U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

CONTRIBUTO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS EM AMBIENTE URBANO

SIMULAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS INSERIDOS EM MALHA URBANA

EUNICE MARIA VILAVERDE FONTÃO

TESE DE DOUTORAMENTO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
PRODEC - PROGRAMA DOUTORAL EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR EDUARDO ALBERTO BAPTISTA MALDONADO
COORIENTADOR: PROFESSORA DOUTORA MARIA HELENA PÓVOAS CORVACHO

JULHO 2014

Resumo

O aumento da população a viver em zonas urbanas origina uma maior preocupação com o consumo energético para condicionamento térmico dos edifícios inseridos em malhas urbanas. Neste estudo utilizou-se a simulação térmica para avaliar o impacto que diferentes cenários de malha urbana e diferentes índices de utilização do solo têm nas necessidades energéticas para condicionamento térmico dos edifícios de habitação coletivos.

Realizou-se um levantamento dos índices de utilização do solo utilizados nos planos diretores municipais em Portugal e, em seguida sistematizaram-se oito configurações diferentes de malhas urbanas.

Realizou-se um estudo de comparação entre as necessidades de energia para condicionamento térmico quando calculadas por dois métodos distintos, o programa TRNSYS e a metodologia prevista na Diretiva Europeia (EPBD) e transposta para o direito nacional pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Em seguida, determinaram-se as necessidades energéticas para condicionamento térmico, utilizando o programa TRNSYS, para um edifício-tipo de habitação coletiva inserido em oito cenários diferentes de malha urbana, com diferentes valores de índice de utilização do solo, considerando vários números de pisos (entre 4 e 16) e variantes, num total de 97 casos de estudo para o clima do Porto.

O estudo das necessidades energéticas para condicionamento térmico foi alargado para sete climas nacionais, para os quatro valores do índice de utilização do solo referidos, duas configurações de malha e três variantes em altura do edifício, num total de 168 casos de estudo.

Com base na análise dos resultados obtidos definiram-se recomendações passiveis de serem incluídas nos instrumentos de planeamento urbano, por forma a promover a eficiência energética dos edifícios e ir ao encontro do preconizado pela EPBD, com vista a edifícios de balanço energético quase nulo em 2020.

Abstract

The increase of population living in urban areas leads to a greater concern with energy consumption for the thermal conditioning of buildings located within the urban fabric. This study uses thermal simulation to evaluate the impact that different scenarios of urban fabric and land use rates have on the energy demands for thermal conditioning of multifamily residential buildings.

Eight different configurations for urban fabric were defined, based on a survey of land use rates applied by municipal master plans in Portugal.

A study comparing the energy demands for the thermal conditioning of a building was carried out using two methods: the TRNSYS program and the methodology provided by the national regulations, according to the European Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD). The TRNSYS program was used to determine the energy demands for thermal conditioning for a multifamily residential building located in the defined eight different scenarios of urban fabric, in the different rates of land use and for various heights (between 4 and 16 floors), totalizing 97 study cases using the typical climate for Porto.

Using TRNSYS, the study of the energy demands for thermal conditioning of the multifamily residential building was extended to seven other national climates, four land use rate values, two urban fabric scenarios and three different building heights, totalizing 168 case-studies.

Based on the analysis of the results, recommendations to be included in urban plan regulations were produced, in order to promote energy efficiency in residential buildings as recommended by the EPBD, in the context of nearly zero energy buildings (NZEB) by 2020.

Prefácio

A escolha do tema para a presente dissertação teve em conta as preferências pessoais da autora e a utilidade que estudo desenvolvido possa ter. A preparação desta dissertação constituiu uma etapa pessoal de desenvolvimento e crescimento técnico e científico, a qual não teria sido possível sem orientação e apoio.

Começo por agradecer ao Professor Doutor Eduardo Maldonado a oportunidade dada para a concretização desta dissertação, a orientação dada ao longo do trabalho, e os conhecimentos transmitidos. Agradeço também à Professora Doutora Helena Corvacho a coorientação, a disponibilidade e o apoio dado.

Agradeço ainda ao Professor Doutor José Luís Alexandre, à Doutora Ana Palmero e à Engª Petra Vaquero, pelo apoio dado com o programa TRNSYS.

Ao meu marido José Fernando e aos meus pais Manuel Alberto e Maria Amélia agradeço o apoio incondicional que recebi.

Dedico esta dissertação aos meus filhos, Maria Emília e José Alberto, com a esperança de os inspirar a cumprirem os seus sonhos.

Índice do texto

Capítulo 1 Introdução 1

Capítulo 2 Estado da arte 3
2.1 Enquadramento 3
2.2 Planeamento urbano e sustentabilidade 4
2.3 Clima urbano 6
2.4 Eficiência energética em contexto urbano 11

Capítulo 3 Malhas urbanas 21
3.1 Introdução 21
3.2 Identificação e caracterização dos parâmetros urbanísticos utilizados pelos instrumentos de planeamento territorial 21
3.2.1 Instrumentos de planeamento territorial 21
3.2.2 Parâmetros urbanísticos 23
3.3 Identificação e escolha dos concelhos representativos 26
3.4 Levantamento dos valores usados para índice de utilização do solo 31
3.5 Definição das malhas 34
3.5.1 Disposições regulamentares 34
3.5.2 O acesso ao Sol em ambiente urbano 35
3.5.3 Configuração das malhas urbanas 37
3.5.3.1 Edifícios isolados 39
3.5.3.2 Edifícios agrupados 48
3.3.5.3 Edifícios em banda 49
3.6 Sombras devidas aos edifícios circundantes 50
3.7 Síntese 56

Capítulo 4 Estudo do comportamento térmico de um edifício-tipo 57
4.1 Introdução 57
4.2 Metodologias de cálculo do comportamento térmico 57
4.2.1 O programa TRNSYS 57
4.2.1.1 Descrição matemática 58
4.2.1.2 Considerações sobre o programa TRNSYS 61
4.2.2 A metodologia do RCCTE 62
4.2.2.1 Determinação das necessidades de aquecimento 63
4.2.2.2 Determinação das necessidades de arrefecimento 64
4.2.2.3 Considerações sobre a metodologia do RCCTE 65
4.3 Dados e condições de realização do estudo 65
4.3.1 Dados climáticos 65
4.3.2 Edifício tipo 67
4.3.2.1 Soluções construtivas 68
4.3.2.2 Ventilação e ganhos internos 72

4.3.3. Condições do estudo do comportamento térmico 72
4.3.3.1 Delimitação 72
4.3.3.2 Zonas comuns 74
4.3.3.3 Condições interiores de referência 75
4.3.3.4 Proteção solar 75
4.3.3.5 Perdas térmicas durante a estação de aquecimento 76
4.4 Estudo do comportamento térmico do edifício-tipo 76
4.4.1 Estação de aquecimento 76
4.4.1.1 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura fixa" 76
4.4.1.2 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura variável" 80
4.4.2 Estação de arrefecimento 84
4.4.2.1 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura fixa" 84
4.4.2.2 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura variável" 87
4.4.3 Discussão dos resultados 90
4.5 Simulação térmica do edifício-tipo em ambiente urbano 92
4.5.1 Estudos realizados 92
4.5.1.1 Condições de sombra entre edifícios 92
4.5.1.2 Resultados das simulações para os diferentes cenários 97
4.5.1.3 Estudos realizados com modificações do edifício-tipo 101
4.5.1.3.1 Alteração da fachada lateral no edifício agrupado 101
4.5.1.3.2 Alteração da fachada do edifício isolado 104
4.5.1.3.3 Aumento do número de pisos 107
4.5.1.4 Alteração da orientação solar da fachada principal 113
4.5.2 Síntese e discussão dos resultados 115

Capítulo 5 Simulação térmica de edifícios em ambiente urbano 119
5.1 Introdução 119
5.2 Condições de realização da simulação térmica 119
5.2.1 Dados climáticos 119
5.2.2 Índices de utilização do solo e malhas urbanas 120
5.2.3 Edifício-tipo 122
5.2.4 Temperatura interior do edifício na estação de arrefecimento. 125
5.2.4.1 Determinação dos fatores de sombreamento 126
5.2.4.2 Simulação do comportamento térmico durante o Verão 128
5.3 Simulação térmica dos edifícios inseridos em malha urbana 134
5.3.1 Resultados das simulações para o clima de Coimbra 134
5.3.2 Resultados das simulações para o clima de Lisboa 140
5.3.3 Resultados das simulações para os climas de Almada, Vila Nova de Gaia, Braga, Castelo Branco e Vila Real 141
5.3.8 Comparação dos resultados obtidos por edifícios 145
5.3.9 Síntese dos aspetos relevantes nos resultados obtidos 152
5.3.10 Comparação dos resultados obtidos com uma *Passive House* 154
5.4 Estudo de uma alternativa ao edifício tipo 155
5.4.1 Necessidades energéticas para conforto térmico 156

5.4.2 Perfil de temperaturas obtido sem condicionamento térmico durante o Inverno 159
5.5 Aspetos a considerar na urbanização 161

Capítulo 6 Conclusões 163
6.1 Síntese do estudo realizado 163
6.2 Síntese das conclusões obtidas com o estudo realizado 165
6.3 Recomendações para instrumentos de planeamento urbano 168
6.4 Perspetivas de desenvolvimento 170

Bibliografia 171

Anexo A Afastamentos entre edifícios em função do índice de utilização do solo e configuração da malha 181
Anexo B Ângulos formados pelos edifícios 185
Anexo C Dados climáticos 251
Anexo D Dados geométricos 253
Anexo E Cálculo do coeficiente de transmissão térmica 255
Anexo F Resistências térmicas lineares 257
Anexo G Cálculo da inércia térmica 259
Anexo H Cálculo da temperatura nas zonas comuns 261
Anexo I Cálculo das necessidades energéticas pela metodologia do RCCTE 263
Anexo J Resultados das simulações térmicas para o clima do Porto 287
Anexo K Resultados das simulações térmicas dos edifícios em banda e isolados com 4, 8 e 12 pisos para os climas de Lisboa, Almada, Vila Nova de Gaia, Braga, Castelo Branco e Vila Real 303
Anexo L Resultados das simulações dos edifícios em banda e isolados com 4, 8 e 12 pisos para o clima de Coimbra 315

Índice de gráficos

Gráfico 3-1: Distribuição do número de ocorrências para cada valor do índice de utilização do solo. 33

Gráfico 4-1: Nic para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa. 78
Gráfico 4-2: Nic para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa. 78
Gráfico 4-3: Nic para o edifício com inércia térmica forte sem temperatura fixa. 80
Gráfico 4-4: Nic para o edifício com inércia térmica média sem temperatura fixa. 81
Gráfico 4-5: Nic para o edifício com inércia térmica forte. 82
Gráfico 4-6: Nic para o edifício com inércia térmica média. 82
Gráfico 4-7: Comparação das Nic para todos os pisos com ambas as inércias. 83
Gráfico 4-8: Nvc para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa. 85
Gráfico 4-9: Nvc para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa. 85
Gráfico 4-10: Nvc do edifício com inércia térmica forte e sem temperatura fixa. 87
Gráfico 4-11: Nvc para o edifício com inércia térmica média e sem temperatura fixa. 88
Gráfico 4-12: Nvc para o edifício com inércia térmica forte. 88
Gráfico 4-13: Nvc para o edifício com inércia térmica forte. 89
Gráfico 4-14: Comparação das Nvc para todos os pisos com ambas as inércias. 89
Gráfico 4-15: Valores das Nic médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7. 98
Gráfico 4-16: Valores das Nvc médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7. 99
Gráfico 4-17: Valores das Ntc médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7. 100
Gráfico 4-18: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, nos vários cenários de malha urbana, com variantes na empena lateral dos edificios agrupados. 102
Gráfico 4-19: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, na configuração em banda e agrupado com variantes na empena lateral 103
Gráfico 4-20: Valores das Nic médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7 105
Gráfico 4-21: Valores das Nvc médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7 105
Gráfico 4-22: Valores das Ntc médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7 106
Gráfico 4-23: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, nas configurações de edifício isolado e em banda com alteração da parede exterior. 107
Gráfico 4-24: Comparação das Nic médias do edifício-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4. 108
Gráfico 4-25: Comparação das Nvc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4. 109
Gráfico 4-26: Comparação das Ntc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4. 110
Gráfico 4-27: Comparação das Ntc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, em função do ângulo formado entre os edifícios. 112
Gráfico 4-28: Comparação do valor médio das Nic do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8. 113
Gráfico 4-29: Comparação do valor médio das Nvc do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8. 114

