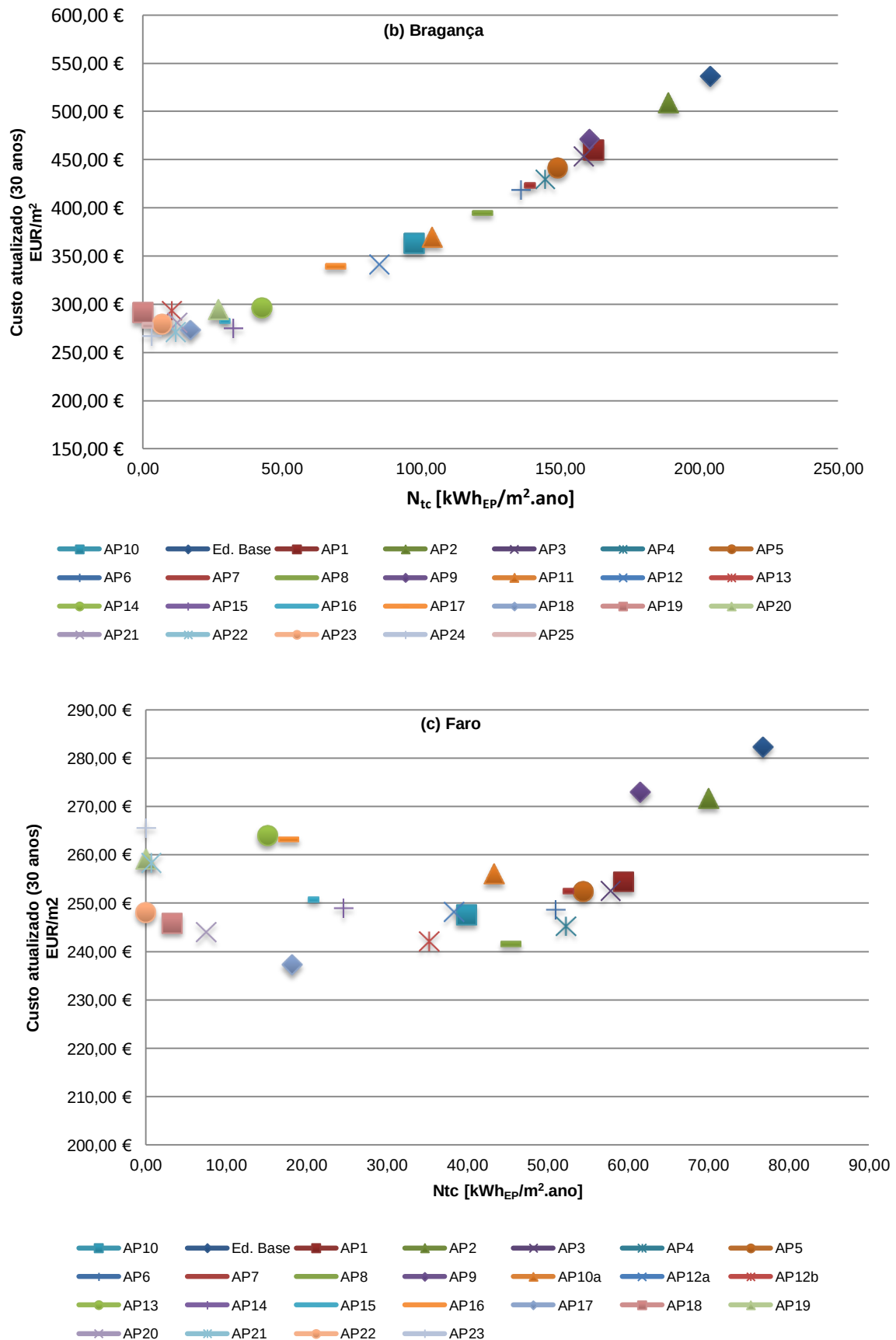


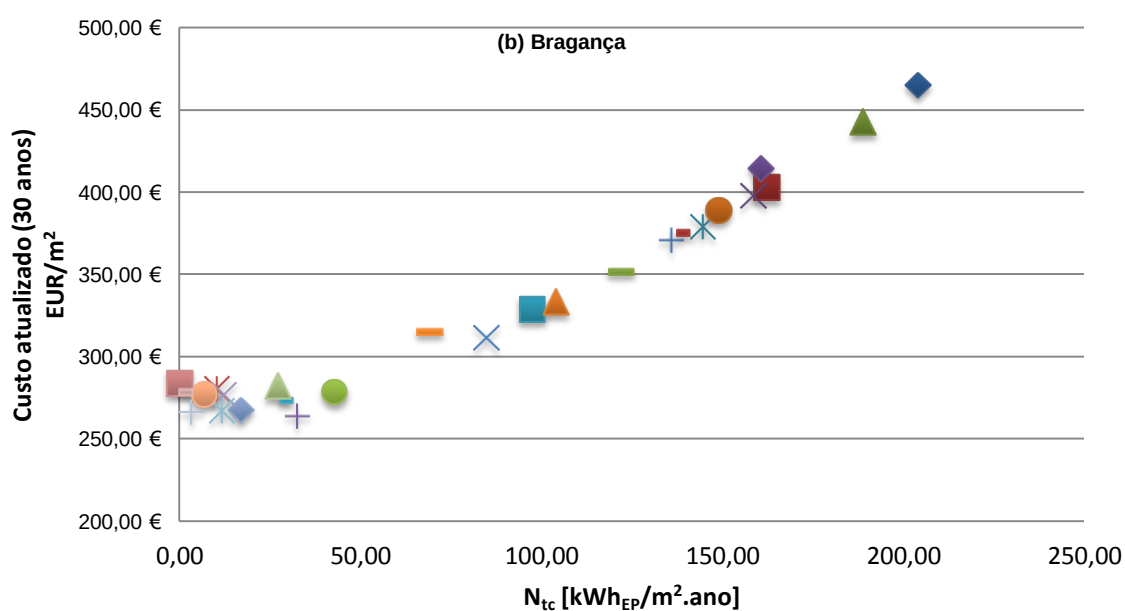
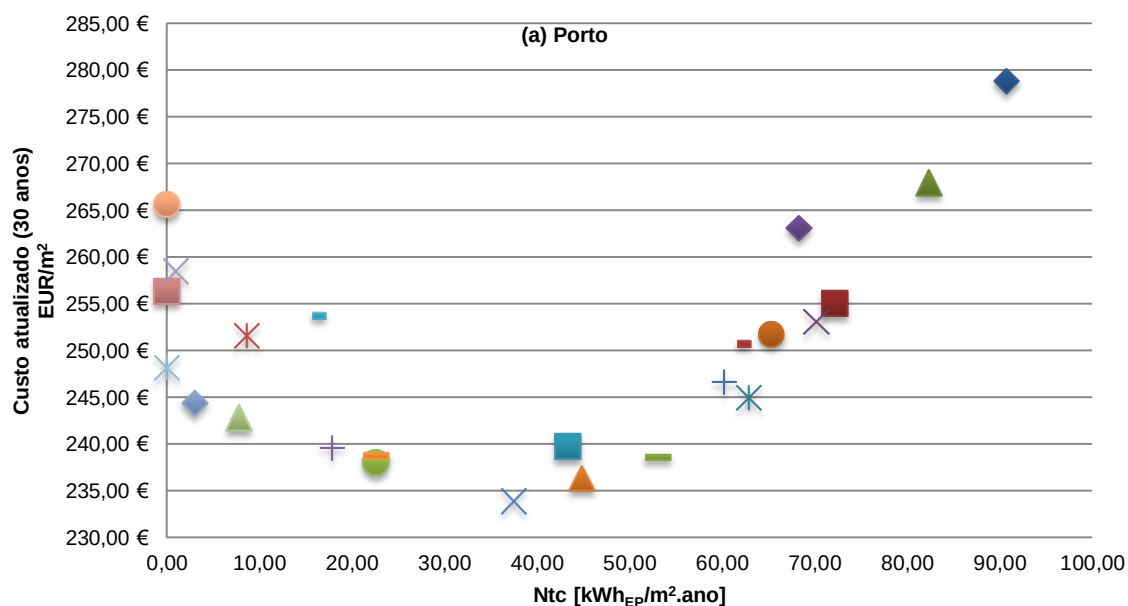
Figura 95 – Nível ótimo de rentabilidade (taxa de desconto 3% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo da energia 3,3%): (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

6.11.1 Análise de sensibilidade

A incerteza ligada à ocorrência, ou não, de determinados acontecimentos no futuro representa um fator de risco para o investidor. Avaliar o risco consiste em estimar, qualitativamente e quantitativamente, as consequências de não serem verificadas as hipóteses de partida. As análises de sensibilidade foram realizadas considerando um cenário alternativo para a evolução do preço da energia. Neste quadro, ao contrário do estabelecido no capítulo do edifício de serviços, optou-se pela deflação do custo da energia e avaliar o seu impacto nas variantes estudadas para a moradia. Assim, a taxa do custo da energia foi reduzido para um valor mais moderado e inferior à inflação, nomeadamente para 2% ao ano. A avaliação permite identificar alterações relevantes no desenho das curvas de rentabilidade. As variantes ótimas alteram como se pode verificar pela figura 96. As análises realizadas identificaram que no Porto a solução ótima de desempenho energético reduziu para 59% face ao cenário base com a variante AP12 e portanto, apenas com a intervenção na envolvente, sem utilização de novos sistemas energéticos mais eficientes e sem a promoção de sistemas de captação de energias renováveis. O nível ótimo é atingido para um indicador de energia primária de 37,43 kWh_{EP}/(m².ano). No caso de Bragança, o nível ótimo de desempenho energético evolui até ao uso da bomba de calor, em modo convencional (AP15), representado um consumo específico de energia primária de 32,57 kWh_{EP}/(m².ano) e uma redução de 84% relativamente à solução base. No que se refere à zona climática de Faro, a progressão nas variantes estudadas, ficam-se pelo conjunto de medidas passivas, ou seja, até à intervenção da envolvente opaca e envolvente envidraçada, sem intervenção nos equipamentos inicialmente preconizados, nomeadamente a solução AP8, refletindo um valor de necessidades anuais globais de energia primária de 45,48 kWh_{EP}/(m².ano) e uma redução face ao cenário base de 41%. Este efeito da variação do preço da energia permite concluir que se o preço da sua evolução for inferior à taxa de inflação, o interesse no desenvolvimento de edifícios (habitação) de necessidades quase nulas de energia (nZEB), deixa de ser aliciante do ponto de vista do proprietário, a menos, claro está, que a construção seja subsidiada a nível nacional ou pela União Europeia. Por outro lado, se essa evolução tende a subir e ser superior a taxa de inflação o interesse destaca-se como observado pelas curvas de rentabilidade anteriores (figura 95).

Entretanto, é relevante mencionar que mesmo com a redução do preço da energia, os níveis de desempenho energético aumentam significativamente quando comparados com o cenário base, reforçando a necessidade na aposta do eixo do lado da redução da procura da energia, pela promoção da eficiência energética, quer com estratégias passivas quer com os sistemas ativos, á medida que as necessidades de energia aumentam. É importante ainda mencionar, que a aposta na eficiência energética reduz a exposição à volatilidade do preço da energia.

A utilização de energias renováveis e o paradigma de procurar que edifícios reabilitados tendam para um balanço energético quase nulo, merecem um acordo de princípio dos intervenientes na construção. Mas deve-se ser prudente, quantificando de forma inteligente o custo do investimento e de manutenção, a durabilidade e o benefício energético conseguido. Existem mecanismos que reduzem a barreira do custo inicial, vinculando o reembolso total ou parcial dos investimentos em eficiência energética à fatura da energia. Como critério de elegibilidade, o valor das poupanças geradas pelas medidas de eficiência energética terá de ser superior ao valor do reembolso a pagar na fatura. Ora, este poderá ser o caminho da procura de edifícios de balanço energético quase nulo.



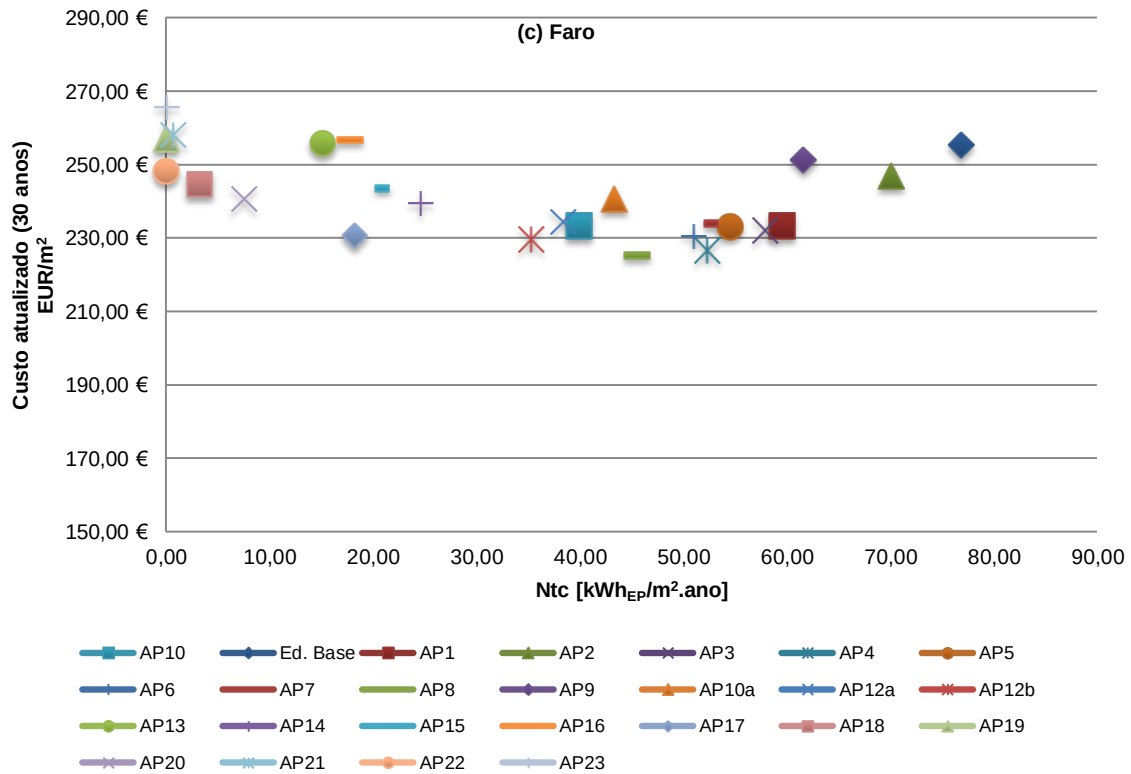


Figura 96 – Nível ótimo de rentabilidade (taxa de desconto 3% | taxa de inflação 2,5% | taxa de inflação do custo da energia 2%: (a) Porto, (b) Bragança e (c) Faro

6.11.2 Outros indicadores económicos

Dentro desta temática, aborda-se o nível de rentabilidade ótima pela perspetiva dos critérios clássicos mais frequentemente utilizados na avaliação de investimentos, nomeadamente o Valor atual líquido (VAL) e período de recuperação do capital simples (PRS). No entanto, avalia-se o interesse económico, se preço da compra da energia aumentar significativamente em relação a taxa de inflação. Assim, considera-se uma evolução contínua de 4,5% ao ano para o preço da energia. Ora, esta situação é favorável à construção de edifícios de balanço de energia quase nulo, uma vez que o interesse económico deste tipo de edifícios depende do preço da compra da energia e da evolução da mesma ao longo do período de funcionamento do edifício. Com o aumento expressivo da energia, a construção nZEB aproxima-se do ponto ótimo de rentabilidade, tornando este tipo de edificação economicamente interessante. Dentro deste foco, no caso do Porto e Faro, a solução ótima desloca-se para a variante AP22, (solução com bomba de calor e sistema fotovoltaico de 1 kW), situação em que a oferta supera a procura, tornando a moradia energeticamente excedentária. No caso de Bragança, as soluções analisadas são sempre mais atrativas, pelo facto do custo energético ser superior resultante das maiores necessidades de energia. A solução de rentabilidade ótima mantém-se igual à situação inicial (variante AP24 – bomba de calor e sistema fotovoltaico de 1,5 kW) e próxima do balanço de energia nula, com um indicador de energia primária de 3,23 kWh_{EP}/(m².ano). Nas tabelas 54, 55 e 56 é possível visualizar o custo global atualizado por unidade de superfície (investimento total, custo de manutenção e custos energéticos) para a evolução da energia de 3,3% ao ano e o VAL considerando a evolução da tarifa da energia de 4,5% ao ano.

Adicionalmente, observa-se a redução da fatura energética e o período de recuperação do capital simples nas três zonas climáticas. É importante salientar, que todas as medidas ou conjunto de medidas têm viabilidade económica nas três zonas climáticas, logicamente que a maior visibilidade vai para Bragança. Em Faro, apenas as variantes AP13, AP16, AP21 e AP23 apresentam períodos de recuperação do capital superior a 20 anos.

AP	Custo energético Cga (30 anos)		Economia			Investimento Adicional	VAL	Retorno (PRS)
Ref.	Anual	[€/m2]	[kWh/ano]	[Euros]	[%]	[Euros]		anos
Base	1.027 €	310,97 €	-	-	-	-	-	-
AP1	820 €	280,61 €	1309	207,77 €	20,2%	1.168 €	4.872 €	5,62
AP2	934 €	297,14 €	591	93,75 €	9,1%	504 €	1.223 €	5,38
AP3	797 €	278,04 €	1451	230,20 €	22,4%	1.420 €	5.469 €	6,17
AP4	716 €	267,33 €	1964	311,69 €	30,3%	2.090 €	7.882 €	6,71
AP5	743 €	274,97 €	1793	284,59 €	27,7%	2.586 €	6.360 €	9,09
AP6	686 €	268,04 €	2150	341,20 €	33,2%	3.141 €	7.948 €	9,20
AP7	703 €	272,65 €	2045	324,59 €	31,6%	3.432 €	7.028 €	10,57
AP8	606 €	257,53 €	2656	421,56 €	41,0%	3.811 €	10.317 €	9,04
AP9	777 €	287,35 €	1580	250,78 €	24,4%	2.900 €	3.960 €	11,56
AP10	496 €	255,28 €	3346	530,94 €	51,7%	6.041 €	11.418 €	11,38
AP11	514 €	252,47 €	3234	513,31 €	50,0%	4.990 €	11.801 €	9,72
AP12	431 €	247,42 €	3758	596,46 €	58,1%	6.711 €	13.227 €	11,25
AP13	230 €	258,76 €	3584	797,45 €	77,6%	13.211 €	12.520 €	16,57
AP14	291 €	247,11 €	3795	736,64 €	71,7%	10.111 €	14.183 €	13,73
AP15	199 €	245,86 €	5606	827,99 €	80,6%	12.181 €	14.992 €	14,71
AP16	176 €	259,20 €	5751	850,99 €	82,8%	14.586 €	12.788 €	17,14
AP17	265 €	247,03 €	3758	762,37 €	74,2%	10.731 €	14.364 €	14,08
AP18	34 €	245,47 €	5606	993,90 €	96,7%	16.201 €	16.129 €	16,30
AP19	64 €	258,37 €	3584	963,35 €	93,8%	17.231 €	13.657 €	17,89
AP20	125 €	246,72 €	3795	902,54 €	87,8%	14.131 €	15.320 €	15,66
AP21	11 €	258,81 €	5751	1.016,90 €	99,0%	18.606 €	13.925 €	18,30
AP22	0 €	248,17 €	5606	1.036,10 €	100,0%	17.397 €	16.197 €	16,79
AP23	0 €	265,61 €	5751	1.042,62 €	100,0%	19.802 €	13.369 €	18,99

Para o Cga considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 3,3%

Para o VAL considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 4,5%

Tabela 54 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Porto

AP Ref.	Custo energético Anual	Cga (30 anos) [€/m²]	Economia			Investimento Adicional [Euros]	VAL	Retorno (PRS) anos
			[kWh/ano]	[Euros]	[%]			
Base	2.295 €	536,71 €	-	-	-	-	-	-
AP1	1.827 €	460,00 €	2949	468,07 €	20,4%	1.168 €	14.720 €	2,50
AP2	2.126 €	509,45 €	1066	169,13 €	7,4%	504 €	4.075 €	2,98
AP3	1.786 €	454,01 €	3212	509,73 €	22,2%	1.420 €	16.044 €	2,79
AP4	1.630 €	430,02 €	4196	665,87 €	29,0%	2.090 €	21.280 €	3,14
AP5	1.679 €	441,67 €	3883	616,23 €	26,8%	2.586 €	18.906 €	4,20
AP6	1.533 €	418,73 €	4806	762,74 €	33,2%	3.141 €	23.894 €	4,12
AP7	1.550 €	423,46 €	4697	745,42 €	32,5%	3.432 €	22.948 €	4,60
AP8	1.378 €	394,92 €	5783	917,83 €	40,0%	3.811 €	29.092 €	4,15
AP9	1.809 €	471,13 €	3065	486,45 €	21,2%	2.900 €	12.876 €	5,96
AP10	1.103 €	363,33 €	7511	1.192,03 €	51,9%	6.041 €	36.427 €	5,07
AP11	1.175 €	370,13 €	7060	1.120,35 €	48,8%	4.990 €	34.766 €	4,45
AP12	960 €	341,66 €	8413	1.335,09 €	58,2%	6.711 €	41.169 €	5,03
AP13	426 €	293,65 €	7878	1.869,47 €	81,4%	13.211 €	53.075 €	7,07
AP14	568 €	296,48 €	8370	1.727,32 €	75,3%	10.111 €	51.661 €	5,85
AP15	365 €	275,26 €	12539	1.930,80 €	84,1%	12.181 €	56.712 €	6,31
AP16	310 €	282,96 €	12884	1.985,49 €	86,5%	14.586 €	55.706 €	7,35
AP17	786 €	339,82 €	8413	1.509,11 €	65,7%	10.731 €	42.613 €	7,11
AP18	191 €	273,43 €	12539	2.104,81 €	91,7%	16.201 €	58.156 €	7,70
AP19	252 €	291,81 €	7878	2.043,48 €	89,0%	17.231 €	54.519 €	8,43
AP20	394 €	294,65 €	8370	1.901,33 €	82,8%	14.131 €	53.104 €	7,43
AP21	136 €	281,13 €	12884	2.159,50 €	94,1%	18.606 €	57.150 €	8,62
AP22	131 €	271,51 €	12539	2.164,29 €	94,3%	17.397 €	58.877 €	8,04
AP23	76 €	279,21 €	12884	2.218,98 €	96,7%	19.802 €	57.871 €	8,92
AP24	36 €	267,53 €	12539	2.259,24 €	98,4%	19.179 €	60.191 €	8,49
AP25	0 €	278,53 €	12884	2.300,66 €	100,0%	21.584 €	58.683 €	9,38

Para o Cga considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 3,3%

Para o VAL considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 4,5%

Tabela 55 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Bragança

AP	Custo energético Cga (30 anos)		Economia			Investimento adicional	VAL	Retorno (PRS)
Ref.	Anual	[€/m ²]	[kWh/ano]	[Euros]	[%]	[Euros]		anos
Base	867 €	282,37 €	-	-	-	-	-	-
AP1	673 €	254,44 €	1223	194,08 €	22,4%	1.168 €	4.354 €	6,02
AP2	791 €	271,79 €	476	75,48 €	8,7%	504 €	532 €	6,68
AP3	655 €	252,64 €	1337	212,23 €	24,5%	1.420 €	4.789 €	6,69
AP4	592 €	245,34 €	1730	274,55 €	31,7%	2.090 €	6.477 €	7,61
AP5	617 €	252,51 €	1576	250,09 €	28,9%	2.586 €	5.055 €	10,34
AP6	578 €	248,68 €	1823	289,25 €	33,4%	3.141 €	5.982 €	10,86
AP7	590 €	252,52 €	1746	277,01 €	32,0%	3.432 €	5.228 €	12,39
AP8	516 €	241,56 €	2209	350,63 €	40,5%	3.811 €	7.634 €	10,87
AP9	696 €	273,08 €	1073	170,30 €	19,6%	2.900 €	915 €	17,03
AP10	454 €	247,64 €	2604	413,22 €	47,7%	6.041 €	6.965 €	14,62
AP10a	492 €	256,16 €	2361	374,66 €	43,2%	6.332 €	5.214 €	16,90
AP12a	436 €	248,30 €	2715	430,83 €	49,7%	6.711 €	6.961 €	15,58
AP12b	402 €	242,20 €	2931	465,11 €	53,7%	6.711 €	8.258 €	14,43
AP13	260 €	264,08 €	2802	606,92 €	70,0%	13.211 €	5.312 €	> 20
AP14	301 €	248,96 €	2945	565,60 €	65,3%	10.111 €	7.712 €	17,88
AP15	227 €	250,81 €	4250	639,54 €	73,8%	12.181 €	7.863 €	19,05
AP16	199 €	263,21 €	4428	667,81 €	77,0%	14.586 €	5.858 €	> 20
AP17	211 €	237,33 €	2931	656,20 €	75,7%	10.731 €	10.347 €	16,35
AP18	36 €	245,93 €	4250	830,63 €	95,8%	16.201 €	9.953 €	19,50
AP19	69 €	259,20 €	2802	798,02 €	92,1%	17.231 €	7.402 €	> 20
AP20	110 €	244,09 €	2945	756,69 €	87,3%	14.131 €	9.802 €	18,67
AP21	8 €	258,33 €	4428	858,90 €	99,1%	18.606 €	7.947 €	> 20
AP22	0 €	248,17 €	4250	883,02 €	100,0%	17.397 €	10.406 €	19,70
AP23	0 €	265,61 €	4428	866,76 €	100,0%	19.802 €	6.716 €	> 20

Para o Cga considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 3,3%

Para o VAL considerou-se: taxa de atualização 3% | inflação 2,5% | inflação da energia 4,5%

Tabela 56 – Custo energético anual, custo global atualizado, outros indicadores económicos e reflexo da economia de energia no edifício, Faro

7 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Neste trabalho desenvolveram-se soluções de eficiência energética e de utilização de energias renováveis em dois edifícios distintos, denominados por cenários base e localizados em zonas climáticas distintas, com o desafio de aproximar os dois edifícios do balanço energético “quase nulo”. A definição de edifício de balanço energético “quase nulo”, ou *nearly zero energy building* (nZEB), desenvolve-se segundo dois eixos fundamentais de ação. O eixo da redução do consumo, que começa pela integração de medidas passivas e continua com a utilização de sistemas energeticamente eficientes e o eixo da produção de energia através de sistemas de captação de energias renováveis, para compensar as necessidades de energia remanescentes na totalidade ou quase. A um nZEB é exigido que produza energia suficiente para em termos anuais (de acordo com a Diretiva 2010/31/EU) suprir maioritariamente os seus consumos.

Enquadrado com o tema, o primeiro edifício estudado centrou-se numa edificação existente de tipologia “lar de idosos” composta por dois pisos com uma área útil de 2.089 m². De seguida analisou-se um segundo caso, focado numa grande reabilitação relativa à construção de uma moradia constituída por dois pisos, de tipologia T4 e com uma área útil de 176,34 m².