Gráfico 4-30: Comparação do valor médio das Ntc do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8.....114

Gráfico 5-1:Temperatura média interior no edifício isolado durante a estação de arrefecimento.....131
Gráfico 5-2: Temperatura média interior no edifício em banda durante a estação de arrefecimento.....131
Gráfico 5-3: Distribuição por temperatura interior do edifício em banda do tempo da estação de arrefecimento com persiana a ocultar 75 % da janela.....132
Gráfico 5-4: Distribuição por temperatura interior do edifício isolado do tempo da estação de arrefecimento com persiana a ocultar 75 % da janela.....132
Gráfico 5-5: Comparação das Nic dos edifícios em banda, representativas de cada clima com o requisito para *Passive House*.....155
Gráfico 5-6: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Lisboa.....158
Gráfico 5-7: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Vila Nova de Gaia.....158
Gráfico 5-8: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Vila Real.....158
Gráfico 5-9: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Lisboa.....159
Gráfico 5-10: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Vila Nova de Gaia.....160
Gráfico 5-11: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Vila Real...160

Índice de tabelas

Tabela 3-1: Zonas geográficas para às combinações climáticas mais desfavoráveis. 27
Tabela 3-2: Os cinco concelhos mais populosos para as combinações climáticas mais desfavoráveis. 28
Tabela 3-3 População e combinação climática para as áreas metropolitas e principais cidades de Portugal. 29
Tabela 3-4: Conjunto dos concelhos representativos, por combinação climática e respetiva população. 30
Tabela 3-5: Levantamento dos valores do índice de utilização do solo. 32
Tabela 3-6: Dimensões da malha de edifícios isolados A para diferentes índices. 40
Tabela 3-7:Dimensões da malha de edifícios isolados A com 6 e 8 pisos para I_u de 0.8. 40
Tabela 3-8: Dimensões da malha de edifícios isolados B para diferentes índices. 42
Tabela 3-9:Dimensões da malha de edifícios isolados B com 6 e 8 pisos para I_u de 1.2. 42
Tabela 3-10: Dimensões da malha de edifícios isolados C para diferentes índices. 43
Tabela 3-11: Dimensões da malha de edifícios isolados D para diferentes índices. 45
Tabela 3-12: Dimensões da malha de edifícios isolados E para diferentes índices. 46
Tabela 3-13: Dimensões da malha de edifícios isolados alternados para diferentes índices. 47
Tabela 3-14: Valores de $I_{umáx}$ para as diferentes configurações de edifícios isolados. 47
Tabela 3-15: Dimensões da malha de edifícios agrupados para diferentes índices. 48
Tabela 3-16: Dimensões da malha de edifícios em banda para diferentes índices. 50
Tabela 3-17: Ângulos entre o edifício em estudo e os edifícios circundantes na configuração de edifícios isolados A com I_u de 0.3. 55
Tabela 3-18: Ângulos entre o edifício em estudo e os edifícios circundantes na configuração edifícios em banda e para os vários valores de I_u 56

Tabela 4-1: Radiação solar incidente. 67
Tabela 4-2: Propriedades térmicas dos materiais utilizados. 70
Tabela 4-3: Pontes térmicas lineares. 71
Tabela 4-4: Propriedades dos vidros e caixilhos. 71
Tabela 4-5: Classificação da envolvente vertical (paredes) – Ver Anexo D. 74
Tabela 4-6: Classificação da envolvente horizontal (lajes) – Ver Anexo D. 74
Tabela 4-7: Perdas por ventilação e ganhos solares e internos, para a estação de aquecimento. 77
Tabela 4-8: Perdas pela envolvente para a estação de aquecimento. 77
Tabela 4-9: Nic para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa. 78
Tabela 4-10: Nic para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa. 78
Tabela 4-11: Comparação dos valores Nic obtidos no programa TRNSYS. 79
Tabela 4-12: Comparação dos valores Nic obtidos com a metodologia do RCCTE. 79
Tabela 4-13: Nic para o edifício com inércia térmica forte sem temperatura fixa. 80
Tabela 4-14: Nic para o edifício com inércia térmica média sem temperatura fixa. 80
Tabela 4-15: Comparação das Nic obtidas no TRNSYS sem temperatura fixa. 82
Tabela 4-16: Perdas e ganhos para a estação de arrefecimento. 84
Tabela 4-17: Perdas pela envolvente para a estação de arrefecimento. 84
Tabela 4-18: Nvc para o edifico com inércia térmica forte e temperatura fixa. 85
Tabela 4-19: Nvc para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa. 85
Tabela 4-20: Comparação dos valores Nvc obtidos no programa TRNSYS. 86

Tabela 4-21: Comparação dos valores Nvc obtidos com a metodologia do RCCTE. 86
Tabela 4-22: Nvc para o edifício com inércia térmica forte e sem temperatura fixa. 87
Tabela 4-23: Nvc para o edifício com inércia térmica média e sem temperatura fixa. 87
Tabela 4-24: Nic com e sem condições de sombra. 96
Tabela 4-25: Nvc com e sem condições de sombra. 96

Tabela 5-1 Dados climáticos utilizados em cada combinação climática. 119
Tabela 5-2: Duração da estação de aquecimento. 120
Tabela 5-3: Comparação dos valores para U 123
Tabela 5-4 Solução construtiva, valores de U e de U_{ref} para cada zona climática. 125
Tabela 5-5: Fator de sombreamento utilizado no TRNSYS para as diferentes posições de persiana. 127
Tabela 5-6: Distribuição percentual da temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.3. 129
Tabela 5-7: Temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.3. 129
Tabela 5-8: Distribuição percentual da temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.8. 130
Tabela 5-9: Temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.8. 130
Tabela 5-10: Resultados para as Nic, por zona, e valores médios para os edificios isolado e em banda com 4 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra. 134
Tabela 5-11: Resultados para as Nic, por zona e valores médios para os edificios isolado e em banda com 8 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra. 136
Tabela 5-12: Número de horas com temperatura interior superior a 20 ºC durante a estação de aquecimento. 137
Tabela 5-13: Resultados para as Nic, por zona e valores médios para os edificios isolado e em banda com 12 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra 138
Tabela 5-14: Comparação dos resultados obtidos com os edifícios isolados para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados. 146
Tabela 5-15: Comparação dos resultados obtidos com os edifícios em banda para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados. 147
Tabela 5-16: Comparação dos resultados obtidos com os edifícios isolados para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados. 150
Tabela 5-17: Comparação dos resultados obtidos com os edifícios em banda para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados. 151
Tabela 5-18: Coeficientes de transmissão térmica das lajes de cobertura e piso para o edifício alternativo. 156
Tabela 5-19: Comparação das Nic entre o edifício de referência e o edifício alternativo com 4 pisos nos climas de Lisboa, Vila Nova de Gaia e Vila Real. 157
Tabela 5-20: Comparação das Nic entre o edifício de referência e o edifício alternativo com 12 pisos nos climas de Lisboa, Vila Nova de Gaia e Vila Real. 157

Índice de figuras

Figura 3-1: Condições regulamentares mínimas a garantir no afastamento entre as fachadas, com janelas, de edifícios. 35
Figura 3-2:a) Proposta de disposição dos edifícios; b) disposição usual dos edifícios. 36
Figura 3-3: Condição afastamento entre edifícios em função da altura solar. 37
Figura 3-4: Designação dos afastamentos entre os edifícios. 38
Figura 3-5: Edifícios isolados A. 39
Figura 3-6: Edifícios isolados B. 41
Figura 3-7: Edifícios isolados C. 43
Figura 3-8: Edifícios isolados D. 44
Figura 3-9: Edifícios isolados E. 45
Figura 3-10: Edifícios isolados alternados. 46
Figura 3-11: Disposição de edifícios agrupados ou geminados. 48
Figura 3-12: Disposição de edifícios em banda. 49
Figura 3-13: Azimute solar na malha urbana. 51
Figura 3-14: Ângulo zénite na malha urbana. 51
Figura 3-15: Azimute inicial e final. 52
Figura 3-16: Definição dos ângulos zénite entre edifícios – corte. 53
Figura 3-17: Definição dos ângulos zénite entre edifícios – planta. 53

Figura 4-1: Representação dos fluxos de calor considerados pelo Type 56 do programa TRYNSYS. 61
Figura 4-2: Planta do piso tipo. 68
Figura 4-3: Desenhos esquemáticos das soluções construtivas e coeficientes de transmissão térmica. 69
Figura 4-4: Designações utilizadas para as habitações/zonas. 73
Figura 4-5 Disposições do edifício-tipo nos diferentes tipos de malha urbana 93

Figura 5-1: Cenários de malha urbana do edifício em estudo 121
Figura 5-2: Desenho da solução construtiva da envolvente do edifício 124

Índice de quadros

Quadro 5-1: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Coimbra. 139
Quadro 5-2: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Lisboa. 140
Quadro 5-3: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Almada. 141
Quadro 5-4: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Vila Nova de Gaia..... 142
Quadro 5-5: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Braga. 143
Quadro 5-6: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Castelo Branco..... 144
Quadro 5-7: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Vila Real. 145
Quadro 5-8: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Coimbra. 149

Lista de símbolos

A_c Área total de construção

A_i Área total de implantação

A_{imp} Área impermeabilizada

A_s Área de solo

AZB Valor horário do azimute solar

EDF 1 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Norte

EDF 2 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Nordeste

EDF 3 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Este

EDF 4 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Sudeste

EDF 5 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Sul

EDF 6 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Sudoeste

EDF 7 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Oeste

EDF 8 Edifício pertencente á malha circundante do edifício em estudo situado a Noroeste

distN Distância entre o edifício circundante e a fachada Norte do edifício em estudo

distNz1 Distância entre o edifício circundante e a zona 1 da fachada Norte do edifício em estudo

distNz2 Distância entre o edifício circundante e a zona 2 da fachada Norte do edifício em estudo

distE Distância entre o edifício circundante e a fachada Este do edifício em estudo

distS Distância entre o edifício circundante e fachada Sul do edifício em estudo

distSz1 Distância entre o edifício circundante e a zona 1 da fachada Sul do edifício em estudo

distSz2 Distância entre o edifício circundante e a zona 2 da fachada Sul do edifício em estudo

distO Distância entre o edifício circundante e a fachada Oeste do edifício em estudo