Relativamente ao lar de idosos, pela análise da previsão de consumos resultante da simulação dinâmica, os consumos associados à iluminação interior, equipamentos elétricos e ventilação, são os que têm maior visibilidade na estrutura de consumos global do edifício nos três climas. Tal como seria de prever, sendo um edifício de serviços existe menor exposição às condições exteriores através da envolvente e portanto menor dependência do clima; em contrapartida, existe mais expressão das cargas internas. É portanto conveniente ter uma relativa capacidade térmica da envolvente para rejeitar cargas internas durante a maior parte do ano. Por outro lado, o peso da ventilação é explicado pelo elevado caudal de ar novo existente no edifício, necessário devido à grande densidade de ocupação. É conveniente controlar a quantidade de renovação de ar, mantendo um valor mínimo de forma a garantir a qualidade do ar do interior, mas restringindo os gastos energéticos desta parcela. Assim, o estudo focou-se na redução dos consumos de energia denominados “regulados”, ou seja, associados às funções de aquecimento e arrefecimento ambiente, ventilação afeta aos sistemas de climatização, aquecimento de águas sanitárias e iluminação interior.

Na evolução contínua da integração de estratégias pelo eixo da eficiência energética (redução da procura de energia), tornou-se evidente que as soluções através da intervenção na envolvente não tiveram qualquer impacto, pelos motivos explicados acima. Por outro lado, a redução dos consumos através de medidas como a introdução de iluminação eficiente e ventilação controlada em função das necessidades, foram a alavanca chave na progressão positiva da redução das necessidades de energia. Adicionalmente, a conjugação destas duas soluções, com a seleção de ventiladores eficientes e o aumento da recuperação de calor, na estação de aquecimento, resultado do reajuste entre o caudal de ar novo e caudal de exaustão,

originaram na variante com maior impacto a montante dos sistemas produtores de energia térmica e serviram de base para se iniciar a sua análise. No caminho da utilização de sistemas produtores de energia eficientes, o destaque principal vai para a utilização da bomba de calor (ar/água e água/água de aproveitamento geotérmico), que, como seria de esperar, revelou ser o sistema mais eficiente para satisfazer todos os usos nos três climas em análise. Contudo, é economicamente vantajoso e ambientalmente correto recorrer à caldeira a biomassa para o aquecimento, por ser energia proveniente de fonte renovável e com impacto expressivo na redução das emissões de CO₂.

Em termos de desempenho energético, expresso em energia primária, os melhores resultados no Porto (51,14 kWh_{EP}/(m².ano)) e Bragança (53,32 kWh_{EP}/(m².ano)) são atingidos pela introdução da biomassa para a produção de energia térmica para os dois serviços (aquecimento ambiente e AQS), que originou uma maior penetração de energia renovável pelo lado da térmica, com impacto positivo e imediato (aliado à produção energia elétrica) na redução do índice de energia primária. Por sua vez, em Faro o melhor indicador de desempenho (51,75 kWh_{EP}/(m².ano)) é conseguido com a bomba de calor reversível com recurso a aproveitamento geotérmico, uma vez que não existe a mesma necessidade de aquecimento ambiente, e a biomassa não apresenta a mesma expressão. Existe mais necessidade de arrefecimento ambiente e então a bomba de calor reversível geotérmica reforça a sua visibilidade. No entanto, o maior peso centra-se no eixo da produção local de energia, através do autoconsumo de energia elétrica que em Faro apresenta maiores estimativas de produção. Do que foi analisado, ressalta que é possível “tecnicamente” obter um edifício de serviços próximo do balanço de energia zero, numa base anual, reformulando o sistema de ventilação, reformulando o sistema de iluminação, utilizando sistema de climatização bastante eficiente e produção local por sistemas fotovoltaicos. O termo “tecnicamente” resulta da análise se centrar nos consumos regulados. A reformulação das cargas internas associadas aos equipamentos elétricos, também deve obrigatoriamente ser eficiente.

No contexto da viabilidade económica é consensual que existem atualmente os conhecimentos, as tecnologias construtivas, os materiais e os equipamentos suficientes para projetar e edificar um nZEB. A questão que levanta muitas dúvidas é se são uma aposta economicamente interessante. Para o efeito, foi efetuada a análise económica ao Lar de idosos, centrada no critério do nível ótimo de rentabilidade, definido como o nível de desempenho energético (expresso em energia primária) que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado, sendo o custo global determinado tendo em conta os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos de funcionamento. A aplicação desta metodologia permitiu identificar o nível ótimo de rentabilidade deste edifício, bem como, a rentabilidade de cada variante estudada, identificando as combinações de medidas de eficiência energética e de geração de energia através de fontes renováveis que, para além de garantirem os objetivos energéticos e ambientais estabelecidos, o conseguiram com o melhor compromisso entre o custo de investimento e o custo ao longo do ciclo de vida do edifício.

A solução mais rentável do ponto de visto económico corresponde à variante AP23 nos três climas, com um indicador de eficiência energética previsto sem consumos não regulados, de 59,64 kWh_{EP}/(m².ano) no Porto e uma redução de 76 % em termos de energia primária face ao cenário base. Em Bragança, o IEE previsto respetivo é 70,34 kWh_{EP}/(m².ano), valor que representa uma redução de 74% face ao cenário base e em Faro o IEE previsto é de 61,83 kWh_{EP}/(m².ano), representando uma redução de 76% antes de qualquer intervenção. A AP23 é a combinação da variante AP16, onde se atuou como já referido neste capítulo,

reformulando o sistema ventilação, reformulando o sistema de iluminação, aliado à alteração do sistema de apoio à preparação de AQS e à promoção do aumento da utilização das renováveis, através do aumento do solar térmico, do uso da biomassa e da instalação de dois sistemas fotovoltaicos, para produção de energia elétrica para autoconsumo. Finalmente, de referir que o período de recuperação de capital é da ordem dos oito anos, tornando este tipo de edifícios economicamente interessantes. E ainda de salientar que as soluções com maior desempenho energético apresentam retornos de capital de dez e treze anos, sendo portanto possível caminhar para a aproximação ao balanço energético quase zero.

Na perspetiva do segundo edifício tipo (cenário base) referente a reabilitação de uma moradia, os resultados demonstraram que as condições climáticas têm um papel fundamental na definição de edifícios de balanço energético quase nulo, já que condicionam as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas também o potencial de produção de energia renovável. De acordo com o que já foi apresentado, é notório o destaque das necessidades de energia útil para aquecimento da habitação nas três cidades. Logicamente em Bragança, devido à severidade do clima (traduzida pelo valor dos graus-dia de aquecimento), estas necessidades são mais significativas. Por sua vez, em Faro as necessidades de arrefecimento expressam-se consideravelmente, não sendo contudo significativas nos outros dois climas. Ao contrário do edifício de serviços, ressalta a elevada exposição da habitação às condições exteriores através da envolvente e portanto a maior dependência do clima, justificando-se pelo facto de ser um edifício de habitação, existindo maior relação entre a área da envolvente e volume interior, e logo uma importância elevada da resistência térmica da envolvente no comportamento térmico do edifício. No potencial de intervenção, as medidas, ou conjunto de medidas, seguiram uma hierarquia e tiveram particular enfoque na redução das necessidades de energia por intervenção na envolvente térmica, através da melhoria das soluções construtivas, através da melhoria das características dos vãos envidraçados e através da otimização das necessidades associadas à ventilação; finalmente, seguiu-se a otimização dos consumos associados aos sistemas de climatização e preparação de AQS. Pela metodologia do balanço global entre a energia produzida localmente (G , *generated*) e consumida (L , *load*), denominado por balanço $G-L$, foi possível verificar comportamentos de desempenho energético distintos nas três zonas climáticas. No campo de ação da eficiência energética, verificou-se uma evolução contínua com grande impacto nas medidas passivas na redução das necessidades de energia, nomeadamente, a integração das variantes da envolvente térmica combinada com a ventilação e continuou com a utilização de sistemas energeticamente eficientes ao conduzir a menores consumos de energia, através da otimização na afetação dos recursos disponíveis, mantendo a quantidade do valor energético. Assim, no Porto e em Faro, verificou-se que com as soluções AP19 (caldeira a biomassa e sistema de autoconsumo de 750 W), AP22 (bomba de calor em modo de funcionamento convencional e sistema de autoconsumo de 1.000 W) e AP23 (bomba de calor em modo de funcionamento a baixa e alta temperatura e sistema de autoconsumo de 1.000 W) levam a moradia a ter energia excedentária. Ainda neste foco, as soluções AP18 (bomba de calor modo de funcionamento convencional e sistema de autoconsumo de 750 W) e AP21 (bomba de calor modo de funcionamento a baixa e alta temperatura e sistema de autoconsumo de 750 W) podem ser enquadradas como soluções de nZEB, ou seja com necessidades de energia quase nulas, com índices de energia primária para o Porto de $2,99 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ e $0,94 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$, respetivamente. Em Faro, esses índices são de $3,21 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ e $0,68 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$, respetivamente. No que respeita à localização da moradia em Bragança, o comportamento é ligeiramente idêntico, sendo no entanto alcançado a energia excedentária através da solução AP19 e da solução A25 (bomba de calor e sistema de autoconsumo de 1.500 W). O caminho

dos nZEB dá-se com as soluções AP24 (bomba de calor e sistema de autoconsumo de 1.500 W), AP23 e AP22, através da utilização da bomba de calor e sistema de produção de energia elétrica com potência de 1.000 W. Ainda em Bragança, a solução AP13 (estratégias passivas e utilização de caldeira a biomassa para aquecimento ambiente e AQS) enquadra-se também nas necessidades de energia quase nulas, devido à severidade do clima e consequente necessidade de aquecimento ambiente, através do uso da biomassa, fonte renovável.

No que se refere ao interesse económico, os resultados obtidos do conjunto de medidas estudadas para a moradia, constataram que os níveis ótimos de rentabilidade são diferentes nas três zonas climáticas. Resumindo, no Porto o nível de rentabilidade é alcançado com a variante AP18, através da utilização de bomba de calor e sistema fotovoltaico de 750 W, valor que representa uma redução de 97% e um Ntc de $2,99 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ face à solução base. Em Bragança, dada a forte dependência das necessidades de aquecimento, representado a zona que tem o maior custo global, o seu custo ótimo é garantido pela solução AP24, através da utilização da bomba de calor e a utilização de sistema fotovoltaico de 1.500 W, representando um indicador de energia primária (Ntc) de $3,23 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ com uma redução de 98% face ao cenário base. Em Faro, os custos globais são mais reduzidos resultado das menores necessidades energéticas. A solução ótima é a AP17, é aquela que se focou apenas na redução das cargas térmicas, com a intervenção na envolvente e ventilação, sem alterar os seus sistemas energéticos e introduzindo um sistema fotovoltaico de 750 W. O valor encontrado das necessidades anuais de energia primária (Ntc) para Faro é de $18,18 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$ e reduz em 76 % o consumo de energia primária.

Entretanto, no plano das análises de sensibilidades no âmbito da moradia, analisou-se a relação do proprietário e a edificação nZEB. É sabido que o interesse económico de um edifício de necessidades de energia quase nulas, depende do preço de compra da energia e da evolução da mesma ao longo do período de funcionamento do edifício. Nesse sentido, verificou-se que no caso de aumento das tarifas de energia serem inferiores à taxa de inflação, o custo de reabilitação de um nZEB afasta-se do nível de rentabilidade económica, ou seja, do ponto ótimo de rentabilidade, definido como aquele cujo custo global durante todo o período de vida do edifício é o menor possível. E, nesta situação, a edificação deste tipo de edifícios será economicamente desvantajosa para o proprietário, a menos, claro está, que a construção seja subsidiada a nível nacional ou Europeu. Por outro lado, se o preço de compra da energia aumentar significativamente mais do que o valor da taxa da inflação, o custo de construção nZEB aproxima-se do critério do nível ótimo de rentabilidade, tornando a edificação deste tipo de edifícios economicamente interessante, tal como se demonstrou neste trabalho.

Os estudos realizados indicam que é possível alcançar o desempenho de balanço energético próximo de zero, ou mesmo nulo, através de estratégias e técnicas inteligentes em combinação com tecnologias de energias renováveis.

Para Portugal, os nZEB's são um risco e uma oportunidade. Ao reduzirem a quantidade de energia necessária ao funcionamento dos edifícios, reduz-se a quantidade de energia que é necessária importar, melhorando a nossa balança de transações. Contudo, se a indústria não estiver capacitada para fornecer competitivamente os materiais e os equipamentos necessários à edificação deste tipo de edifícios isso levará à importação dos mesmos, com impacto negativo sobre a nossa balança de transações. Cabe aos decisores políticos incentivar a indústria para uma adequada preparação para o mercado de materiais de construção e equipamentos que se avizinha. Os atuais incentivos do fundo de eficiência energética focados na área residencial e serviços direcionados para a reabilitação, devem obrigatoriamente servir

para abrir caminho para o futuro próximo dos nZEB. O primeiro passo para este caminho, centrou-se no eixo da oferta (produção de energia local), pela mudança de paradigma do autoconsumo através do fotovoltaico. A chegada é oportuna, uma vez que este é o último ano para a mudança voluntária do mercado regulado para o liberalizado. Ora, a liberalização irá possivelmente, facilitar o aumento das tarifas de energia. O autoconsumo é, por isso, uma oportunidade para minimizar os impactos negativos deste aumento e em linha com a deslocação da edificação nZEB para o nível ótimo de rentabilidade.

Como futuros trabalhos a desenvolver, destacam-se a extensão do modelo aplicado ao setor dos “outros” equipamentos elétricos, incluindo todos os consumos do edifício, que ao longo deste estudo foram denominados por consumos tipo “T” e não foram contabilizados no cálculo do índice de eficiência energética no edifício de serviços. Outra abordagem interessante será avaliar qual a percentagem de integração de energias renováveis na definição de edifício de necessidades quase nulas de energia, por setor residencial e não residencial, e paralelamente avaliar qual deve ser a atualização dos fatores de conversão de energia final para energia primária. E finalmente, estudar o balanço energético se a fronteira for traçada em torno de um grupo de edifícios (*zero energy community*).

8 Referências e Bibliografia

- A tanasiu, B., et al. (2011). Principles for nearly Zero-Energy Buildings, paving the way for effective implementation of policy requirements”, Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- ADENE (2015). Impacto da reabilitação energética nas necessidades de energia dos edifícios. Revista Edifícios e Energia, Março/Abril 2015.
- Aelenei, D., Aelenei, L., Gonçalves, H. (2013). Edifícios de balanço energético nulo; Uma síntese das características principais. Revista Climatização, Março/Abril 2013.
- Aelenei, L., et al. (2010). The Road Towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons learned from SolarXXI building in Portugal, Conferência Eurosun, Graz, Austria.
- Aelenei, L., et al. (2011). Passive cooling approaches in Net-Zero Energy Solar Buildings: Lessons learned from demonstration buildings, Conferência CISBAT2011, Lausanne.
- Aelenei, L., et al. (2012). Design Issues for Net Zero-Energy Buildings, Conferência ZEMCH2012, Glasgow.
- Aguiar, R., et al (2012). Análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Solterm 5.1.4 de 2012.
- Almeida, M. (2010). Apontamentos da Unidade Curricular Patologia e Reabilitação Não Estrutural. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- ASHRAE (2013). ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta, 2013
- Barros, H. (2002). Análise de projetos de investimentos
- Besant, R.W., et al. (1979). The Saskatchewan conservation house: some pre-liminary performance results, Energy and Buildings.
- BPIE (2011). Europe’s buidings under the miscroscope. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Disponível em: http://www.bpie.eu/country_review.html
- BPIE (2011a). Principle for nearly zero energy buildings, Paving the way for effective implementation of policy requirements.
- Butti, K., et al. (1980). 2500 Years of Solar Architecture and Technology, Van Nostrand Reinhold Company.
- COM (2011) 885/2. Energy Roadmap 2050. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/>
- COM (2014) 520 Final. Eficiência energética e a sua contribuição para a segurança energética e o quadro político para o clima e a energia para 2030. Disponível em: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/PT/1-2014-520-PT-F1-1.Pdf>

Decreto-Lei n.º 118/2013. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

Despacho n.º 15793-D/2013 (2013). Estabelece os fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária.

Despacho n.º 15793-F/2013. Publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.

Despacho n.º 15793-I/2013. Estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária. Despacho n.º 15793-K/2013. Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho.

DGEG (2014). Direção Geral de Energia e Geologia. Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios, Agosto 2014.

DGEG (2015). Direção Geral de Energia e Geologia. Principais Indicadores Energéticos, Fevereiro 2015. Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>

Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the council of 25 October 2012 on energy efficiency.

ECB Annex (2014). IEA - International Energy Agency Solar Heating and Cooling Task 40/ ECBCS Annex 52, 2014. Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBs). Solution Sets and Net Zero Energy Buildings A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. Report of Subtask C.

Ecofys (2014). Overview of Member States information on NZEBs. Working version of the progress report - final report.

EN 13779 (2007). Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. European Committee for standardization (CEN), 2007.

EN 15251 (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

Entranze (2008a). Share of dwellings built before 1980 in total stock. Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/share-of-dwellings-built-before-1980-in-total-stock.html>

Entranze (2008b). Total unit consumption per m² in residential (at normal climate). Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/total-unit-consumption-per-m2-in-residential-at-normal-climate.html>

Entranze (2008c). Total unit consumption per m² in non-residential (at normal climate). Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/total-unit-consumption-per-m2-in-non-residential-at-normal-climate.html>

Entranze (2008d). Unit consumption by m² for heating and air cooling in non-residential sector (KWh/m²). Disponível em: <http://www.entranze-scenario.enerdata.eu/site/>

- EPBD (2002). Energy Performance of Buildings Directive. Diretiva Comunitária 2002/91/CE.
- EPBD recast (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union.
- Esbensen, T.V. & Korsgaard, V. (1977). Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark.
- ETP (2010). Energy Technologies Perspectives, 2010. Scenarios & Strategies to 2050. International Energy Agency.
- Fernandes, F. (2013). Curso de Auditorias Energéticas em Edifícios de Serviços, Agência para a Energia (ADENE), Novembro 2013.
- Gauna, J. (2011). Hacia los edificios sin hipoteca energética: Passivhaus – la casa passiva. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 1. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Madrid.
- Gonçalves, H. & Graça, J. (2004). Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. DGGE, Lisboa.
- Gonçalves, H. & Oliveira Panão, M.J.N (2013). Pensar a Certificação Energética para Edifícios de Energia Zero. Revista da Ordem dos Engenheiros, Julho/Agosto 2013.
- Gonçalves, H., et al. (2011). SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building, REHVA Jornal, March 2011.
- Kurnitski, J. (Ed) 2013. REHVA nZEB Technical Definition and System Boundaries for Nearly Zero Energy Buildings. REHVA Report No.4.
- Kurnitski, J., et al. (2014). nZEB definitions in Europe. REHVA J. March 2014.
- KWE Statistics (2010). Key World Energy Statistics, 2014. International Energy Agency.
- Lisboa, C. (2013). Como conseguir Net-Zero-Energy em edifícios de escritórios. CIAR2013, Colômbia Cartagena.
- Matias, R. (2013). Cálculo financeiro teoria e prática.
- Matriz Energética do Porto, Fevereiro de 2008. Agência de Energia do Porto.
- Musall, E., et al. (2010). Net Zero energy solar buildings: an overview and analysis on worldwide building projects, EuroSun Conference, Graz, Austria.
- Passive-On (2007). A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: diretrizes de projeto para casas confortáveis de baixo consumo energético. Passive-On Project, Milão
- Portaria n.º 349-B/2013. Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.
- Portaria n.º 349-D/2013. Estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes.
- Portaria n.º 353-A/2013. Estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos

edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação.

Raimundo, A. (2012). Adaptação da metodologia de cálculo do RCCTE à determinação da potência dos sistemas de climatização dos edifícios residenciais. Revista da Ordem dos Engenheiros, Março/Abril 2012.

Regulamento Delegado (UE) N.º 244 (2012). Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das componentes de edifícios.

RSECE (2006). Decreto-lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. “Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios.

Rushing, A. et al. (2010). Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis, 2010.

Sartori, I., Napolitano, A., Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition Framework, Energy and Buildings.

Steinmüller, B. (2008). Reducing Energy by a Factor of 10. Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World. Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, Lüneburg.

Tabula (2010). Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach. Disponível em: http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/report/TABULA_SR1.pdf

Torcellini, P., et al. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, (US).

Virta. M. (Ed) 2012. HVAC in Sustainable Office Buildings - A bridge between Owners and Engineers. REHVA Report No.4.

Weizsäcker, E., et al. (2009). Fator five. The Natural Edge Project, Gateshead.

Yokoo, N. (2009). Transition of Technology and Belief for Green Buildings in Japan, International Conference on Sustainable Integrated Design Process for Building and Construction, Hong Kong.

ANEXO A: Caraterização do edifício de serviços

A.1. Soluções construtivas que compõem a envolvente do edifício de serviços

Designação da solução construtiva	Evidências ou fontes utilizadas para determinação do valor de U	Valor de U [W/m ² .°C]
PE01 – Parede dupla 15 + 11 com isolamento pelo exterior	ITE 50	0,44
PE02 – Parede 15 com isolamento na caixa-de-ar com tijolo maciço de 11.	ITE 50	0,47
PE03 – Parede simples alvenaria bloco betão furado com isolamento pelo exterior	ITE 50	0,56
PE04 - Parede dupla com alvenaria bloco de betão furado de 15 e tijolo cerâmico furado de 11, com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,54
Pe_elev – Parede dupla de betão corrente + tijolo furado de 11 com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,65
PB_20 – Parede simples de alvenaria bloco de betão normal de 20 com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,57
Pesc_15 – Parede dupla com bloco de betão normal de 15 + tijolo furado de 9 com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,55
Pesc_20 – Parede dupla com bloco de betão normal de 12 + tijolo furado de 9 com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,53
PT01 – Ponte térmica plana a parede PE01 – Betão armado de inertes correntes com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,64
PT02 – Ponte térmica plana a parede PE02 – Betão armado de inertes correntes com isolamento na caixa-de-ar, com tijolo maciço de 7 cm pelo exterior.	ITE 50	0,62
PT03 – Ponte térmica plana a parede PE03 – Betão armado de inertes correntes com isolamento pelo exterior.	ITE 50	0,64
PTCE01 – Ponte térmica plana a PE01 caixa em poliestireno expandido de alta densidade reforçada interiormente com estrutura em aço.	Ficha técnica fornecedor	0,42
PTCE02 – Ponte térmica plana a PE02 caixa em poliestireno expandido de alta densidade reforçada interiormente com estrutura em aço.	Ficha técnica fornecedor	0,42
Pi_15 – Parede simples com tijolo cerâmico revestido em ambos os lados, em contacto com casa do lixo	ITE 50	1,78
Cob_P0 - Cobertura plana em betão com isolamento Roofmate, exteriormente por	ITE 50	0,44

gravilha e interiormente por argamassas tradicionais.		
Cob_Ext - Cobertura plana em betão com isolamento Roofmate, exteriormente por gravilha e interiormente placas de gesso cartonado.	ITE 50	0,40
Cob_Terraço - Cobertura plana em betão com isolamento Roofmate, exteriormente por lajetas térmicas e interiormente placas de gesso cartonado.	ITE 50	0,33
Pav_ext – Pavimento sobre o exterior placa aligeirada dupla com isolamento, forrada pelo interior por linóleo e argamassas pelo exterior.	ITE 50	0.67
Pav_P0 - Pavimento sobre desvão sanitário com isolamento forrado interiormente por linóleo.	ITE 50	0.66
Pav_P0 - Pavimento sobre desvão sanitário com isolamento forrado interiormente por grés cerâmico.	ITE 50	0.66
Pav_enu - Pavimento sobre espaço não aquecido (casa do lixo) com isolamento forrado interiormente por linóleo e para espaço não aquecido por argamassas.	ITE 50	0.61

Tabela A 1 – Soluções construtivas que compõem a envolvente do edifício de serviços

A.2. Cálculo da inércia térmica

Tipo de Elemento	Tipo de envolvente	Si [m ²]	Msi [kg/m ²]	r	Msi.r.Si [kg]
Paredes Exteriores, de separação entre frações autónomas e interiores em contacto com zonas não Úteis ou Ed. Adj.					
PB_20	Paredes Exteriores	10	150	1,00	1.512
Pe_elev	Paredes Exteriores	29	150	1,00	4.415
PE01	Paredes Exteriores	515	150	1,00	77.229
PE02	Paredes Exteriores	163	150	1,00	24.507
PE03	Paredes Exteriores	107	150	1,00	16.068
PE04	Paredes Exteriores	42	150	1,00	6.276
Pesc_15	Paredes Exteriores	33	150	1,00	4.902
Pesc_20	Paredes Exteriores	24	150	1,00	3.578
PT01	Paredes Exteriores	22	150	1,00	3.374
PT02	Paredes Exteriores	8	150	1,00	1.161
PT03	Paredes Exteriores	2	150	1,00	261
PTCE01	Paredes Exteriores	25	0	1,00	0
PTCE02	Paredes Exteriores	7	0	1,00	0
Pi_15	Paredes Interiores em contacto com Zona não Útil ou Ed. Adj.	20	86	1,00	1.728
Coberturas da Envolvente					
Cob_Ext	Coberturas Horizontais em Terraço	1.122	150	0,5	84.128
Cob_P0	Coberturas Horizontais em Terraço	18	150	1	2.747
Cob_Terraço	Coberturas Horizontais em Terraço	43	150	0,5	3.220
Elementos Interiores					
Pv_C_int	Pavimento de Compartimentação Interior	20,44	171,20	0,75	2.624
Pv_L_int	Pavimento de Compartimentação Interior	800,77	149,20	0,75	89.606
Pi_15	Paredes de Compartimentação Interiores	973,81	172	1	167.486
Pi_19	Paredes de Compartimentação Interiores	466	192	1	89.499
Pi_25	Paredes de Compartimentação Interiores	26	196	1	5.166
Pi_B19	Paredes de Compartimentação Interiores	13	232	1	3.082
Pi_Elev	Paredes de Compartimentação Interiores	18	300	1	5.379
Pi_Iso_30	Paredes de Compartimentação Interiores	463	196	1	90.615
PI_LH	Paredes de Compartimentação Interiores	71	276	1	19.585
Pi_QS	Paredes de Compartimentação Interiores	20	234	1	4.703
Pi05	Paredes de Compartimentação Interiores	127	292	1	36.981
PI10	Paredes de Compartimentação Interiores	115	300	1	34.473
Pavimentos Exteriores, Interiores em contacto com Zonas não Úteis e Ed. Adjacentes					
Pav_ext	Pavimento Exterior	45	149	1	6.678
Pav_P0	Pavimento Interior em Contacto com Zona não Útil	934	128	1	119.222
P0-Cer	Pavimento Interior em Contacto com Zona não Útil	186	150	1	27.876
Pav_enu	Pavimento Interior em Contacto com Zona não Útil	5	149	1	680
TOTAL (kg)					938.760
ÁREA UTIL PAVIMENTO (m ²)					2.089
Massa superficial por m ² de área de pavimento, It (kg/m ²)					449
TIPO INÉRCIA (FRACA, MÉDIA OU FORTE)					FORTE

Tabela A 2 – Cálculo da inércia térmica do edifício de serviços

A.3. Resultados anuais da simulação dinâmica do edifício base nas três zonas climáticas

1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m ²)
Cooling Coil Loads	95.364	46,092
Heating Coil Loads	65.112	31,470
Grand Total	160.476	77,562

2. Energy Consumption by System Component

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m ²)	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m ²)
Air System Fans	65.500	31,658	163.750	79,144
Cooling	25.619	12,382	64.047	30,956
Heating	19.226	9,292	48.064	23,231
Pumps	5.787	2,797	14.468	6,993
Heat Rejection Fans	0	0,000	0	0,000
HVAC Sub-Total	116.132	56,129	290.329	140,323
Lights	86.062	41,596	215.154	103,989
Electric Equipment	77.726	37,567	194.315	93,917
Misc. Electric	0	0,000	0	0,000
Misc. Fuel Use	0	0,000	0	0,000
Non-HVAC Sub-Total	163.787	79,163	409.469	197,907
Grand Total	279.919	135,292	699.798	338,230