F_{solar} Fator solar

$F_{solar\ janela}$ Fator solar da janela

$F_{sombreamneto}$ Fator de sombreamento

F_{pu} Fator de conversão entre energia final e energia primária

I_{imp} Índice de impermeabilização do solo

I_o Índice de ocupação do solo

I_u Índice de utilização do solo

$I_{umáx}$ Índice máximo de utilização do solo

I_v Índice volumétrico

IBSx Radiação direta na direção Sul para a parcela de fachada x

IBS Radiação direta na direção Sul

ITSx Radiação global na direção Sul para a parcela de fachada x

ITS Radiação global na direção Sul

RTL Resistência térmica linear

R_{si} Resistência térmica superficial interior

R_{se} Resistência térmica superficial exterior

R_j Resistência térmica da camada

U Coeficiente de transmissão térmica

Ul Coeficiente de transmissão térmica da empena lateral

U_{pext} Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores

$U_{alternativo}$ Coeficiente de transmissão térmica alterado

V Volume total da construção

W Largura da cavidade urbana ou afastamento entre edifícios

W_1 Afastamento entre edifícios na direção Este-Oeste

W_2 Afastamento entre edifícios na direção Norte-Sul

ZEN Valor horário do zénite solar

d_j Espessura da camada

ψ Coeficiente de transmissão térmica linear

ηi Eficiência nominal dos equipamentos utilizados nos sistemas de aquecimento

ηv Eficiência nominal dos equipamentos utilizados nos sistemas de arrefecimento

λ_j Condutividade

θ_i Temperatura interior

θ_a Temperatura do local não aquecido

θ_{atm} Temperatura exterior ambiente

Lista de acrónimos

ASHRAE	American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers
CE	Comissão Europeia
COM	Comunicação da Comissão Europeia
INE	Instituto Nacional de Estatística
DGOTU	Direção geral do ordenamento do território e desenvolvimento urbano
LBPOT	Lei de bases da política de ordenamento do território
Ntc	Necessidades anuais de energia primária
Nic	Necessidades nominais de energia útil para estação de aquecimento
Nvc	Necessidades nominais de energia útil para estação de arrefecimento
NZEB	*Nearly zero energy building* (Edifício com necessidades energéticas quase nulas)
PDM	Plano diretor municipal
REH	Regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação
RJIGT	Regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial
RCCTE	Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios
RGEU	Regulamento geral das edificações urbanas
RTL	Resistência térmica linear
RCM	Resolução do concelho de ministros
TRNSYS	Transient systems simulation program

Capítulo 1 Introdução

As zonas urbanas têm vindo a aumentar de forma gradual e contínua desde a industrialização até aos dias de hoje. Atualmente, a maior parte da população mundial vive em cidades ou zonas urbanas. A melhoria das condições de vida e a permanência mais prolongada dentro dos edifícios tem-se traduzido numa maior exigência com as condições de conforto térmico e qualidade do ar interior, tendo como consequência o aumento do consumo energético.

As atuais e pertinentes preocupações ambientais, traduzidas no conceito de desenvolvimento sustentável, propõem que, não deixando de promover a melhoria das condições de vida – desenvolvimento, este se faça com base no uso racional de recursos – sustentabilidade, em particular através da diminuição e racionalização do consumo energético. No sector da construção, a necessidade de reduzir os consumos energéticos tem levado ao estudo e desenvolvimento de tecnologias que proporcionam conforto térmico e eficiência energética nos edifícios. No entanto, as tecnologias que promovem a eficiência energética ao nível dos edifícios são apenas uma parte da questão, já que o desempenho energético pode ficar comprometido à partida pela localização, implantação e orientação dos mesmos. Na génese desta realidade está a implementação de planos de ordenamento, operações de loteamento urbano ou a ocupação de terrenos vagos, que habitualmente não incorporam os conceitos relacionados com a eficiência energética.

Existem atualmente diversas ferramentas informáticas capazes de prever com rigor o desempenho térmico e energético de um edifício tornando possível estudar o seu melhor posicionamento e relação com os restantes para uma melhoria de eficiência global.

O trabalho a desenvolver pretende dar um contributo para a eficiência energética em ambiente urbano. Tem como objetivos definir um conjunto de

recomendações para que, na elaboração de planos de urbanização de áreas significativas, se tenham em conta os aspetos ambientais de sustentabilidade e em particular da eficiência energética, que possa conduzir à definição de critérios objetivos e quantificados para uma tomada de decisão mais bem suportada. Partindo do conhecimento existente no âmbito da arquitetura bioclimática, das soluções construtivas correntes e das soluções e tecnologias emergentes, pretende-se estabelecer relações entre o espaço construído, o ambiente urbano e o consumo energético.

Esta dissertação está organizada por capítulos com o seguinte conteúdo:

No capítulo 2, realiza-se um levantamento bibliográfico do tema a estudar, para evidenciar o interesse e justificar as opções tomadas no trabalho.

No capítulo 3, discute-se a escolha do índice de utilização do solo como parâmetro urbanístico representativo. Realiza-se um levantamento dos valores utilizados para índice de utilização nos Municípios mais populosos de cada combinação climática em Portugal. Em seguida estabelecem-se as características a considerar, e por fim, as diversas configurações para a malha urbana que vai servir de cenário do edifício-tipo a estudar.

No capítulo 4, apresentam-se as ferramentas de simulação térmica utilizadas e estuda-se o comportamento térmico de um edifício-tipo utilizando dois métodos distintos. Em seguida estuda-se o comportamento térmico desse edifício-tipo em diferentes cenários de malha urbana com o objetivo de selecionar as soluções a estudar para as diferentes combinações climáticas nacionais.

No capítulo 5, apresentam-se os resultados obtidos nos estudos do comportamento térmico de três variantes do edifício-tipo, em dois contextos de malha urbana, quatro índices de utilização do solo e sete climas diferentes.

No capítulo 6, discutem-se os resultados e sistematizam-se as conclusões. Adicionalmente elabora-se um conjunto de considerações e preocupações a introduzir, sempre que possível, em instrumentos de planeamento urbano. Por fim, apontam-se alguns desenvolvimentos possíveis ao trabalho agora realizado.

Capítulo 2 Estado da arte

2.1 Enquadramento

O relatório "The State of World Population 2009" (Engelman, 2009) descreve que 50 % da população mundial vivia em zonas urbanas e na Europa este valor sobe para 72 %. Em Portugal, com uma população de 10.7 milhões de pessoas, 50 % da população vive em zonas urbanas. Verifica-se que, tanto na Europa como em Portugal, a população residente em zonas urbanas tem vindo a aumentar e prevê-se que esta tendência se mantenha. O crescimento populacional das zonas urbanas deu origem ao aumento da edificação em número e volume dos edifícios e ainda ao alargamento dos perímetros urbanos.

As políticas da Comissão Europeia (CE) para o ambiente e energia demonstram a importância da eficiência energética nos edifícios. Nas suas comunicações, a CE relaciona as alterações climáticas e o aumento da temperatura média com as emissões de gases com efeito de estufa resultantes da atividade humana. Estabelece os 2 ºC como meta para o aumento da temperatura e realça que as vantagens desta limitação excedem os custos das políticas de redução das emissões (COM35, 2005). O "Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial" (COM545, 2006), constata que, na Europa, o desperdício de energia por ineficiência é de 20 %. No ponto 3 refere que: "... *o maior potencial de poupança economicamente rentável corresponde ao sector dos edifícios residenciais (famílias) e comerciais (terciário), cujos potenciais totais são hoje estimados, respetivamente, em cerca de 27 % e 30 % da energia utilizada."* A abordagem integrada clima/energia é justificada com o facto de serem a produção e a utilização da energia as principais fontes de gases com efeito de estufa (CONCL1, 2007). Considera ainda que aumentar a eficiência energética é um objetivo no contexto da sustentabilidade (COM11, 2008).

A política europeia de eficiência energética e o aumento do parque edificado nas zonas urbanas demonstram o interesse do estudo e o desenvolvimento de critérios da eficiência energética à escala urbana, que possam ser aplicados em instrumentos de planeamento. A introdução de critérios de eficiência energética em instrumentos de planeamento à escala urbana é potencialmente mais eficaz porque conjuga simultaneamente diversos aspetos. Em primeiro lugar porque atuam sobre um maior número de edifícios e portanto tem mais impacto. Em segundo lugar, o facto de estes instrumentos regularem o uso e a ocupação do solo permite estabelecer regras obrigatórias, o que as torna mais eficazes. A introdução de princípios bioclimáticos no planeamento permite garantir a todos os edifícios condições de eficiência energética (Marques et al., 2005). Por fim, ficam diminuídas ou eliminadas as situações em que, apesar do investimento em boas soluções construtivas, a exposição solar e/ou a relação com outros edifícios compromete a eficiência energética.

2.2 Planeamento urbano e sustentabilidade

Ao longo do tempo, a escolha da localização das construções teve diversos critérios, estratégicos e/ou de defesa, religiosos, sociais ou culturais. Atualmente, as cidades e os aglomerados urbanos organizam-se de acordo com o estabelecido em função de objetivos e designado por planeamento urbano. Segundo Amado, os objetivos do planeamento urbano, desde o que se considera como a sua origem no início século XIX, até ao início do século XXI, foram-se modificando. O primeiro objetivo do planeamento foi o de garantir a salubridade: a cidade havia crescido e modificado muito rapidamente devido à alteração e concentração de atividades originada pela revolução industrial. Posteriormente, o planeamento volta-se para o desenho urbano. Seguem-se as preocupações ambientais, inicialmente com a contenção da expansão urbana, seguindo-se a recuperação ambiental das zonas degradadas. No final do século XX aparece a componente ambiental associada à conceção dos planos e, no início do século XXI, a par das preocupações ambientais, as sociais e económicas (Amado, 2005). A sustentabilidade económica, ambiental e social é o que atualmente se

considera como as três[1] componentes do desenvolvimento sustentável (Pitts, 2004). Estes conceitos são amplos e carecem de concretização, tendo o planeamento urbano um papel importante neste âmbito e devendo ter como princípio o uso sustentável do solo. O uso e a ocupação do solo implicam a sua infraestruturação. Para que a ocupação do solo seja sustentada, terá que satisfazer as necessidades vitais dos habitantes dessa área de forma sustentável, e não estar em conflito com o desenvolvimento sustentável a nível global (Naess, 2001). Neass caracterizou cinco ações a incluir no planeamento para o desenvolvimento sustentável em países industrializados:

- Redução do consumo de energia e das emissões *per capita* na área (cidade ou região) para níveis compatíveis com os critérios de desenvolvimento sustentável global.
- Minimização da invasão dos espaços naturais, ecossistemas e recursos naturais.
- Minimização da utilização de materiais de construção prejudiciais para o ambiente.
- Substituição de fluxos abertos, nos quais os recursos naturais são transformados em resíduos, por ciclos fechados apoiados nos recursos locais.
- Criação de um ambiente saudável para os habitantes, sem poluição e com zonas verdes.

Neass considera importante travar a expansão urbana e valoriza a regeneração de áreas já construídas relativamente à criação de novas zonas urbanas, mesmo que as novas construções sejam consideradas como ambientalmente melhores. Baseado num estudo que abrangeu apenas cidades Norueguesas, Holden concluiu que o desenvolvimento urbano sustentável assenta na concentração descentralizada, isto é, cidades médias mas de elevada densidade e onde a distância entre a casa e os serviços públicos e/ou privados é curta (Holden, 2004). Mills, por outro lado, considera que o novo ideal urbano é o de aglomerado sustentável. Explica que, enquanto não existir um caminho claro para a sustentabilidade, as estratégias de planeamento devem basear-se na combinação da inovação tecnológica, alteração de comportamentos e no aumento da eficiência (Mills, 2006). Xiangkuan considera que o desenvolvimento urbano deve procurar o equilíbrio entre o crescimento económico, a construção ecológica e a proteção ambiental (Xiangkuan and Shan, 2011). Péti discute as dificuldades na

[1] Em inglês os 3E - "*economics, environment and equity*". PITTS, A. 2004. *Planning and Design Strategies for Sustainability and Profit* Elsevier.

comunicação e entendimento do conceito de sustentabilidade, que considera ambíguo, e na sua aplicação em planos e programas (Péti, 2012).