Notes:

1. 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
2. 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
3. Site Energy is the actual energy consumed.
4. Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
5. Source Energy for fuels equals the site energy value.
6. Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.
 Gross Floor Area 2069,0 m²
 Conditioned Floor Area 2069,0 m²

Figura A 1 – Simulação energética base Porto

1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m ²)
Cooling Coil Loads	101.251	48,937
Heating Coil Loads	109.598	52,972
Grand Total	210.849	101,909

2. Energy Consumption by System Component

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m ²)	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m ²)
Air System Fans	65.500	31,658	163.750	79,144
Cooling	29.050	14,041	72.625	35,101
Heating	34.428	16,640	86.070	41,600
Pumps	6.620	3,200	16.549	7,999
Heat Rejection Fans	0	0,000	0	0,000
HVAC Sub-Total	135.597	65,538	338.993	163,844
Lights	86.062	41,596	215.154	103,989
Electric Equipment	77.726	37,567	194.315	93,917
Misc. Electric	0	0,000	0	0,000
Misc. Fuel Use	0	0,000	0	0,000
Non-HVAC Sub-Total	163.787	79,163	409.469	197,907
Grand Total	299.385	144,700	748.462	361,751

Notes:

1. 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
2. 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
3. Site Energy is the actual energy consumed.
4. Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
5. Source Energy for fuels equals the site energy value.
6. Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.
 Gross Floor Area 2069,0 m²
 Conditioned Floor Area 2069,0 m²

Figura A 2 – Simulação energética base Bragança

1. Annual Coil Loads

Component	Load (kWh)	(kWh/m ²)
Cooling Coil Loads	141.049	68,172
Heating Coil Loads	48.833	23,602
Grand Total	189.882	91,775

2. Energy Consumption by System Component

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m ²)	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m ²)
Air System Fans	65.500	31,658	163.750	79,144
Cooling	39.481	19,082	98.703	47,706
Heating	14.154	6,841	35.385	17,102
Pumps	5.982	2,891	14.955	7,228
Heat Rejection Fans	0	0,000	0	0,000
HVAC Sub-Total	125.117	60,472	312.793	151,181
Lights	86.062	41,596	215.154	103,989
Electric Equipment	77.726	37,567	194.315	93,917
Misc. Electric	0	0,000	0	0,000
Misc. Fuel Use	0	0,000	0	0,000
Non-HVAC Sub-Total	163.787	79,163	409.469	197,907
Grand Total	288.905	139,635	722.261	349,087

Notes:

1. 'Cooling Coil Loads' is the sum of all air system cooling coil loads.
2. 'Heating Coil Loads' is the sum of all air system heating coil loads.
3. Site Energy is the actual energy consumed.
4. Source Energy is the site energy divided by the electric generating efficiency (40,0%).
5. Source Energy for fuels equals the site energy value.
6. Energy per unit floor area is based on the gross building floor area.
 Gross Floor Area **2069,0** m²
 Conditioned Floor Area **2069,0** m²

Figura A 3 – Simulação energética base Faro

Ref.	Piso	Espaço	Ar novo [m³/h]	Equipamento AR NOVO	Taxa ar novo insuflado pela UTA	Caudal máximo de extração [m³/h]	Equipamento AR NOVO	Equipamento EXTRACÇÃO
0,030	Piso 0	Circ.-ZC02,03 e 03'	400	UTAN3	100%	100	UTAN3	UTAN3
0,040	Piso 0	Recepção-C01	150	UTAN3	100%	0	UTAN3	
0,050	Piso 0	Tesouraria-C02	100	UTAN3	100%	0	UTAN3	
0,060	Piso 0	Gabinete Adm/Cont-C03	100	UTAN3	100%	100	UTAN3	UTAN3
0,070	Piso 0	IS Mascul. C04	0			100		VIS 5
0,080	Piso 0	Gabinete Trabalho - C05	100	UTAN3	100%	100	UTAN3	UTAN3
0,090	Piso 0	IS Feminina. C06				100		VIS 5
0,100	Piso 0	Gab. Encarreg. Geral-C07	100	UTAN3	100%	100	UTAN3	UTAN3
0,110	Piso 0	Sala Reuniões - C08	400	UTAN3	100%	400	UTAN3	UTAN3
0,120	Piso 0	Gabinete Director - C09	100	UTAN3	100%	100	UTAN3	UTAN3
0,130	Piso 0	Gabinete Médico - C10	200	UTAN3	100%		UTAN3	
0,140	Piso 0	IS Gabinete Médico - C11				200		VIS 5
0,150	Piso 0	Circulação - ZC04	750	UTAN3	100%		UTAN3	
0,160	Piso 0	IS/Vest. Utentes_Femin.- C12				625		VIS 5
0,170	Piso 0	IS/Vest. Utentes_Masc.- C13				625		VIS 5
0,180	Piso 0	Arrumos Mat_Ext - C14				150		VIS 5
0,200	Piso 0	Ginásio - C15	1.000	UTAN3	100%	1000	UTAN3	UTAN3
0,210	Piso 0	Fisioterapia - C16	150	UTAN3	100%	150	UTAN3	VIS 3
0,220	Piso 0	Banho de Ajuda - C17				150		VIS 3
0,230	Piso 0	Muda de Fralda - C18	150	UTAN3	100%		UTAN3	
0,240	Piso 0	Circulação - ZC05	300	UTAN1	100%		UTAN1	
0,250	Piso 0	Circulação - ZC06		UTAN1	100%		UTAN1	
0,260	Piso 0	Circulação - ZC07	600	UTAN1	100%		UTAN1	
0,280	Piso 0	Ante-Camara-Ascensor ZA02	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,300	Piso 0	Mat_Primas/C19				300		VIS 2
0,310	Piso 0	IS Utentes Feminino-C20				375		VIS 3
0,320	Piso 0	IS Utentes Mascul.-C21				500		VIS 2
0,330	Piso 0	Vestiários Func.Masc.-C22				375	UTAN1	VIS 2
0,340	Piso 0	Vestiários Func.Femin.-C23				375	UTAN1	VIS 2
0,350	Piso 0	Sala Pessoal - C24	200	UTAN1	100%		UTAN1	
0,360	Piso 0	IS Funcionários Masc.-C25				200		VIS 2
0,370	Piso 0	IS Funcionários Femin.-C26				100		VIS 2
0,380	Piso 0	IS Acessível			100%	125		VIS 2
0,390	Piso 0	Circulação - ZC08	200	UTAN1	100%		UTAN1	
0,400	Piso 0	Circulação - ZC09	600	UTAN1	100%		UTAN1	
0,410	Piso 0	Circulação - ZC10	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,430	Piso 0	Armazém géneros alim.C28	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	VIS 1
0,440	Piso 0	Recep_Sujos_lavand.C29	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,450	Piso 0	Lav. - Lavag/Secagem				500		VIS 1
0,460	Piso 0	Engomadoria	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,470	Piso 0	Arrumos Roupa Limpa	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,480	Piso 0	Expedição	100	UTAN1	100%		UTAN1	
0,490	Piso 0	Armazém Géneros-C30	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	VIS 1
0,510	Piso 0	Armazém Géneros-C32	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	VIS 1
0,520	Piso 0	Arr. Material Limpeza-C33				125		VIS 1
0,530	Piso 0	Vasilhame - C34				100		VIS 1
0,550	Piso 0	Sala_Preparação_ref-C36	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	VIS 1
0,560	Piso 0	Despensa - C37	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	VIS 1
0,570	Piso 0	Cozinha - C38	9.400			11700	Hotte	Hotte
0,580	Piso 0	Sala Refeições - C39	1.500	UTAN1	100%	1500	UTAN1	UTAN1
0,590	Piso 0	Sala Convívio - C40	900	UTAN1	100%	900	UTAN1	UTAN1
0,600	Piso 0	Bar Apoio C41	100	UTAN3	100%	100	UTAN3	VIS 3
0,610	Piso 0	IS C42 - Apartamento				125		VIS 3
0,620	Piso 0	Quarto - Apartamento	100	UTAN1	100%	100	UTAN1	UTAN1
0,630	Piso 0	Coz/Kitchnet - Apartamento	250	UTAN1	100%	250	UTAN1	UTAN1
0,640	Piso 0	Circulação - Apartamento	100	UTAN3	100%		UTAN3	
0,650	Piso 0	S_Electricidade - C45	400	UTAN3	100%	400	UTAN3	UTAN3
0,660	Piso 0	S_Carpintaria, Cestaria-C46	400	UTAN3	100%	400	UTAN3	UTAN3
0,670	Piso 0	S_Tecelagem/Bordados-C47	400	UTAN3	100%	400	UTAN3	UTAN3
0,680	Piso 0	S_Relaxamento - C48	400	UTAN3	100%	400	UTAN3	UTAN3

VIS Ventilador extração instalações sanitárias

UTAN Unidade de tratamento de ar novo

Tabela A 3 – Relação de caudais de ar novo do piso 0 contabilizados na simulação energética

Ref.	Piso	Espaço	Ar novo [m³/h]	Equipamento AR NOVO	Taxa de ar novo insuflado pela UTA	Caudal máximo de extração [m³/h]	Equipamento AR NOVO	Equipamento EXTRACÇÃO
1,710	Piso 1	Sala Resid_Autonoma-C49	250	UTAN2	100%		UTAN2	
1,720	Piso 1	Coz-Resid_Autonoma-C50	100	UTAN2	100%		UTAN2	Hotte
1,750	Piso 1	IS . Res_Auton. C53				125		VIS 6
1,760	Piso 1	Quarto Duplo - C54	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,770	Piso 1	IS - QD - C55				125		VIS 6
1,780	Piso 1	IS Fração - C56				125		VIS 6
1,790	Piso 1	Quarto Ind. - C57	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,800	Piso 1	Quarto Duplo - C58	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,810	Piso 1	Circulação-R_Auton-ZC11	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,820	Piso 1	Arrumos Mat.Equip. - C59				100		VIS 4
1,830	Piso 1	IS C60 - quarto Ind.				125		VIS 4
1,840	Piso 1	Quarto Ind. - C61	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,850	Piso 1	Rouparia - C62				200		VIS 4
1,870	Piso 1	Arrumos mat_Limpeza-C63				100		VIS 4
1,880	Piso 1	IS Vigilante - C64				200		VIS 4
1,890	Piso 1	Posto Vigilante - C65	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,900	Piso 1	Quarto Vigilante - C66	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,910	Piso 1	IS C67 - quarto Ind.				125		VIS 4
1,920	Piso 1	Quarto Ind. - C68	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,930	Piso 1	Circulação - ZC12	400	UTAN2	100%		UTAN2	
1,940	Piso 1	Circulação - ZC13	300	UTAN2	100%		UTAN2	
1,950	Piso 1	Circulação - ZC14	200	UTAN2	100%		UTAN2	
1,970	Piso 1	Ante-Camara-Ascensor ZA02	100	UTAN2	100%		UTAN2	
1,990	Piso 1	Zona Sujos - C69				100		VIS 4
1,100	Piso 1	Arrumos - C70				100		VIS 4
1,101	Piso 1	IS Feminina. C71				125		VIS 4
1,102	Piso 1	IS Masculinos. C72				125		VIS 4
1,103	Piso 1	IS C73 - quarto Ind.				125		VIS 4
1,104	Piso 1	Quarto Ind. - C74	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,105	Piso 1	Rouparia - C75				200		VIS 4
1,107	Piso 1	IS Feminina. C76				100		VIS 4
1,108	Piso 1	IS Masculinos. C77				125		VIS 4
1,109	Piso 1	Sala Pessoal - C78	250	UTAN2	100%		UTAN2	
1,110	Piso 1	IS C79 - quarto Ind.				125		VIS 4
1,111	Piso 1	Quarto Ind. - C80	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,112	Piso 1	IS C81 - Quarto Duplo				125		VIS 4
1,113	Piso 1	Quarto Duplo. - C82	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,114	Piso 1	IS C83 - Quarto Duplo				125		VIS 4
1,115	Piso 1	Quarto Duplo. - C84	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,116	Piso 1	IS C85 - Quarto Duplo				125		VIS 4
1,117	Piso 1	Quarto Duplo. - C86	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,118	Piso 1	Copa - C87	100	UTAN2	100%	100	UTAN2	VIS 4
1,119	Piso 1	Refeitório - C88	1.100	UTAN2	100%	1100	UTAN2	UTAN2
1,120	Piso 1	Sala Convívio - C89	450	UTAN2	100%	450	UTAN2	UTAN2
1,121	Piso 1	Sala Convívio - C90	675	UTAN2	100%	675	UTAN2	UTAN2
1,122	Piso 1	IS Ajuda - C91				250		VIS 4
1,123	Piso 1	IS C92 - Quarto Duplo				125		VIS 4
1,124	Piso 1	Quarto Duplo. - C93	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,125	Piso 1	IS C94 - Quarto Duplo				125		VIS 4
1,126	Piso 1	Quarto Duplo. - C95	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,127	Piso 1	IS C96- Quarto Duplo				125		VIS 4
1,128	Piso 1	Quarto Duplo. - C97	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,129	Piso 1	IS C98- Quarto Duplo				125		VIS 4
1,130	Piso 1	Quarto Duplo. - C99	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,131	Piso 1	IS C100- Quarto Duplo				125		VIS 4
1,132	Piso 1	Quarto Duplo. - C101	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,133	Piso 1	IS C102- Quarto Duplo				125		VIS 4
1,134	Piso 1	Quarto Duplo. - C103	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2
1,135	Piso 1	IS C104- Quarto Duplo				125		VIS 4
1,136	Piso 1	Quarto Duplo. - C105	100	UTAN2	100%		UTAN2	UTAN2

VIS Ventilador extração instalações sanitárias

UTAN Unidade de tratamento de ar novo

Tabela A 4 – Relação de caudais de ar novo do piso 1 contabilizados na simulação energética

A.4. Balanço energético das análises paramétricas nas três zonas climáticas

ref.	Porto - Consumo anual de energia final [kWh/ano]							Indicador de Eficiência Energética	Indicador de Eficiência Energética	
	[€/kWh]						Origem Renovável			Origem externa
	Eletricidade	GPL	GN	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica		Portaria 349 D/13	s/ equip. elet.	
	0,120	0,085	0,079	0,041	0,0	0,0		IEE _{total} [kWh _{EP} /m ²]	IEE ₍₁₎ [kWh _{EP} /m ²]	
Base	282407	16468			16271		16271	298875	345,85	251,02
AP1	278891	16468			16271		16271	295359	341,64	246,81
AP2	279675	16468			16271		16271	296143	342,58	247,75
AP3	278676	16468			16271		16271	295144	341,39	246,55
AP4	280095	16468			16271		16271	296562	343,08	248,25
AP7	282541	16468			16271		16271	299008	346,01	251,18
AP8	277705	16468			16271		16271	294173	340,23	245,39
AP9	278381	16468			16271		16271	294849	341,03	246,20
AP11	281383	16468			16271		16271	297851	344,63	249,79
AP12	239587	16468			16271		16271	256054	294,61	199,77
AP13	232833	16468			16271		16271	249301	286,52	191,69
AP14	190449	16468			16271		16271	206917	235,80	140,97
AP15	185262	16468			16271		16271	201730	229,59	134,76
AP16	174851	16468			16271		16271	191318	217,13	122,30
AP17	174851		12446		19003		19003	187296	215,21	120,37
AP18	174851			13469	19003		32472	174851	209,25	114,42
AP19	178181				19003		19003	178181	213,24	118,40
AP20	172139			13469	19003		32472	172139	206,01	111,17
AP21	167771			39729	19003		58732	167771	200,78	105,94
AP22	169583			13469	19003		32472	169583	202,95	108,11
AP23	174851			13469	19003	45808	78280	174851	154,43	59,60
AP24	167771			39729	19003	45808	104540	167771	145,96	51,12
AP25	172139			13469	19003	45808	78280	172139	151,19	56,35
AP26	169583			13469	19003	45808	78280	169583	148,13	53,29

Tabela A 5 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Porto

ref.	Bragança - Consumo anual de energia final [kWh/ano]								Indicador de Eficiência Energética	Indicador de Eficiência Energética
	[€/kWh]						Origem Renovável Origem externa			
	Eletricidade	GPL	GN	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica			Portaria 349 D/13	s/ equip. elet.
	0,120	0,085	0,079	0,041	0,0	0,0			IEE _{total} [kWh _{EP} /m ²]	IEE ₍₁₎ [kWh _{EP} /m ²]
Base	302636	15622			17787		17787	318258	369,66	274,82
AP16	185860	15622			17787		17787	201482	229,91	135,07
AP17	185860		11655		20527		20527	197515	228,01	133,17
AP18	185860			12613	20527		33140	185860	222,43	127,59
AP19	189191				20527		20527	189191	226,41	131,58
AP20	181826			12613	20527		33140	181826	217,60	122,76
AP21	171601			62399	20527		82926	171601	205,36	110,53
AP22	176492			12613	20527		33140	176492	211,22	116,38
AP23	185860			12613	20527	47838	80978	185860	165,18	70,34
AP24	171601			62399	20527	47838	130764	171601	148,11	53,28
AP25	181826			12613	20527	47838	80978	181826	160,35	65,51
AP26	176492			12613	20527	47838	80978	176492	153,97	59,13

Tabela A 6 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Bragança

ref.	Faro - Consumo anual de energia final [kWh/ano]							Indicador de Eficiência Energética	Indicador de Eficiência Energética	
	[€/kWh]						Origem Renovável			Origem externa
	Eletricidade	GPL	GN	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica		Portaria 349 D/13	s/ equip. elet.	
	0,120	0,085	0,079	0,041	0,0	0,0		IEE _{total} [kWh _{EP} /m ²]	IEE ₍₁₎ [kWh _{EP} /m ²]	
Base	291142	11387			18587		18587	302529	353,87	259,04
AP16	183380	11387			18587		18587	194767	224,91	130,08
AP17	183380		7687		21368		21368	191067	223,14	128,30
AP18	183380			8319	21368		29687	183380	219,46	124,62
AP19	185437				21368		21368	185437	221,92	127,09
AP20	179905			8319	21368		29687	179905	215,30	120,47
AP21	178187			28037	21368		49405	178187	213,24	118,41
AP22	174972			8319	21368		29687	174972	209,40	114,56
AP23	183380			8319	21368	52454	82141	183380	156,69	61,85
AP24	178187			28037	21368	52454	101859	178187	150,47	55,64
AP25	179905			8319	21368	52454	82141	179905	152,53	57,69
AP26	174972			8319	21368	52454	82141	174972	146,62	51,79

Tabela A 7 – Balanços energéticos Edifício de serviços - Faro

ANEXO B: Caracterização do edifício de habitação

B.1. Caracterização da envolvente do edifício de habitação

Paredes	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontal	Total
PE_01	4,05	31,12	0	24,07	0	27,49	0	20,48		107,21
PE_01_PTP	0,6	19,29	0	7,22	0	18,95	0	11,67		57,73
PE_02	0	0	0	8,41	0	0	0	6,27		14,68
PE_02_PTP	0	0	0	6,82	0	0	0	2,99		9,81
PTP_03	0	0,72	0	1,2	0	2,16	0	0		4,08

Tabela B 1 – Envolvente opaca por orientação [m²]

Solução Envidraçada	Orientação	área [m ²]	(g_T)	(U_w) [W/(m ² .°C)]
VE.01	Nordeste	1,44	0,04	2,98
VE.02	Nordeste	1,44	0,04	2,98
VE.03	Sudoeste	3,78	0,04	2,98
VE.04	Sudoeste	3,78	0,04	2,98
VE.05	Sudoeste	3,78	0,04	2,98
VE.06	Sudoeste	3,78	0,04	2,98
VE.07	Sudeste	4,20	0,04	2,98
VE.08	Sudeste	4,20	0,04	2,98
VE.09	Sudeste	0,60	0,37	3,1
VE.10	Sudeste	0,60	0,37	3,1
VE.11	Noroeste	0,36	0,75	3,66
VE.12	Noroeste	0,60	0,75	4,0
VE.13	Noroeste	0,60	0,75	4,0

Tabela B 2 – Envolvente não opaca por orientação

PE_01

PORMENOR 1 - PAREDES EXTERIORES DE 30,6cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)									
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	ρ (kg/m ³)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,040				150	1	DL 118/2013
Argamassa de revestimento, com rede de fibra de vidro e revestimento exterior de acabamento decorativo	0,005								ITE50 (LNEC)
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 6 cm de espessura	0,060	0,036	1,667	20,0	1,2	1,2			ITE50 (LNEC)
Argamassa de colagem ao suporte	0,006								ITE50 (LNEC)
Pano exterior de alvenaria de tijolo cerâmico de 22 cm	0,220		0,520	1450,0	319,0	319,0			ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,560	0,027	1200,0	18,0	18,0			ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013
dtotal (m) =	0,306		R_t (m ² .°C/W)			338	337		≤ 150 Kg/m²
			U (W/m².°C)						0,42

PE_01_PTP

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	ρ (kg/m ³)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,040				150	1	DL 118/2013
Argamassa de revestimento, com rede de fibra de vidro e revestimento exterior de acabamento decorativo	0,005								ITE50 (LNEC)
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 3 cm de espessura	0,030	0,036	0,833	20,0	0,6	0,6			ITE50 (LNEC)
Argamassa de colagem ao suporte	0,006								ITE50 (LNEC)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,250	2,000	0,125	2400,0	600,0	600,0			ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	1,300	0,012	1200,0	18,0	18,0			ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013
dtotal (m) =	0,306		R_t (m ² .°C/W)		619	618			≤ 150 Kg/m²
			U (W/m².°C)						0,88

Tabela B 3 – Soluções construtivas PE_01 e PE_01_PTP

PE_02

PORMENOR 2 - PAREDES EXTERIORES DE ESPESSURA 25,6 cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)									
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m3)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,040				150	1	DL 118/2013
Argamassa de revestimento, com rede de fibra de vidro e revestimento exterior de acabamento decorativo	0,005								ITE50 (LNEC)
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 3 cm de espessura	0,030	0,036	0,833	20,0	0,6	0,6			ITE50 (LNEC)
Argamassa de colagem ao suporte	0,006								ITE50 (LNEC)
Pano exterior de alvenaria de tijolo cerâmico de 20 cm	0,200		0,520	1450,0	290,0	290,0			ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,560	0,027	1200,0	18,0	18,0			ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013
dtotal (m) =	0,256	Rt (m².°C/W)	1,550		309	308			≤ 150 Kg/m²
		U (W/m².°C)	0,65						

PE_02_PTP

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m3)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,040				150	1	DL 118/2013
Argamassa de revestimento, com rede de fibra de vidro e revestimento exterior de acabamento decorativo	0,005								ITE50 (LNEC)
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 3 cm de espessura	0,030	0,036	0,833	20,0	0,6	0,6			ITE50 (LNEC)
Argamassa de colagem ao suporte	0,006								ITE50 (LNEC)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,200	2,000	0,100	2400,0	480,0	480,0			ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	1,300	0,012	1200,0	18,0	18,0			ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013
dtotal (m) =	0,256	Rt (m².°C/W)	1,115		499	498			≤ 150 Kg/m²
		U (W/m².°C)	0,90						

Tabela B 4 – Soluções construtivas PE_02 e PE_02_PTP

PTP_03

PORMENOR 3- CAIXA DE ESTORE										
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	ρ (kg/m3)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência	
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,130				18,6	1	DL 118/2013	
Argamassa de revestimento, com rede de fibra de vidro e revestimento exterior de acabamento decorativo	0,005			1600,0	8,0				ITE50 (LNEC)	
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 2 cm de espessura	0,020	0,036		14,0	0,3				ITE50 (LNEC)	
Argamassa de colagem ao suporte	0,006			1600,0	9,6				ITE50 (LNEC)	
Interior da caixa de estore tipo Caixinova 260	0,200				0,0				ITE50 (LNEC)	
Camada em Polistireno expandido moldado para proteção da ponte térmica em placas de EPS, do tipo "ISOSFER-Isoplak" com 2 cm	0,02	0,04	0,50	14	0,28				ITE50 (LNEC)	
Parede interior da caixa de estore tipo Caixinova 260 em EPS	0,040	0,036	1,111	14,0	0,6	0,6			ITE50 (LNEC)	
Reboco interior estuque projetado	0,015	1,300	0,012	1200,0	18,0	18,0			ITE50 (LNEC)	
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013	
dtotal (m) =		0,306	Rt (m ² .°C/W)	1,753		37	19	≤ 150 Kg/m ²		
			U (W/m ² .°C)	0,57						

PI_01

PORMENOR 4- PAREDES INTERIORES DE 18cm										
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m3)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência	
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130				150	1	DL 118/2013	
Reboco interior estuque projetado	0,015	1,3	0,012	1800,0	27,0	27,0			ITE50 (LNEC)	
Pano interior de tijolo de 15 cm	0,150		0,390	1450,0	217,5	217,5			ITE50 (LNEC)	
Reboco interior estuque projetado	0,015	1,3	0,012	1800,0	27,0	27,0			ITE50 (LNEC)	
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,130						DL 118/2013	
dtotal (m) =		0,18	Rt (m².°C/W)	0,673		271,5	271,5		≤ 150 Kg/m²	
			U (W/m².°C)	1,49						

COB_01

PORMENOR 9 - LAJE DE ESTEIRA_ENU										
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m³)	m_t	M_i	M_{si}	r	Referência	
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,10				150	1	DL 118/2013	
Betonilha de regularização	0,04	1,80	0,022	1600	64				ITE50 (LNEC)	
Camada de enchimento em betão celular	0,15	0,27	0,556	600	90				ITE50 (LNEC)	
Camada de isolamento do tipo Poliestireno expandido do tipo "Roofmate SL-A" em placas de 6 cm	0,060	0,036	1,667	20	1				ITE50 (LNEC)	
Elementos estruturais em betão armado	0,15	2,00	0,075	2500	375	375			ITE50 (LNEC)	
Revestimento interior em estuque projetado com 2,0 cm	0,02	1,3	0,015	2400	48	48			ITE50 (LNEC)	
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,10						DL 118/2013	
dtotal (m) =		0,420	Rt (m².°C/W)	2,535		578	423	≤150 Kg/m²		
			U (W/m².°C)	0,39						

Tabela B 5 – Soluções construtivas: PTP_03, PI_01 e COB_01

COB_02

PORMENOR 10 - LAJE DE TERRAÇO HORIZONTAL NÃO ACESSÍVEL									
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/ W)	ρ (kg/m 3)	m _t	m _i	M _{si}	r	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,04				150	1	DL 118/2013
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,008	2300	23				ITE50 (LNEC)
Betonilha de regularização	0,04	1,80	0,022	1600	64				ITE50 (LNEC)
Tela Asfáltica, tipo "Imperialum" Polyplas 30, cruzada com polyster 40T	0,007	0,230	0,030	1000	7,0				ITE50 (LNEC)
Camada de enchimento em betão celular	0,15	0,27	0,556	600	90				ITE50 (LNEC)
Camada de isolamento do tipo Poliestireno expandido do tipo "Roofmate SL-A" em placas de 6 cm	0,060	0,036	1,667	20	1				ITE50 (LNEC)
Elementos estruturais em betão armado	0,16	2,00	0,080	2500	400	400			ITE50 (LNEC)
Revestimento interior em estuque projetado com 2,0 cm	0,02	1,3	0,015	2400	48	48			ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,10						DL 118/2013
dtotal (m) = 0,447		R_t (m ² .°C/W)	2,518		633	448	≤ 150 Kg/m ²		
		U (W/m ² .°C)	0,40						