O planeamento urbano para o desenvolvimento sustentável é um desafio para o qual não existem formulações universais. Existem no entanto aspetos que são consensuais, os objetivos genéricos de contrariar o consumo de recursos naturais, a redução das áreas naturais e a emissão de poluentes e os objetivos mais concretos como a redução do consumo energético através do aumento da eficiência.

2.3 Clima urbano

Em 1818, Luke Howard verifica que a temperatura de Londres era diferente da temperatura registada nas estações meteorológicas fora da cidade e identifica quatro causas para o aumento da temperatura na cidade, atualmente conhecido pelo fenómeno da "ilha de calor urbano":

- O calor antropogénico.
- A geometria das superfícies (favorece a acumulação da radiação).
- A rugosidade da cidade (impede a passagem das brisas e vento).
- A falta de evaporação (disponível fora da cidade).

Howard verifica então, através de medições, a variação da temperatura e da humidade, observa o vento e identifica todas as causas da formação da ilha de calor, quando se iniciavam os estudos científicos relativos ao clima (Mills, 2008). O trabalho de Howard, notável e pioneiro, só muito mais tarde terá continuidade.

Em 1987, Oke estuda a interação entre a atmosfera e a superfície terrestre e os fenómenos atmosféricos. Mostra como as trocas de energia e massa entre superfícies a partir da superfície terrestre produzem os fenómenos climáticos. Considera a superfície ativa o nível onde a maior parte da energia radiante é absorvida, refletida ou emitida, onde ocorrem as principais transformações de energia (por ex. radiante em térmica, sensível em latente) e de massa (alteração do estado na água), onde a precipitação é intercetada e as massas de ar arrastadas. Divide o sistema solo-atmosfera em camadas (com volume) paralelas à superfície ativa, estuda os fenómenos

ocorridos nas camadas, estabelecendo assim o conceito de clima da camada limite[2]. Trata as consequências da intervenção humana naqueles que, de outra forma, seriam sistemas climáticos naturais. Estuda as modificações que resultam das alterações dos balanços solar e hidrológico e/ou do regime de vento nos locais sujeitos a urbanização. Resumidamente, a principal explicação dada por Oke para as alterações de clima nas zonas urbanas é a de que, quando o ar se desloca e encontra uma superfície de clima modificado, como é o caso das zonas urbanas, ocorre uma descontinuidade e um ajuste às novas condições de fronteira. A linha de descontinuidade chama-se aresta principal. A camada de ar abaixo da aresta principal e cujas características foram afetadas pela superfície urbana designa-se por atmosfera urbana superior[3]. Esta camada desenvolve-se na direção do vento e a sua profundidade aumenta com a distância, tem como limite inferior as coberturas das construções e é um fenómeno local. Abaixo, no nível das coberturas, encontra-se uma camada intraurbana[4] ou atmosfera urbana inferior resultante dos processos que ocorrem na cavidade urbana formada entre os edifícios. O clima da atmosfera urbana inferior é composto por uma amálgama de microclimas, cada um dominado pelas características das imediações (Oke, 1987). Uma das características do clima da atmosfera urbana inferior é de ter temperaturas geralmente mais elevadas que a envolvente não urbana. As principais causas deste fenómeno, identificadas desde o início com os já referidos estudos de Howard, agora com uma formulação mais completa, são as seguintes:

- A cavidade urbana origina a diminuição da radiação refletida para o seu exterior e um aumento da radiação absorvida, devido às múltiplas reflexões no seu interior.
- Os materiais de revestimento da cavidade armazenam o calor.
- O calor antropogénico libertado pelos edifícios e pelo uso de combustíveis.
- A poluição atmosférica dá origem ao efeito de estufa urbano.
- A impermeabilização da cavidade urbana diminui a evapotranspiração.
- A geometria da cavidade reduz a velocidade do vento e a possibilidade de arrefecimento.

[2] Do inglês "*boundary layer climates".*
[3] Do inglês "*urban boudary layer".*
[4] Do inglês "*urban canopy layer".*

Não é possível quantificar com precisão cada um destes fatores e a relação de cada um deles com o aumento da temperatura. Sabe-se no entanto que o efeito da radiação na cavidade é por si só capaz de desencadear a ilha de calor enquanto que a influência do efeito de estufa é baixo. As condições climatéricas que originam a ilha de calor mais significativa são as noites calmas (sem vento) e sem nebulosidade. Verifica-se ainda que podem ocorrer ilhas negativas durante o dia em zonas com cavidades estreitas e profundas, sempre que o nível da rua está continuamente à sombra (Oke, 1987, Oke et al., 1991). Posteriormente, Oke considera que o estudo do clima urbano[5] é relativamente recente e inclui o estudo dos processos meteorológicos, fenómenos atmosféricos e dos climas em áreas que se submeteram ao desenvolvimento urbano. Considera importante a melhoria da comunicação científica neste campo recentemente reconhecido e multidisciplinar (Oke, 2006).

A constatação de que a urbanização modifica o clima, ao ponto deste tomar a designação de clima urbano, originou dois tipos de estudos, o de cidades ou regiões urbanas e o de desenvolvimento do conhecimento relacionado com os fenómenos que ocorrem na cavidade urbana – situações estereotipadas.

Nos estudos da modificação do clima nas zonas urbanas não existe um modelo universal aplicável a todas as situações, tal o número de parâmetros e especificidades envolvidas. Por isso só se têm feito estudos para casos e situações específicas e com âmbitos e objetivos diversos. A seguir apresentam-se resumidamente alguns dos assuntos mais importantes que foram estudados:

- A intensidade da ilha de calor noturna foi estudada em Roma, Lisboa, Aveiro, Madrid, Granada e em cidades Turcas, apresenta valores que vão desde 2 ºC em Istambul até 9 ºC em Aveiro. Em Lisboa a ilha de calor noturna é idêntica de Verão e Inverno e é em média 2.5 ºC. Aparentemente não existe relação entre a dimensão da cidade e a intensidade da ilha de calor urbano. Os estudos mostram, ainda, que a intensidade mais elevada aparece associada a vento fraco e céu limpo (Alcoforado and Andrade, 2006, Santamouris, 2007).
- Foi estudada a intensidade da ilha de calor diurna e mostrou que a mais elevada ocorreu na zona central de Atenas durante o Verão e atingiu o valor

[5] Do inglês "*urban climate*".

de 16 ºC. Em contraste, Lisboa regista a ilha de calor diurna mais elevada de Inverno (Santamouris, 2001, Santamouris, 2007).

- As principais consequências da ilha de calor urbano são o aumento do consumo de energia no Verão. Verificou-se que, em Atenas, a carga térmica de arrefecimento duplica quando a ilha de calor excede os 10 ºC de intensidade média (Santamouris et al., 2001). Os estudos realizados em cidades Americanas mostraram que, por cada grau de aumento na temperatura máxima acima dos 20 ºC, o pico do consumo global de eletricidade sobe entre 2 a 4 % (Akbari et al., 2001).
- As técnicas para mitigar a ilha de calor são a criação de espaços verdes e o uso de materiais apropriados no revestimento dos edifícios. Verifica-se que as superfícies frias (materiais com albedo elevado) e as árvores têm um efeito de abaixamento na temperatura do ar e podem retardar ou reverter o efeito da ilha de calor (Akbari et al., 2001). As zonas verdes em Telavive proporcionam um abaixamento médio de 2.8 ºC quando as temperaturas nas suas imediações são de 32 ºC (Shashua-Bar and Hoffman, 2000). Em Valência observou-se que as zonas verdes proporcionam um abaixamento de 2.5 ºC mesmo em zonas propícias ao aparecimento de ilhas de calor (Gomez et al., 1998). Considera-se ainda que as zonas verdes têm um efeito positivo no ser humano e funcionam como filtros na captação de partículas atmosféricas e de ozono (Kleereper et al., 2012).

Estes estudos inserem-se no âmbito da climatologia urbana aplicada, um campo ainda em desenvolvimento e muito deste conhecimento ainda não está sob forma de poder ser aplicado no planeamento urbano (Mills, 2006). Até agora não estão disponíveis orientações para o planeamento urbano na forma quantitativa, tendo de se ficar pela aplicação qualitativa de princípios identificados como ambientalmente benéficos. De salientar que mesmo estes podem não ser consensuais já que o ideal de cidade sustentável é diferente para climatologistas e planeadores (Alcoforado, 2006). Os climatologistas acham que a cidade compacta defendida por planeadores conduz a problemas de ventilação, temperatura e poluição (Alcoforado, 2006, Mills, 2006). Nota-se que ainda falta encontrar e desenvolver uma linguagem comum entre climatologistas e planeadores (Alcoforado et al., 2009).

O estudo dos fenómenos que ocorrem dentro da cavidade urbana, de uma forma geral, recorre a malhas urbanas estereotipadas. As malhas urbanas consideradas são definidas por três parâmetros: o espaçamento entre edifícios ou largura da cavidade (frequentemente designado por W), a altura do edifício ou profundidade da cavidade (H) e o comprimento do edifício ou comprimento da cavidade (L). Em geral são consideradas assentes em planos horizontais. A seguir indicam-se alguns dos assuntos estudados:

- Climatologia urbana dos edifícios (Karatasou et al., 2006).
- Vento, dispersão de poluentes e qualidade do ar (Meroney et al., 1996, Sini et al., 1996, Chan et al., 2001, Ricciardelli and Polimeno, 2006, Xiaomin et al., 2006, Ghiaus et al., 2006, Jiménez-Horrnero et al., 2007).
- Vegetação, paredes e coberturas verdes (Kjelgren and Montague, 1998, Shashua-Bar and Hoffman, 2003, Shashua-Bar et al., 2006, Alexandri and Jones, 2008).
- Radiação e o balanço radiativo (Kondo et al., 2001, Kanda et al., 2005b).
- Utilização de painéis fotovoltaicos (Tian et al., 2007, Golden et al., 2007).
- Criação de modelos numéricos ou caracterização de parâmetros (Masson, 2000, Kusaka et al., 2001, Martilli et al., 2002, Skote et al., 2005, Kanda et al., 2005a, Kondo et al., 2005, Erell and Williamson, 2006b, Kawai et al., 2007, Oliveira-Panão et al., 2006a, Oliveira-Panão et al., 2009, Salamanca and Martilli, 2010, Salamanca et al., 2010).
- Previsão da temperatura dentro da cavidade urbana (Swaid and Hoffman, 1990, Elnahas and Williamson, 1996, Shashua-Bar et al., 2004, Erell and Williamson, 2006a, Erell and Williamson, 2006b).

De uma forma geral os modelos obtidos são calibrados para locais específicos e utilizam fatores empíricos que podem não ser válidos para outros locais.

Verifica-se que há um desenvolvimento contínuo no conhecimento do âmbito da climatologia urbana, mas não é ainda possível prever a modificação operada no clima com base nas formas e na configuração urbana (Lun et al., 2009). Trabalhos recentes propõem-se criar mapas climáticos para as zonas urbanas de forma a tornar o conhecimento existente mais acessível ao planeamento urbano (Alcoforado et al., 2009). Existem ainda perguntas, cuja resposta representaria um avanço na climatologia aplicada, tais como (Erell, 2008):

- Qual a forma urbana que promove o melhor microclima para cada densidade, clima e latitude?
- Será possível que a regulamentação baseada na orientação das ruas seja suficiente para atingir as condições micro climáticas desejadas?
- Qual a melhor forma a dar às construções vizinhas em cada clima?
- Existem edifícios cujas formas proporcionam microclimas melhores?
- Quais os reais efeitos da vegetação no contexto urbano?
- Quais as modificações introduzidas no micro clima da cidade pelos materiais dos edifícios e dos pavimentos?
- Pode a climatologia urbana fornecer dados climáticos modificados para um determinado local a partir dos fornecidos pelas estações climáticas regionais?

2.4 Eficiência energética em contexto urbano

A noção da importância de atender às principais características do clima, para promover a eficiência energética, originou estudos para relacionar o clima com a morfologia urbana. Resumem-se a seguir os principais aspetos estudados e as respetivas conclusões encontradas pelos autores:

- Golany identifica seis climas e os seus principais problemas, propõe formas e configurações urbanas, que no seu entender são as mais eficazes, para responder a cada clima. Os climas são definidos pelas suas características: quente/frio, húmido/seco ou ainda pela região em que se inserem: costeira/montanhosa. As configurações urbanas consideradas são a compacta, a dispersa e a agrupada[6]. A forma compacta refere-se a cidades com elevado número de habitantes por área, uso do solo consolidado e fortemente infraestruturado. A forma dispersa traduz povoamentos com baixa densidade populacional e a ocupação do solo é feita deixando espaços vazios. A forma agrupada refere-se a uma utilização do solo constituída por vários aglomerados urbanos pequenos ligados entre si, também designada por conurbação. Assim, para os climas quentes e húmidos, a configuração urbana deve ser dispersa e aberta para promover a ventilação. Nos climas frios e húmidos, deve haver um

[6] Do Inglês "*cluster*", também designada por conurbação.

misto de espaços abertos e semiabertos. Nos climas quentes e secos, a ocupação deve ser compacta. Nos climas frios e secos, as formas urbanas devem ser compactas e agrupadas. Para zonas costeiras e húmidas, as formas urbanas devem ser moderadamente dispersas, mas quando as zonas costeiras são secas propõe formas compactas. Finalmente, nas zonas montanhosas, a ocupação urbana proposta é um misto de compacta e agrupada. Salienta ainda que à escala urbana, os métodos passivos e a morfologia urbana são as estratégias disponíveis para melhorar as condições térmicas da cidade e contribuir para a tornar mais quente ou mais fria de acordo com as necessidades (Golany, 1996).

- Mills estuda através de um modelo para simulação computacional as características térmicas da atmosfera urbana inferior com a variação da densidade urbana. Nota que a densidade pode ter impacto na relação entre a atmosfera da camada urbana superior e inferior. Os resultados mostraram que, para maiores densidades, isto é, maior razão entre a altura dos edifícios e o seu afastamento, a temperatura da atmosfera urbana inferior é mais quente durante a noite e mais fria durante o dia (Mills, 1997).
- Ratti utiliza uma metodologia inovadora, com processamento de imagem, para avaliar simultaneamente a radiação solar, o consumo energético, o vento e o movimento efetivo dos poluentes. Estuda as formas urbanas tradicionais e, em particular, compara a ocupação em quarteirão com pátio interior com a construção compacta. Observa que, para o clima quente e seco, a forma em quarteirão com pátio interior apresenta melhor resposta, em função das variáveis ambientais calculadas: relação superfície - volume, densidade da sombra, luminosidade e visibilidade do céu. No entanto, admite que os resultados só são válidos para este contexto climático. Para além disso, admite que, mesmo para o clima estudado, não se pode afirmar que qualquer solução com pátio é sempre melhor que a forma compacta, mas apenas que determinadas soluções com pátio são melhores que determinadas soluções compactas (Ratti et al., 2003).

Existem também estudos sobre o aproveitamento da exposição solar para melhorar o desempenho energético das construções em ambiente urbano:

- Littlefair resume as ferramentas disponíveis, desde cartas solares a ferramentas informáticas, que permitem estudar o acesso ao sol e melhorar o desenho solar passivo nas cidades. Conclui que existem diversas formas de prever o acesso ao sol e o seu posicionamento em zonas sujeitas a obstruções, como é o caso das cidades, mas que faltam métodos para prever os ganhos solares resultantes (Littlefair, 1998).
- Steemers estuda a relação entre a energia utilizada nos edifícios e a energia utilizada nos transportes numa cidade. Concluindo que as cidades compactas consomem menos energia *per capita* em transportes. Estuda a relação entre os ângulos de obstrução e o aumento das necessidades energéticas, para o clima do Reino Unido, concluindo que, na habitação, a redução de ganhos solares e luminosidade originada pela densificação é compensada pela diminuição ocorrida nas perdas de calor. Mas, para escritórios, o aumento da densidade conduz ao aumento do consumo energético devido à falta de luminosidade. No entanto, o maior aumento de consumo de energia em escritórios verifica-se na mudança de ventilação natural para ar condicionado exigido pelas soluções mais compactas. A utilização da ventilação natural só é viável se o ambiente urbano for pouco poluído e barulhento. Reside aqui a relação entre o consumo energético dos edifícios e o dos transportes, já que os veículos são a maior fonte de poluição (atmosférica e sonora) do ambiente urbano. Apesar de, no seu global, os transportes consumirem menos de metade da energia dos edifícios, a substituição do automóvel privado por transportes públicos eficientes tem impacto direto no consumo energético dos edifícios (Steemers, 2003).
- Gadsden desenvolveu uma metodologia para previsão do consumo energético das habitações e o seu potencial de redução através do recurso a três tecnologias solares: a construção solar passiva, o aquecimento de água e os sistemas fotovoltaicos. O sistema permite estimar ou integrar as necessidades energéticas e integra modelos que determinam o potencial de utilização das tecnologias solares nas construções. A metodologia tem por base um sistema de informação geográfica (Gadsden et al., 2003).
- Knowles estuda o acesso ao Sol dos edifícios nas zonas urbanas e desenvolveu um conceito ao qual chamou "*envelope solar*". Estuda a relação entre as barreiras físicas da construção, o tempo de exposição solar e a sombra. Analisa o conflito entre a construção de elevada densidade nas zonas urbanas e as

estratégias solares e demostra que a aplicação do envelope solar como instrumento de zonamento assegura o crescimento sustentável e o potencial estético na arquitetura e no urbanismo (Knowles, 2003).

- Com o objetivo de melhorar a modelação da radiação solar no contexto urbano, Robinson descreve três métodos para prever a irradiação das superfícies contabilizando as obstruções na redução da radiação direta e na contribuição da radiação refletida. Um dos métodos tem como objetivo futuro a sua incorporação numa nova ferramenta para modelação da sustentabilidade de urbanizações (Robinson and Stone, 2004).
- Kampf desenvolve um algoritmo de otimização das formas de um edifício para utilização da energia solar, tanto por métodos passivos como ativos. Consegue com as formas propostas aumentar a disponibilidade da energia solar em 20 % quando comparada com as formas convencionais. Espera que este algoritmo quando adaptado para programa possa servir de inspiração para os arquitetos. Os exemplos sobre a aplicação do programa mostram que os volumes de edificação mais elevados devem apresentar-se a Norte e os mais baixos a Sul (Kampf and Robinson, 2010).

Este tipo de estudos começa a dar origem a compêndios onde se abordam em conjunto os diversos aspetos do ambiente urbano: Littlefair *et al* (2000) Santamouris (2001), Giaus *et al* (2005) e Santamouris (2006). No entanto, embora abordem de forma mais coerente todos os aspetos pertinentes, não produzem ainda modelos que respondam de forma integrada a estas questões. São mais descrições organizadas do *"state of de art"* que ajudam à compreensão global dos fenómenos, mas não vão para além do conhecido e publicado e das limitações já descritas.

Uma das formas de abordar a sustentabilidade ambiental de uma forma geral e a eficiência energética em particular tem sido através de estudos para zonas urbanas concretas, como são os seguintes trabalhos:

- Expo'98 (Oliveira-Fernandes et al., 1998).
- Reconstrução da cidade de Mostar (Radovic, 1998).
- Urbanização em Coimbra e complexo desportivo em Oliveira do Bairro (Seixas, 1998).
- Cidade olímpica em Sydney (Liao, 2004).

- Projeto ACLURE, cujo objetivo foi o estudo do ambiente construído, o clima urbano e a eficiência energética para a cidade de Lisboa (Gonçalves et al., 2004).
- Influência da configuração urbana na qualidade térmica numa zona de Maceió (Torres et al., 2006).
- Planeamento sustentável através da minimização dos impactos ambientais para Nicósia (Tsolaki et al., 2007).
- Estudo eficiência energética para uma zona nova em Madrid (Arellano et al., 2008).
- Modelação do impacto da forma urbana nas necessidades energéticas e respetivas emissões de CO_2 na região de Dublin (Liu and Sweeney, 2012).

Outra forma de avaliação da sustentabilidade ambiental é através da previsão do consumo energético. Utilizando o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios de 1990, Almeida, no seu trabalho sobre a disposição urbana de edifícios, concluiu que os edifícios mais eficazes são os que apresentam fatores de forma mais baixos e que uma má orientação das fachadas (Este/Oeste) resulta em aumentos de consumo de energia que podem ser de 80 % relativamente aos de orientação Sul/Norte (Almeida et al., 2004). O estudo e a simulação do comportamento térmico dos edifícios, inicialmente utilizados para dimensionar os equipamentos de aquecimento e ou arrefecimento, é atualmente usado em fase da conceção como ferramenta para melhorar o desempenho energético dos edifícios (Athienitis, 1999). Os programas de simulação dinâmica mais credíveis, nomeadamente o TRNSYS, o ESP e o DOE, entre outros, estão validados (Lomas et al., 1997, Neymark et al., 2001) e reconhecidos como bons auxiliares no estudo, definição e utilização de edifícios, com o objetivo de os tornar mais eficientes energeticamente (Hong et al., 2000). No entanto, os modelos e programas de simulação existentes tendem a considerar apenas o edifício, negligenciando os fenómenos que ocorrem à escala urbana (Ratti et al., 2005). Recentemente surgiram trabalhos com o objetivo de ultrapassar a limitação do estudo à escala do edifício e abordar o contexto urbano, dos quais se destacam os seguintes:

- Estudo sobre o consumo energético e o tecido urbano (Ratti et al., 2005). O estudo propôs-se utilizar modelos digitais com três dimensões para traduzir o contexto urbano e os edifícios. Começa por ponderar a forma a dar aos

edifícios, para mostrar que uma abordagem onde apenas se tem em conta as perdas energéticas pela envolvente e se propõe reduzir a dimensão da envolvente, conduz a edifícios de grande volume. Esta solução tem como principal inconveniente o aumento nos consumos energéticos associados com a iluminação e a ventilação. Apresenta o conceito de espaço passivo e não passivo, baseado numa regra empírica, para quantificar as zonas do edifício que utilizam iluminação e ventilação natural. Assim, os espaços até 6 m da fachada são classificados como zonas passivas e todos os restantes como zonas não passivas. Em seguida apresenta um método que designa por "*the LT model*" (onde L e T são a abreviatura de luz e térmica), uma ferramenta informática para calcular o consumo de energia nos edifícios, acoplada ao processamento dos modelos digitais em três dimensões. O sistema de processamento em três dimensões tem a capacidade de identificar as zonas passivas e não passivas piso a piso. O *LT model* avalia a perda de calor por condução através das paredes e ventilação, usa temperaturas médias mensais para o clima exterior e uma temperatura de referência para o ambiente interior e calcula as necessidades mensais brutas de aquecimento. Um procedimento idêntico é utilizado para as necessidades de arrefecimento. Avalia os ganhos solares considerando que os utilizadores têm um comportamento adequado no uso dos dispositivos de sombreamento. Determina as necessidades de iluminação interna e o consumo mensal para iluminação. Por fim, determina as necessidades energéticas considerando os ganhos solares úteis, os ganhos originados pelos ocupantes e pela iluminação e ainda a eficiência dos equipamentos. Utilizando as ferramentas descritas são estudadas três cidades, Londres, Toulouse e Berlim, utilizando os mesmos dados climáticos para estabelecer comparações sobre a eficácia da malha urbana. Os parâmetros relativos às zonas passivas e a orientação das fachadas são determinados pelo método, mas os coeficientes de transmissão térmica são propostos por defeito. Dos estudos realizados observam que as zonas passivas dos edifícios apresentam uma redução no consumo de energia de quase 50 %, a razão envolvente-volume representa pior as estimativas energéticas que a razão zona passiva-não passiva. As conclusões são as seguintes:

  - Toulouse consome menos 10 % de energia do que as outras cidades, devido à sua da morfologia urbana. A variação de 10 % atribuída à morfologia urbana justifica a sua consideração no planeamento urbano.
  - Para os climas do Sul da Europa, onde a importância da exposição solar relativamente às perdas pela envolvente é maior, o efeito pode ser amplificado.
  - Por fim, o estudo assumiu que os vários fatores que afetam o consumo energético são independentes, ou seja, não há influência entre o contexto urbano, a conceção do edifício, a eficiência dos sistemas e o comportamento dos ocupantes. Mas o problema contém muitas variáveis e pode-se especular se os ocupantes têm comportamentos mais adequados quando o edifício é tido como eficiente e se o arquiteto adotará estratégias bioclimáticas quando na presença de uma urbanização concebida com preocupações ambientais (Ratti et al., 2005).
- Desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade ambiental em zonas urbanas (Robinson et al., 2007). Com o objetivo de descrever os fatores que influenciam as necessidades de energia e no futuro tratar também os fluxos de água e resíduos, esta ferramenta tem a capacidade de, através de simulação dinâmica, encontrar a melhor proporção de envidraçados por orientação e pela relação entre a altura do edifício e o espaçamento entre edifícios. A ferramenta de simulação permite reproduzir o comportamento dos habitantes (presença, iluminação e sombreamento). O caso estudado foi o de uma urbanização para Atenas, onde foi concluído que as fachadas orientadas a Sul, situadas em cavidades urbanas onde a altura do edifício seja menor do que o afastamento entre edifícios, devem ter 30 % de envidraçados (Robinson et al., 2007).
- Estudo sobre a forma e a organização dos edifícios no espaço, para a promoção de uma maior absorção de radiação solar na estação de Inverno e reduzindo a radiação absorvida na estação de Verão (Oliveira-Panão et al., 2006b, Oliveira-Panão et al., 2008). Utilizando uma nova metodologia de otimização, baseada no conceito de algoritmo genético, encontrou as formas urbanas para as quais o edifício tem uma absorptância elevada de Inverno e baixa no Verão, quando situado em latitudes intermédias (35º a 50º). De acordo com este estudo, para as latitudes elevadas a melhor solução é de blocos com

planta retangular na latitude 50º e blocos longos (infinito) de secção retangular para a latitude 45º. Para as latitudes baixas todas as formas são aceitáveis. Concluiu ainda que para latitudes compreendidas entre 35º e 45º, o azimute da malha deve a deve manter-se entre -15º e +15º e que o espaçamento entre blocos na direção Norte-Sul deve ser maximizado. Para a latitude de 50º, o azimute da malha pode variar entre -45º e + 45º (Oliveira-Panão et al., 2008).

- Modelo energético para edifícios associado à parametrização da atmosfera urbana inferior para simulação do clima urbano (Salamanca et al., 2010, Salamanca and Martilli, 2010). O calor gerado pelos edifícios, e as trocas com o exterior, são importantes para o clima urbano. Para analisar o impacto dos edifícios no clima urbano, foi desenvolvido um modelo energético para edifícios que contabiliza todos os fluxos de calor. O modelo contabiliza a difusão de calor pela envolvente, a ventilação natural, as trocas de radiação no interior, o calor gerado pelos ocupantes e equipamentos e o consumo energético para os sistemas de ar condicionado. Este modelo foi implementado na parametrização da atmosfera urbana inferior para modelos de média escala. O modelo da atmosfera urbana inferior fornece a temperatura do ar a humidade e a radiação e recebe a temperatura das paredes e tetos e os fluxos quentes com origem na ventilação. Trata a relação entre o calor gerado nos edifícios e as trocas com o exterior e ainda é capaz de reproduzir os efeitos do calor libertado pelo ar condicionado e o seu impacto na temperatura da atmosfera urbana inferior. Os estudos mostraram que, para uma cidade com edifícios de 15 m de altura e com igual espaçamento, num dia de Verão, o calor libertado pelo ar condicionado pode fazer subir a temperatura exterior entre 2 e 3 ºC. Assim, conclui-se que os sistemas de ar condicionado têm um impacto não negligenciável na atmosfera urbana e contribuem para o estabelecimento de um ciclo de aumento do consumo energético, já que o aumento da temperatura exterior em 2 ºC faz aumentar o consumo energético em 7 a 8 % (Salamanca et al., 2010, Salamanca and Martilli, 2010).

Os trabalhos descritos apresentam-se desenvolvimentos no estudo do comportamento térmico dos edifícios em contexto urbano, em especial os de Ratti, Robinson e Oliveira Panão. No entanto, o efeito da geometria urbana no consumo de energia contínua controverso e por estudar (Ratti et al., 2005), os métodos baseados

no modelo LT não são dinâmicos e os cálculos da radiação e luz são pouco fiáveis (Robinson et al., 2007). O trabalho de Robinson propõe-se dar orientações para melhorar o desempenho ambiental ao nível do conjunto de edifícios, mas a partir de contextos propostos. Oliveira-Panão et al encontra as formas urbanas que, em função da latitude, beneficiam a acessibilidade solar de Inverno restringindo-a de Verão, mas falta considerar a ventilação e a dispersão de poluentes no espaço urbano (Oliveira-Panão et al., 2006b). Salamanca estuda o contexto urbano mas do ponto de vista da cavidade, o que poderá vir a traduzir avanços para modelar as complexas interações entre o clima urbano, a dispersão de poluentes e as necessidades energéticas dos edifícios (Salamanca et al., 2010).

Numa outra perspetiva um estudo recente, de Sharifi e Murayama (2013), faz uma revisão crítica de sete metodologias de avaliação da sustentabilidade de comunidades (bairros/vizinhança). Um dos objetivos deste estudo era o de saber a eficácia destas. As metodologias estudadas foram LEED-ND[7], ECC[8], BREEAM[9] Communities, CASBEE-UD[10], HQE²R[11], Ecocity[12] e SCR[13]. Os resultados indicaram que a maioria das metodologias cobre os aspetos socias, económicos e os aspetos institucionais da sustentabilidade. Existem ambiguidades e diferenças entre elas na avaliação e classificação e na maioria não existem mecanismos de adaptação ao local e à participação. Uma das conclusões mais interessantes é facto de que só as metodologias incorporadas em ferramentas de planeamento têm boa aplicabilidade e serem também estas as melhor sucedidas nos objetivos (Sharifi and Murayama, 2013).

Com este resumo do estado da arte procura-se mostrar aqueles que parecem ser os trabalhos mais significativos no estudo da eficiência energética dos edifícios em contexto urbano. A pesquisa realizada sugere que este assunto, pela sua importância, atualidade e por não estar ainda esgotado, merece ser ainda mais desenvolvido. No âmbito dos objetivos propostos no capítulo anterior, o presente trabalho corresponde

[7] LEED-ND, Leadership in Energy and Environmental Design for Neighborhood Development.
[8] ECC, EarthCraft Communities.
[9] BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method.
[10] CASBEE-UD, Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency for Urban Development.
[11] HQE²R, Haute Qualité Environnementale et Economique Réhabilitation.
[12] Ecocity, EU research project.
[13] SCR, Sustainable Community Rating.

ao início de um estudo para aumentar o conhecimento no âmbito das formas urbanas no seu conjunto e quais os aspetos mais importantes a ter em conta no planeamento territorial.

Capítulo 3 Malhas urbanas

3.1 Introdução

O ordenamento do território é, no essencial a gestão da intervenção do Homem no ambiente (ou espaço) natural, traduzindo-se por vezes no planeamento da ocupação (Codesso, 2006). O ordenamento do território caracteriza-se por ser simultaneamente uma disciplina científica, uma técnica administrativa e uma política que se desenvolve numa perspetiva multidisciplinar (DGOTDU, 1988)[1] e é realizado com instrumentos próprios. A seguir faz-se uma abordagem a esses instrumentos e o levantamento e caracterização de um parâmetro urbanístico, utilizado pelos instrumentos de ordenamento do território na quantificação da ocupação do solo. Por fim propõem-se um conjunto de configurações para malhas urbanas[2], com base na regulamentação aplicável e em aspetos diretamente relacionados com a eficiência energética.

3.2 Identificação e caracterização dos parâmetros urbanísticos utilizados pelos instrumentos de planeamento territorial

3.2.1 Instrumentos de planeamento territorial

A lei de bases da política de ordenamento do território (LBPOT), Lei nº 48/98 de 11 de Agosto (artigo 7º e 8º), caracteriza o sistema de gestão territorial e define os instrumentos de gestão territorial. Os instrumentos de gestão territorial previstos na LBPOT são os seguintes: instrumentos de desenvolvimento territorial, instrumentos de

[1] Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU)

[2] Realidade material e funcional criada pelo efeito conjugado dos edifícios, das infraestruturas urbanas e dos espaços não edificados. Alguns autores utilizam, em alternativa, a designação de tecido urbano.

planeamento territorial, instrumentos de política sectorial e instrumentos de natureza especial. Os instrumentos de planeamento territorial são os instrumentos de natureza regulamentar que estabelecem o regime de uso do solo, definindo modelos de evolução da ocupação humana e da organização de redes e sistemas urbanos e, na escala adequada, parâmetros de aproveitamento do solo. São instrumentos de planeamento territorial os planos municipais de ordenamento do território e compreendem as seguintes figuras: plano diretor municipal, plano de urbanização e plano de pormenor (artigo 9º). Cada um destes planos tem âmbitos e objetivos diferentes, e que são os seguintes:

- O plano diretor municipal (PDM), com base na estratégia de desenvolvimento local, estabelece a estrutura espacial, a classificação básica do solo, bem como parâmetros de ocupação, considerando a implantação dos equipamentos sociais, e desenvolve a qualificação dos solos urbano e rural.
- O plano de urbanização desenvolve a qualificação do solo urbano.
- O plano de pormenor define com detalhe qualquer área delimitada do território nacional.

De acordo com o artigo 84º do regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (RJIGT), Decreto-lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, alterado pelo Decreto-lei n.º 46/2009 de 20 de Fevereiro, o plano diretor municipal é de elaboração obrigatória e abrange todo o território municipal.