PAV_EXT

PORMENOR 11 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE O EXTERIOR											
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m3)	m_t	m_i	M_{si}	r	Referência		
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior da FA)			0,17				150	1	DL 118/2013		
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,008	2300	23	23			ITE50 (LNEC)		
Betonilha de regularização	0,04	1,80	0,022	1600	64	64			ITE50 (LNEC)		
Camada de enchimento em betão celular	0,15	0,27	0,556	600	90	90			ITE50 (LNEC)		
Elementos estruturais em betão armado	0,16	2,00	0,080	2500	400	400			ITE50 (LNEC)		
Camada em material isolante, constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas ao pano exterior da parede de fachada, nomeadamente "sistema Weber" placa de EPS, da classe EPS 100, com 6 cm de espessura	0,060	0,036	1,667	20,0	1,2	1,2			ITE50 (LNEC)		
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior da FA)			0,04						DL 118/2013		
dtotal (m) =		0,420	R_t (m².°C/W)	2,542		578	578		≤ 150 Kg/m²		
			U (W/m².°C)	0,39							

PAV_INT

PORMENOR 12 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE A GARAGEM										
Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	ρ (kg/m3)	m _t	M _i	M _{si}	r	Referência	
Resistência Térmica Superficial (R _{si} - interior da FA)			0,17				150	1	DL 118/2013	
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,008	2300	23	23			ITE50 (LNEC)	
Betonilha de regularização	0,04	1,80	0,022	1600	64	64			ITE50 (LNEC)	
Camada de enchimento em betão celular	0,15	0,27	0,556	600	90	90			ITE50 (LNEC)	
Camada de isolamento do tipo Poliestireno expandido do tipo "Roofmate SL-A" em placas de 6 cm	0,060	0,036	1,667	20	1				ITE50 (LNEC)	
Elementos estruturais em betão armado	0,16	2,00	0,080	2500	400				ITE50 (LNEC)	
Revestimento interior em estuque projetado com 2,0 cm	0,02	1,3	0,015	2400	48				ITE50 (LNEC)	
Resistência Térmica Superficial (R _{si} - interior da FA)			0,17						DL 118/2013	
d _{total} (m) =		0,440	R _t (m².°C/W)	2,688		626	177	≤ 150 Kg/m²		
			U (W/m².°C)	0,37						

Tabela B 6 – Soluções construtivas COB_02, PAV_EXT e PAV_INT

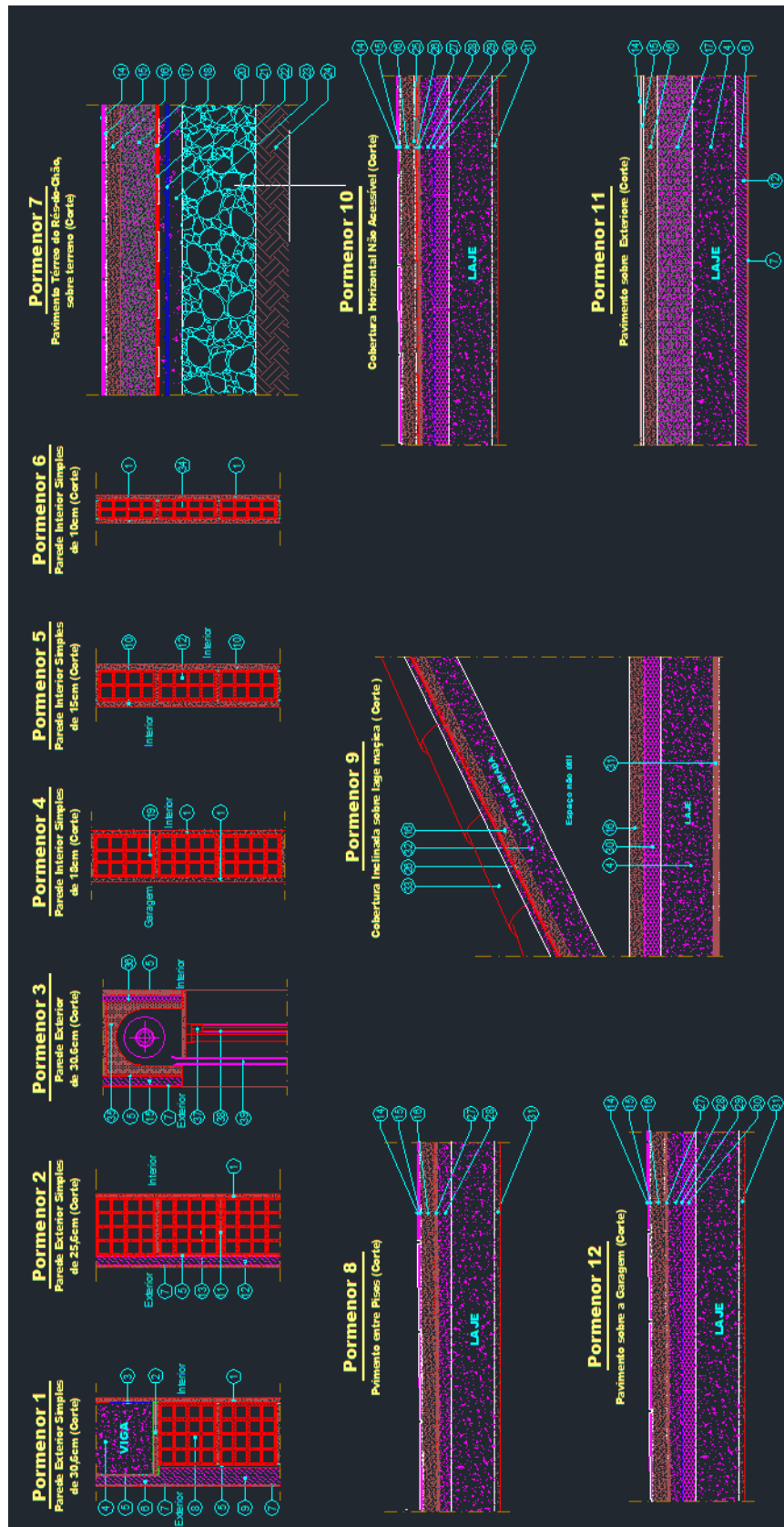


Figura B 1 – Pormenores construtivos

B.2. Cálculo da inércia térmica

CÁLCULO DA INÉRCIA TÉRMICA					
ELEMENTO DE CONSTRUÇÃO		Msi	Si	Fator de Correção	Msi . ri . Si
		[Kg/m ²]	[m ²]	r	[Kg]
Ref.	PAREDES EXTERIORES - EL1				
PE_01	PORMENOR 1 - PAREDES EXTERIORES DE 30,6cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)	150	107,21	1	16081,50
PE_01_PTP	PORMENOR 1 - PAREDES EXTERIORES DE 30,6cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)	150	57,73	1	8659,50
PE_02	PORMENOR 2 - PAREDES EXTERIORES DE ESPESSURA 25,6 cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)	150	14,69	1	2203,50
PE_02_PTP	PORMENOR 2 - PAREDES EXTERIORES DE ESPESSURA 25,6 cm (Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, tipo ETICS ou equivalente)	150	9,81	1	1471,50
PTP_03	PORMENOR 3- CAIXA DE ESTORE	18	4,08	1	73,44
PI_01	PORMENOR 4 ENU c/ Garagem - PAREDES INTERIORES DE 18cm	150	15,56	1	2334,00
					0,00
LAJES DE COBERTURA/PAVIMENTO - EL1					
COB_01	PORMENOR 9 - LAJE DE ESTEIRA ENU	150,00	54,87	1	8230,50
COB_02	PORMENOR 10 - LAJE DE TERRAÇO HORIZONTAL NÃO ACESSÍVEL	150,00	44,19	1	6628,50
PAV_INT	PORMENOR 12 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE A GARAGEM	150,00	12,68	1	1902,00
PAV_EXT	PORMENOR 11 - LAJE DE PAVIMENTO SOBRE O EXTERIOR	150,00	11,81	1	1771,50
PAREDES ENTERRADAS - EL2					
PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO - EL2					
PAVTERR	PORMENOR 7-LAJE DE PAVIMENTO EM CONTACTO COM O TERRENO	150,00	89,29	1	13393,50
PAVIMENTOS INTERIORES - EL3					
LAJE_PISO	PORMENOR 8 - LAJE DE PAVIMENTO ENTRE PISOS	300,00	62,56	1	18768,00
PAREDES INTERIORES - EL3					
PC_01	Paredes interiores de espessura 15 cm	213,50	142,57	1	30438,70
					0,00
					0,00
Massa superficial por m ² de área de pavimento, It = (Msi . Si . ri)/Ap [kg/m ²]					634,89
TIPO INÉRCIA (FRACA, MÉDIA OU FORTE)					FORTE

Tabela B 7 – Cálculo da inércia térmica

B.3. Resultados de cálculo do edifício base nas três zonas climáticas

<i>Síntese</i>		
	Ap (m ²)	176,34
	Pd (m)	2,86
	Aenv (m ²)	29,16
	Classe de Inércia Térmica do Edifício	Forte
Cálculo		
	Aenv/Ap	17%
A - Transmissão	Hext (W/°C)	318,1
	Hint (W/°C)	48,4
	Hecc (W/°C)	30
	Htr (W/°C)	396,7
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,68
	Hve,i (W/°C)	116,8
	Rph,v (h-1)	0,68
	Hve,v (W/°C)	116,8
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	3149
	Qsol,i (kWh/ano)	6789
	Qg,i (kWh/ano)	9938
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	2065
	Qsol,v (kWh/ano)	3497
	Qg,v (kWh/ano)	5563
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	11901
	Qve,i (kWh/ano)	3503
	ηi	0,94
	Qgu,i (kWh/ano)	9314
	Nic (kWh/m ² .ano)	34,53
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	4762
	Qve,v (kWh/ano)	1402
	ηv	0,85
	Qg,v (kWh/ano)	5563
	Nvc (kWh/m ² .ano)	4,83
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m ² .ano)	86,34
	Arrefecimento (kWhEP/m ² .ano)	0,00
	feh	1,00
	Qa/Ap (kWh/m ² .ano)	16,85
	AQS (kWhEP/m ² .ano)	17,38
	Vent. Mecânica (kWhEP/m ² .ano)	0,00
	Eren (kWh/ano)	2290
	Renovável (kWhEP/m ² .ano)	12,99
	Global (kWhEP/m ² .ano)	90,73

Tabela B 8 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base no Porto

Síntese		
	Ap (m ²)	176,34
	Pd (m)	2,86
	Aenv (m ²)	29,16
	Classe de Inércia Térmica do Edifício	Forte
	Cálculo	
	Aenv/Ap	17%
A - Transmissão	Hext (W/°C)	318,1
	Hint (W/°C)	48,4
	Hecc (W/°C)	30
	Htr (W/°C)	396,7
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,68
	Hve,i (W/°C)	116,8
	Rph,v (h-1)	0,68
	Hve,v (W/°C)	116,8
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	3707
	Qsol,i (kWh/ano)	7686
	Qg,i (kWh/ano)	11394
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	2065
	Qsol,v (kWh/ano)	3457
	Qg,v (kWh/ano)	5522
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	19184
	Qve,i (kWh/ano)	5647
	ηi	0,98
	Qgu,i (kWh/ano)	11156
	Nic (kWh/m ² .ano)	77,55
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	4065
	Qve,v (kWh/ano)	1197
	ηv	0,79
	Qg,v (kWh/ano)	5522
	Nvc (kWh/m ² .ano)	6,65
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m ² .ano)	193,89
	Arrefecimento (kWhEP/m ² .ano)	5,94
	feh	1,00
	Qa/Ap (kWh/m ² .ano)	16,85
	AQS (kWhEP/m ² .ano)	17,36
	Vent. Mecânica (kWhEP/m ² .ano)	0,00
	Eren (kWh/ano)	2317
	Renovável (kWhEP/m ² .ano)	13,14
	Global (kWhEP/m ² .ano)	204,04

Tabela B 9 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base em Bragança

Síntese

	Ap (m ²)	176,34
	Pd (m)	2,86
	Aenv (m ²)	29,16
	Classe de Inércia Térmica do Edifício	Forte
	Cálculo	
	Aenv/Ap	17%
A - Transmissão	Hext (W/°C)	318,1
	Hint (W/°C)	48,4
	Hecc (W/°C)	30
	Htr (W/°C)	396,7
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,68
	Hve,i (W/°C)	116,8
	Rph,v (h-1)	0,68
	Hve,v (W/°C)	116,8
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	2438
	Qsol,i (kWh/ano)	6267
	Qg,i (kWh/ano)	8705
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	2065
	Qsol,v (kWh/ano)	3645
	Qg,v (kWh/ano)	5711
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	9397
	Qve,i (kWh/ano)	2766
	ηi	0,92
	Qgu,i (kWh/ano)	7968
	Nic (kWh/m ² .ano)	23,79
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	2207
	Qve,v (kWh/ano)	650
	ηv	0,49
	Qg,v (kWh/ano)	5711
	Nvc (kWh/m ² .ano)	16,64
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m ² .ano)	59,47
	Arrefecimento (kWhEP/m ² .ano)	14,86
	feh	1,00
	Qa/Ap (kWh/m ² .ano)	16,85
	AQS (kWhEP/m ² .ano)	17,15
	Vent. Mecânica (kWhEP/m ² .ano)	0,00
	Eren (kWh/ano)	2589
	Renovável (kWhEP/m ² .ano)	14,68
	Global (kWhEP/m ² .ano)	76,80

Tabela B 10 – Síntese dos resultados de cálculo do edifício base em Faro

B.4. Síntese das análises paramétricas e balanços energéticos nas três zonas climáticas