Do exposto pode observar-se que o PDM é o único instrumento de planeamento territorial de natureza regulamentar obrigatório e no qual são definidos parâmetros de ocupação.

O PDM é composto por um regulamento, que contém todas as disposições imperativas do plano, uma planta de ordenamento e uma planta de condicionantes (artigo 86º do RJIGT).

De acordo com RJIGT, os PDM são aprovados pela assembleia municipal (artigo 79º do RJIGT) e até 2007 os PDM eram sempre ratificados por resolução do Conselho de Ministros. A alteração introduzida pelo Decreto-Lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro,

penúltima alteração do RJIGT, modificou a obrigatoriedade da ratificação por parte do Concelho de Ministros e esta só se torna necessária quando o PDM originar modificações ou incompatibilidades com os planos sectoriais ou regionais em vigor. Os PDM podem ser alterados, corrigidos, retificados ou suspensos (artigo 93º do RJIGT). As alterações, cujo procedimento é igual ao da elaboração, são integradas no plano (artigo 94º a 96º do RJIGT) e publicadas sob a forma de aviso (artigo 148º do RJIGT). A eficácia dos planos depende da sua publicação em diário da república (artigo 148º do RJIGT).

3.2.2 Parâmetros urbanísticos

O planeamento urbano é considerado uma atividade multidisciplinar que deve incluir equipas de profissionais e investigadores especializados num conjunto variado de assuntos (Pinson, 2004). As diferentes equipas recorrem a uma grande variedade de parâmetros urbanísticos e, até há pouco tempo, cada plano criava e definia os parâmetros que utilizava, dando origem a alguma confusão, como por exemplo, os mesmos termos utilizados com significados diferentes ou termos diferentes utilizados com o mesmo significado. Com objetivo de clarificar e sistematizar os conceitos utilizados na prática urbanística, a Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) lançou em 1996, uma publicação intitulada "Indicadores e parâmetros urbanísticos", (DGOTDU, 1996) que serviu de referência (não obrigatória) até à recente publicação do Decreto regulamentar n.º 9/2009 de 29 de Maio. O objetivo deste decreto regulamentar é "*evitar a atual dispersão e imprecisão de conceitos utilizados por instrumentos de gestão territorial*" e fixar os conceitos técnicos nos domínios do ordenamento do território e do urbanismo a utilizar pelos instrumentos de gestão territorial.

Os parâmetros definidos no decreto regulamentar que interessam na caraterização da ocupação do solo são: o índice de impermeabilização, o índice de ocupação do solo, o índice de utilização do solo e o índice volumétrico. Os conceitos técnicos previstos no decreto regulamentar para os índices referidos são os seguintes:

- Índice de impermeabilização do solo (I_{imp}) é função da ocupação ou revestimento, sendo calculado pelo quociente entre o somatório das áreas

impermeabilizadas (A_{imp}) e a área de solo (A_s) a que o índice diz respeito. O índice é expresso em percentagem:

$$I_{imp}=(\sum A_{imp}/A_s)x100 \quad (\%) \tag{3.1}$$

A área impermeabilizada equivalente (A_{imp}) é resultante do produto entre cada área de solo e respetivo coeficiente de impermeabilização (C_{imp}), o qual depende do tipo ocupação ou revestimento. Como referência deve-se considerar:

$C_{imp}=0$ para solo plantado ou natural

$C_{imp}=0.5$ para revestimentos semipermeáveis

$C_{imp}=1$ para revestimentos impermeáveis

A área de solo é uma porção de território delimitada em planta por uma linha poligonal fechada.

Este índice mede a alteração da permeabilidade que resulta da ocupação (edifícios/construções) ou revestimento (passeios/ruas/pavimentos) do solo, independentemente da permeabilidade original anterior à modificação. Esta alteração é também independente do número de pisos que a edificação possua, ou seja, é independente da área de construção.

- Índice de ocupação do solo (I_o) é o quociente entre a área total de implantação ($\sum A_i$) e a área de solo (A_s) a que diz respeito o índice. O índice é expresso em percentagem:

$$I_o=(\sum A_i/A_s)X100 \quad (\%) \tag{3.2}$$

Este índice traduz a relação entre a área ocupada por edificação e a área de solo em consideração. Tal como o anterior esta relação é independente da área de construção. Esta designação substitui as vulgarmente denominadas por índice de implantação ou por coeficiente de afetação do solo.

- Índice de utilização do solo (I_u) é o quociente entre a área total de construção ($\sum A_c$) e a área do solo (A_s) a que o índice diz respeito. É um valor adimensional:

$$I_u = \sum A_c / A_s \quad \text{(adimensional)} \tag{3.3}$$

A área total de construção inclui a área de construção de todos os edifícios e contabiliza todos os pisos. A área total de construção pode ser desagregada em função dos usos, nomeadamente: habitação, comércio, serviços, estacionamento e arrecadação. Esta designação substitui as anteriormente utilizadas como área bruta, área coberta e área de pavimento.

Este índice traduz a quantidade de edificação, através da área de construção, por unidade de área de solo. Esta designação substitui outras vulgarmente utilizadas como índice de construção ou coeficiente de ocupação do solo.

- Índice volumétrico (I_v) é o quociente entre o volume total ($\sum V$) da construção ou edificação, expresso em m^3 e área do solo (A_s) em m^2, a que o índice diz respeito, ou seja:

$$I_v = \sum V / A_s \quad (m^3/m^2) \tag{3.4}$$

Este índice, tal com o anterior, traduz a quantidade de construção por unidade de solo, mas agora essa quantidade é expressa pelo volume da construção.

O índice de impermeabilização do solo e o índice de ocupação do solo são importantes para o planeamento territorial e para o ambiente porque contabilizam a parte do solo ocupada versus desocupada, podem ser utilizados por exemplo na determinação das águas pluviais captadas e das infiltradas no solo. Estes índices não contabilizam a área de construção e por isso não são interessantes para estudos relativos à eficiência energética. O índice de utilização do solo e o índice volumétrico

contabilizam a edificação, mas o índice volumétrico não considera a área de construção. O índice volumétrico é mais interessante para os casos em que o solo é ocupado por edifícios de pé direito muito elevado (armazéns, naves industriais e pavilhões). O índice de utilização do solo estabelece uma relação direta e clara entre a área de construção e área de solo, é o mais interessante para as situações onde é importante conhecer a quantidade de área de construção e esta tem um pé direito pouco variável como é o caso da habitação. O índice de utilização do solo é aquele que os PDM utilizam para definir limitações à urbanização e foi este o que foi utilizado no dimensionamento das malhas urbanas neste estudo.

3.3 Identificação e escolha dos concelhos representativos

A escolha dos concelhos mais representativos para o levantamento dos valores de índice de utilização do solo (I_u) foi feita com base em dois critérios, o clima e a população. O clima porque existe uma relação direta entre a severidade do clima e as necessidades energéticas para condicionamento térmico. A população porque é ela que molda a cidade (Roaf, 2010) e utiliza os recursos disponíveis para satisfazer as suas necessidades entre quais o condicionamento térmico. Quanto mais populosa é uma cidade ou região, maior é o seu impacto no consumo dos recursos, em especial de energia. A combinação do clima mais severo com cidade ou região mais populosa é a combinação mais desfavorável em termos de impacto do consumo de energia para condicionamento térmico.

O levantamento do clima e da população foi feito por concelhos (ou municípios) porque os dados disponíveis, sobre ambos, estão assim organizados. As áreas metropolitanas[3] de Lisboa e do Porto são uma forma de associação municipal e incluem os maiores aglomerados urbanos do País.

Para o levantamento dos dados sobre a população utilizaram-se os resultados disponíveis sobre o último censo realizado no país (INE, 2011).

[3] Atualmente existem duas áreas metropolitanas, a de Lisboa e a do Porto. O regime jurídico das áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto encontra-se estabelecido pela Lei n.º 46/2008 de 27 de Agosto e nela estão definidos os municípios que as integram.

Para o clima utilizou-se o zonamento climático previsto pelo regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios[4] o qual estabelece que o País está dividido em três zonas climáticas de Inverno I1, I2, I3 e de Verão V1, V2 e V3. De acordo com esta classificação, as combinações mais desfavoráveis são: I1-V1, I1-V3, I3-V1 e I3-V3. No entanto, verifica-se que I3 surge apenas combinado com V2 pelo que as combinações mais desfavoráveis são apenas três: I1-V1, I1-V3 e I3-V2.

Começando a identificação dos concelhos mais representativos pelo clima, procedeu-se à localização geográfica das combinações climáticas mais desfavoráveis tal como mostra a Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Zonas geográficas para às combinações climáticas mais desfavoráveis.

Combinação climática	Zona geográfica
I1-V1	Baixo Vouga, Baixo Mondego e Oeste
I1-V3	Lezíria do Tejo, Península de Setúbal, Alto Alentejo, Alentejo Central e Baixo Alentejo
I3-V2	Alto Trás-os-Montes, Douro, Beira Interior Norte e Serra da Estrela

A partir das zonas geográficas identificaram-se os cinco concelhos mais populosos para cada uma das três combinações climáticas mais desfavoráveis e que são os apresentados na Tabela 3-2.

[4] De acordo com o documento que se encontrava em discussão pública, à data da realização deste trabalho, para a revisão do RCCTE (Dec. lei n.º 80/2006) e divulgado pela Associação Nacional de Peritos Qualificados.

Tabela 3-2: Os cinco concelhos mais populosos para as combinações climáticas mais desfavoráveis.

Clima:	Concelhos:	População:
I1V1	Coimbra	143052
	Torres Vedras	79500
	Aveiro	78463
	Figueira da Foz	62124
	Alcobaça	56596
I1V3	Almada	173298
	Seixal	157981
	Setúbal	120791
	Barreiro	79042
	Moita	66311
I3V2	Vila Real	52219
	Guarda	42460
	Chaves	41444
	Bragança	35319
	Freixo de Espada à Cinta	26707

Os quinze concelhos da Tabela 3-2 fizeram parte dos escolhidos, pela sua representatividade, para o levantamento dos valores do I_u.

O outro critério de representatividade para o levantamento foi a elevada densidade populacional. Mas, como se pode verificar na tabela anterior, com algumas exceções, os grandes aglomerados do país não aparecem todos nas combinações climáticas mais desfavoráveis. Procedeu-se então a um segundo levantamento mas desta vez com o sentido inverso, ou seja, considerando os concelhos mais populosos identifica-se a combinação climática a que esse concelho está sujeita. Assim este segundo levantamento incluiu todos os municípios das áreas metropolitanas e, para além destes, os concelhos onde se situam todas as cidades com mais de 100000 habitantes.

Tabela 3-3 População e combinação climática para as áreas metropolitas e principais cidades de Portugal.