Ref.	Análises Paramétricas (AP)
Base	Paredes exteriores simples em alvenaria com isolamento térmico pelo exterior (EPS de 6 cm) em toda a envolvente opaca vertical com requisitos térmicos. Pavimentos e coberturas com requisitos térmicos com isolamento térmico de 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal). Vãos envidraçados em caixilharia metálica sem rotura térmica, vidro duplo corrente, fator solar do vidro - 0,75 (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 10 mm, $U_{wnd} = 2,98 - 4 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$. Aquecimento ambiente por resistência elétrica e multisplit com EER 2,8 (classe C) para arrefecimento ambiente. A produção de AQS efetuada maioritariamente pelo sistema solar térmico e complementado pelo esquentador, a gás natural, com 19,2 kW de potência e eficiência de 88 %.
AP1	Aumento do isolamento térmico em 2 cm em toda a envolvente opaca exterior e interior (horizontal e vertical) com requisitos térmicos e aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (8 cm)
AP2	Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos
AP3	Aumento do isolamento térmico em 2 cm na envolvente opaca (vertical) com requisitos térmicos, aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (8 cm de EPS) e aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos
AP4	Aumento do isolamento térmico em 4 cm em toda a envolvente opaca (vertical) com requisitos térmicos, aplicação de isolamento na parede interior ENU garagem (10 cm) e aumento do isolamento térmico em 6 cm em toda a envolvente opaca (horizontal) com requisitos térmicos
AP5	AP3 e vão envidraçado com caixilharia metálica com corte térmico, $U_{wnd} = 2,43 - 3,44 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$; fator solar vidro - 0,75
AP6	AP3 e vão envidraçado com caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4, com vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,6 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm
AP7	AP3 e vão envidraçado em caixilharia em PVC com vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,33 - 1,79 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,6 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm.
AP8	AP4 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4 vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,6 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm
AP9	Sistema de ventilação, VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP10	AP3 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4 com vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,6 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm e sistema de ventilação, VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP10a	Zona climática Faro: AP3 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4 com vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,37 - 1,76 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,5 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm e sistema de ventilação, VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP11	AP4 e sistema de ventilação, VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP12	AP4 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4, vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,46 - 2,52 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,6 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm e VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP12a	Zona climática Faro: AP4 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4, vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,37 - 1,76 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,5 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm e VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP12b	Zona climática Faro: AP4 e vão envidraçado em caixilharia metálica com rotura térmica melhorada, classe 4, vidro duplo de baixa emissividade, $U_{wnd} - 1,37 - 1,76 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, fator solar do vidro - 0,5 com (6 + 6 mm) com caixa-de-ar de 16 mm, com proteção exterior por portadas de madeira e VMC (ventilação mecânica controlada) com recuperador de calor de tipo contra fluxo com rendimento mínimo de 75%.
AP13	AP12 com instalação de caldeira a biomassa a pellets de 24 kW, rendimento de 90 % a 100 % da carga nominal, conjugada com a instalação de uma rede de radiadores nas divisões principais, para assegurar a climatização ambiente durante a estação de aquecimento e o apoio térmico ao AQS.
AP14	AP12 com Instalação de uma caldeira de condensação a gás natural de 24 kW, com rendimento de 97,7 % (ida 80°C/retorno 60°C) a 100% da carga nominal, conjugada com a instalação de uma rede de radiadores nas divisões principais, para assegurar o aquecimento ambiente durante a estação de inverno e o apoio térmico ao AQS.
AP15	AP12 com instalação de bomba de calor para produção de AQS, com 3 kW de potência e eficiência (COP) de 3,6 com uma capacidade de 300 litros e para arrefecimento e aquecimento ambiente, bomba de calor ar-água de 10,7 kW em arrefecimento (EER - 3,23 Ar exterior 35°C; ida 7°C), e 12,1 kW em aquecimento (COP - 3,4 Ar exterior 7°C; ida 45°C), associada a unidades interiores do tipo ventiloconvetores.
AP16	AP12 com instalação de bomba de calor para produção de AQS, com 3 kW de potência e eficiência (COP) de 3,6 com uma capacidade de 300 litros e bomba de calor ar-água, reversível, para aquecimento (11,2 kW com COP 4,22 c/ ar exterior 7°C; ida 35°C) e arrefecimento (12,3 kW com EER 3,81 c/ ar exterior 35°C; ida 18°C), interligado a sistema de tratamento ambiente por pavimento radiante.
AP17	AP 12 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP18	AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP19	AP 13 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W

AP20	AP 14 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP21	AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 750 W
AP22	AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1000 W
AP23	AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1000 W
AP24	Zona climática Bragança: AP 15 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1500 W
AP25	Zona climática Bragança: AP 16 + Instalação de sistema fotovoltaico para autoconsumo de 1500 W

Tabela B 11 – Análises paramétricas realizadas nos três climas

ref.	Porto - Consumo anual de energia final [kWh/ano]								Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc [kWh _{EP} /m ²]
	[€/kWh]								
	Elettricidade	Gás Natural	--	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica			
	0,159	0,079	0,000	0,050	0,0	0,0	Origem Renovável	Origem externa	
Base	6089	773			2290		2290	6862	90,72
AP1	4780	773			2290		2290	5553	72,16
AP2	5498	773			2290		2290	6272	82,34
AP3	4638	773			2290		2290	5412	70,15
AP4	4125	773			2290		2290	4898	62,87
AP5	4296	773			2290		2290	5069	65,29
AP6	3939	773			2290		2290	4712	60,24
AP7	4044	773			2290		2290	4817	61,72
AP8	3433	773			2290		2290	4206	53,06
AP9	4833	773			2290		2290	5606	72,90
AP10	2743	773			2290		2290	3517	43,29
AP11	2855	773			2290		2290	3628	44,86
AP12	2331	773			2290		2290	3104	37,43
AP13	608			2670	2290		4960	608	8,62
AP14	608	2460			2290		2290	3068	22,57
AP15	1257				2290		2290	1257	17,81
AP16	1112				2290		2290	1112	15,76
AP17	2331	773			2290	1045	3335	3104	22,61
AP18	1257				2290	1045	3335	1257	2,99
AP19	608			2670	2290	1045	6006	608	0,00
AP20	608	2460			2290	1045	3335	3068	7,75
AP21	1112				2290	1045	3335	1112	0,94
AP22	1257				2290	1450	3740	1257	0,00
AP23	1112				2290	1450	3740	1112	0,00

Tabela B 12 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Porto

ref.	Bragança - Consumo anual de energia final [kWh/ano]							Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc [kWh _{EP} /m²]	
	[€/kWh]						Origem Renovável		Origem externa
	Eletricidade	Gás Natural	--	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica			
	0,159	0,079	0,000	0,050	0,0	0,0			
Base	14094	743			2317		2317	14837	204,03
AP1	11145	743			2317		2317	11887	162,21
AP2	13028	743			2317		2317	13771	188,92
AP3	10882	743			2317		2317	11625	158,49
AP4	9898	743			2317		2317	10641	144,54
AP5	10211	743			2317		2317	10954	148,98
AP6	9288	743			2317		2317	10031	135,89
AP7	9397	743			2317		2317	10140	137,44
AP8	8311	743			2317		2317	9053	122,04
AP9	11029	743			2317		2317	11772	160,57
AP10	6583	743			2317		2317	7326	97,54
AP11	7034	743			2317		2317	7777	103,94
AP12	5681	743			2317		2317	6424	84,76
AP13	717			6242	2317		8559	717	10,17
AP14	717	5750			2317		2317	6467	42,78
AP15	2297				2317		2317	2297	32,57
AP16	1953				2317		2317	1953	27,69
AP17	5681	743			2317	1097	3414	6424	69,22
AP18	2297				2317	1097	3414	2297	17,03
AP19	717			6242	2317	1097	9655	717	0,00
AP20	717	5750			2317	1097	3414	6467	27,23
AP21	1953				2317	1097	3414	1953	12,14
AP22	2297				2317	1471	3788	2297	11,72
AP23	1953				2317	1471	3788	1953	6,83
AP24	2297				2317	2070	4387	2297	3,23
AP25	1953				2317	2070	4387	1953	0,00

Tabela B 13 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Bragança

ref.	Faro - Consumo anual de energia final [kWh/ano]								Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc [kWh _{EP} /m ²]
	[€/kWh]						Origem Renovável	Origem externa	
	Elettricidade	Gás Natural	--	Biomassa	Renovável Térmica	Renovável Elétrica			
	0,159	0,079	0,000	0,050	0,0	0,0			
Base	5243	439			2859		2859	5682	76,80
AP1	4020	439			2859		2859	4459	59,46
AP2	4767	439			2859		2859	5206	70,06
AP3	3906	439			2859		2859	4345	57,84
AP4	3513	439			2859		2859	3952	52,27
AP5	3667	439			2859		2859	4106	54,46
AP6	3420	439			2859		2859	3859	50,96
AP7	3498	439			2859		2859	3937	52,05
AP8	3034	439			2859		2859	3473	45,48
AP9	4170	439			2859		2859	4609	61,59
AP10	2639	439			2859		2859	3078	39,88
AP10a	2882	439			2859		2859	3321	43,33
AP12a	2528	439			2859		2859	2967	38,31
AP12b	2312	439			2859		2859	2751	35,25
AP13	1066			1814	2859		4673	1066	15,11
AP14	1066	1671			2859		2859	2737	24,56
AP15	1432				2859		2859	1432	20,28
AP16	1254				2859		2859	1254	17,75
AP17	2312	439			2859	1204	4063	2751	18,18
AP18	1432				2859	1204	4063	1432	3,21
AP19	1066			1814	2859	1204	5878	1066	0,00
AP20	1066	1671			2859	1204	4063	2737	7,49
AP21	1254				2859	1204	4063	1254	0,68
AP22	1432				2859	1615	4474	1432	0,00
AP23	1254				2859	1615	4474	1254	0,00

Tabela B 14 – Balanços energéticos do Edifício de habitação – Faro

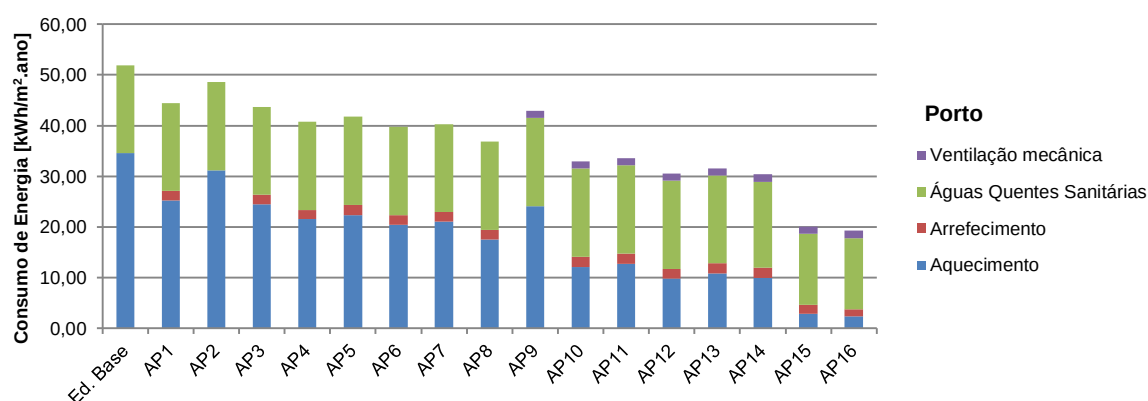


Figura B 2 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes no Porto

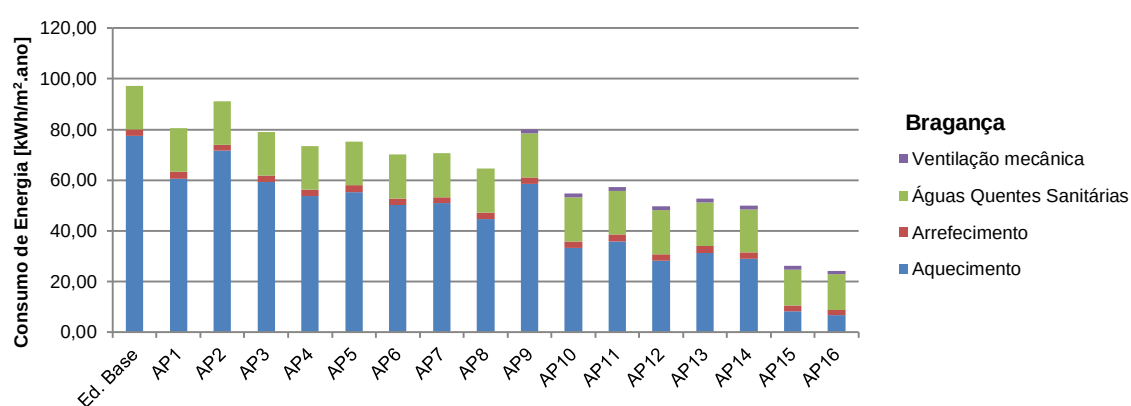


Figura B 3 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes em Bragança

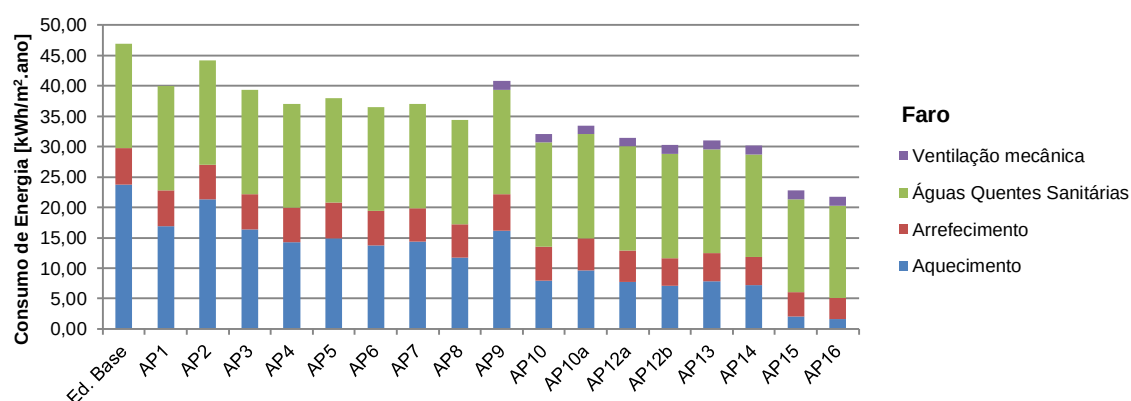


Figura B 4 – Indicadores de desempenho energéticos das variantes em Faro