A. M. Lisboa:	Pop.:	Clima:	A. M. Porto:	Pop.:	Clima:	Cidades:	Pop.:	Clima:
Alcochete	17565	I1V3	Arouca	22352	I2V1	Barcelos	120492	I2V2
Almada	173298	I1V3	Espinho	31796	I2V1	Braga	181819	I2V2
Amadora	175558	I1V2	Gondomar	168205	I2V1	Coimbra	143052	I1V1
Barreiro	79042	I1V3	Maia	135049	I2V1	Guimarães	158108	I2V2
Cascais	205117	I1V2	Matosinhos	174931	I2V1	Leiria	127468	I2V1
Lisboa	545245	I1V2	Oliveira de Azeméis	68825	I2V1	Vila N Famalicão	133804	I2V2
Loures	205577	I1V2	Porto	237559	I2V1			
Mafra	76749	I1V2	Póvoa do Varzim	63364	I2V1			
Moita	66311	I1V3	S Maria da Feira	139393	I2V1			
Montijo	51308	I1V3	Santo Tirso	71387	I2V1			
Odivelas	143755	I1V2	S J Madeira	21685	I2V1			
Oeiras	172063	I1V2	Trofa	38893	I2V1			
Palmela	62549	I1V3	Vale de Cambra	22862	I2V1			
Seixal	157981	I1V3	Valongo	93753	I2V1			
Sesimbra	49183	I1V3	Vila do Conde	79390	I2V1			
Setúbal	120791	I1V3	Vila Nova de Gaia	302092	I2V1			
Sintra	377249	I1V2						
Vila Franca Xira	136510	I1V2						

O segundo levantamento resumido na tabela anterior mostra que a área metropolitana de Lisboa abrange duas zonas geográficas, Grande Lisboa e Península de Setúbal, cujas combinações climáticas são I1V2 e I1V3 respetivamente. A combinação climática da Península de Setúbal I1V3 já fazia parte das combinações mais desfavoráveis e portanto não tem sentido voltar a considerar. A área metropolitana do Porto inclui duas zonas geográficas, Grande Porto e Entre Douro e Vouga, mas estas tem a mesma combinação climática I2V1. As duas combinações que ocorrem com mais frequência nas áreas metropolitanas e que abrangem a maior parte da população, se excluída a I1V3 são a I1V2 e I2V1. Foram então considerados os cinco concelhos mais populosos das combinações I1V2 e I2V1 para representar as zonas mais densamente habitadas do país.

Juntando o levantamento realizado pelos dois critérios obteve-se o conjunto dos concelhos escolhidos para o levantamento dos I_u, apresentado na Tabela 3-4.

Tabela 3-4: Conjunto dos concelhos representativos, por combinação climática e respetiva população.

Clima:	Concelho:	População:
I1V1	Coimbra	143052
	Torres Vedras	79500
	Aveiro	78463
	Figueira da Foz	62124
	Alcobaça	56596
I1V2	Lisboa	545245
	Sintra	377249
	Loures	205577
	Cascais	205117
	Amadora	175558
I1V3	Almada	173298
	Seixal	157981
	Setúbal	120791
	Barreiro	79042
	Moita	66311
I2V1	Vila Nova de Gaia	302092
	Porto	237559
	Matosinhos	174931
	Gondomar	168205
	Santa Maria da Feira	139393
I3V2	Vila Real	52219
	Guarda	42460
	Chaves	41444
	Bragança	35319
	Freixo de Espada à Cinta	26707

Com esta amostra de vinte cinco concelhos que representam os mais populosos de cinco combinações climáticas, incluindo as combinações climáticas mais frequentes nas zonas com maior densidade populacional e as mais desfavoráveis, ficou garantida a abrangência e variedade necessárias para o levantamento dos valores do I_u.

3.4 Levantamento dos valores usados para índice de utilização do solo

Através da consulta aos PDM dos concelhos escolhidos, realizou-se um levantamento dos valores utilizados para índice de utilização do solo (I_u). Neste levantamento foi tido em consideração o seguinte:

-Os valores do I_u recolhidos são os previstos para as áreas a urbanizar e áreas onde é possível a execução de operações de loteamento.

-Sempre que o PDM consultado utilize outras designações, o valor recolhido foi o correspondente ao I_u.

-Foram consultados os PDM que estão em vigor, de acordo com a informação disponível pela DGOTDU no seu portal do ordenamento do território e urbanismo em Setembro de 2012.

Para a maioria dos municípios, o PDM em vigor está sob a forma de uma resolução do Conselho de Ministros (RCM). Em alguns, para além de RCM existe também um aviso. Foram consultados todos os documentos em vigor para obtenção da informação necessária.

Nos concelhos de Bragança, Lisboa, Vila Nova de Gaia e Vila Real, o PDM mais recente foi publicado como alteração ao PDM anterior e daí o facto de aparecer sob a forma de aviso. As exceções são os concelhos da Amadora, Santa Maria da Feira e Torres Vedras. Na Amadora, a declaração visa clarificar o conceito de "área de construção" utilizado no PDM. Em Santa Maria da Feira, a declaração altera uma parte do regulamento, ao abrigo do regime simplificado previsto no RJIGT. Em Torres Vedras o regulamento foi publicado posteriormente à RCM por lapso na publicação desta. A Tabela 3-5 apresenta o conjunto dos documentos que continha a informação para cada concelho e os valores dos índices de utilização do solo que são usados.

Tabela 3-5: Levantamento dos valores do índice de utilização do solo.

Concelho:	Documentos em vigor:	Índices de utilização do solo:					
Alcobaça	RCM nº 177/1997	0.6	0.8				
Almada	RCM nº 5/1997 Aviso nº 1922/2012	0.35	0.5	0.7			
Amadora	RCM nº 94/1994 Declaração nº 64/2004	0.3	0.6	0.8			
Aveiro	RCM nº 165/1995	Não usa índices					
Barreiro	RCM nº 26/1994	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Bragança	Aviso nº 12248-A/2010	0.5	0.6	0.8			
Cascais	RCM nº 96/1997	0.4	0.8	1.0			
Chaves	RCM nº 12/1995	0.5	0.8	1.2	1.5		
Coimbra	RCM nº 24/1994	0.45	0.65	0.9			
Figueira da Foz	RCM nº 42/1994	0.5	0.8				
Freixo de Espada à Cinta	RCM nº 110/1995	0.8	1.6	3.2			
Gondomar	RCM nº 48/1995	0.7	1.0	1.3			
Guarda	RCM nº 55/1994	Não usa índices					
Lisboa	Aviso nº 11622/2012	1.2	1.7				
Loures	RCM nº 149/2001	0.35	0.7				
Matosinhos	RCM nº 10/2002	1.0					
Moita	RCM nº 28/2010 Aviso nº 10488/2010	0.4	0.45	0.7			
Porto	RCM nº 19/2006	0.6	0.8				
Santa Maria da Feira	RCM nº 56/1993 Declaração nº 405/2000	0.5	0.8	1.2			
Seixal	RCM nº 65/1993	0.15	0.35				
Setúbal	RCM nº 65/1994	0.3	0.5	0.7			
Sintra	RCM nº 116/1999	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	
Torres Vedras	RCM nº 144/2007 Regulamento nº 81/2008	0.3	0.4	0.65			
Vila Nova de Gaia	Aviso nº 14327/2009	0.4	0.8	1.2	1.8		
Vila Real	Aviso nº 7317/2011	0.5	0.6	0.8			

Com exceção de Aveiro e da Guarda, todos os outros PDM utilizam índices para limitar e regular a ocupação do solo urbano. No PDM de Aveiro está definido um conjunto de limitações como o alinhamento, a cércea e a profundidade da construção mas não são utilizados quaisquer parâmetros para quantificar e/ou limitar a área de construção. O PDM da Guarda estabelece limitações semelhantes ao PDM de Aveiro e limita ainda o número de fogos por hectare mas, como não define qualquer dimensão (ou limitação) para a área dos fogos, não é possível converter este parâmetro em I_u.

A maioria dos concelhos utiliza dois ou três valores para índice de utilização do solo na limitação da área a construir. Os concelhos do Barreiro e de Sintra utilizam seis e cinco respetivamente. O Barreiro tem o seu território dividido em várias unidades operativas de planeamento e gestão com regras próprias para cada uma, o que originou a utilização de valores diferentes para cada unidade e conduziu a que número de índices utilizado fosse maior. Em Sintra foi estabelecido um valor para todo o município mas foram definidas as zonas onde o valor do índice pode ser superior ou deve de ser inferior, o que também conduziu à utilização de mais valores que o usual.

O Gráfico 3-1 apresenta os valores da Tabela 3-5 sistematizados pelo número de ocorrências de cada valor do I_u.

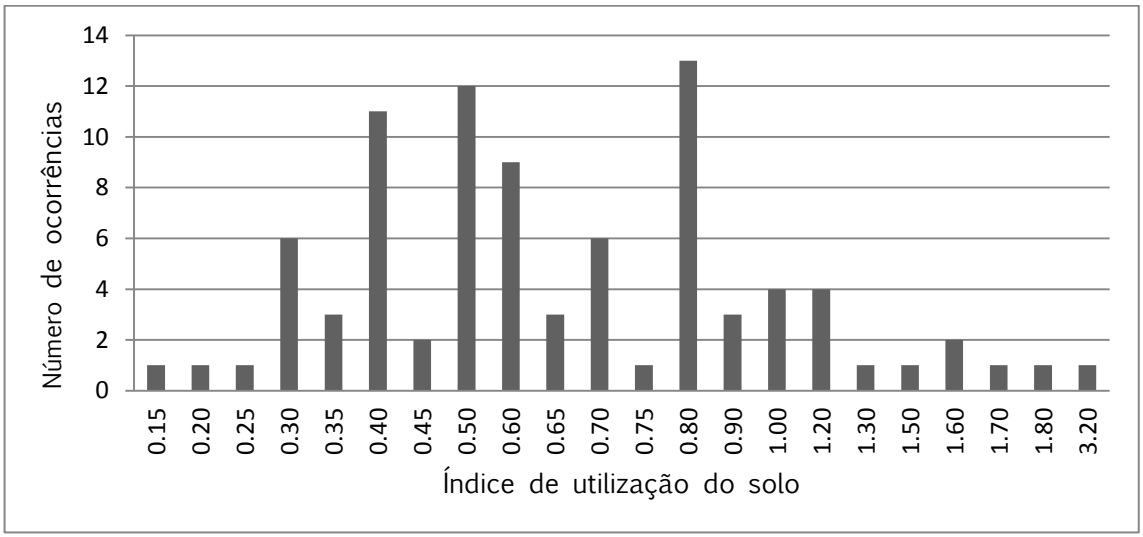


Gráfico 3-1: Distribuição do número de ocorrências para cada valor do índice de utilização do solo.

Os valores extremos, baixos ou altos, ocorrem com pouca frequência, como é o caso de valores abaixo de 0.3 ou acima de 1.2. É mais frequente a utilização de valores com uma casa decimal. O valor para índice de utilização do solo que ocorre com mais frequência é o 0.8. O valor 0.3 é o mais frequente dos mais baixos e 0.5 o mais utilizado no que se refere a valores intermédios.

3.5 Definição das malhas

3.5.1 Disposições regulamentares

Na definição de uma qualquer malha urbana é necessário considerar a existência de uma rede viária – arruamentos, para a circulação na envolvente dos edifícios. Entende-se por rede viária o espaço urbano destinado à circulação de pessoas e viaturas, constituída por faixa de rodagem e passeios. A largura mínima para a faixa de rodagem[5] (composta por duas vias com 3.5 m cada) é de 7 m e para os passeios a largura mínima[6] é de 1.5 m, perfazendo um total 10 m de largura. A rede viária obriga à consideração, nas malhas a definir, de um afastamento mínimo de 10 m entre os edifícios.

Existem outras condicionantes à definição das malhas urbanas que são as impostas pelo regulamento geral das edificações urbanas (RGEU), nos seus artigos 59º e 60º do Capítulo II (Da edificação em conjunto). O artigo 59º limita a altura das edificações e diz o seguinte: "*A altura de qualquer edificação será fixada de forma que em todos os planos verticais perpendiculares à fachada nenhum dos seus elementos, com exceção das chaminés e acessórios decorativos, ultrapasse o limite definido pela linha reta a 45º, traçada em cada um desses planos a partir do alinhamento da edificação fronteira, definido pela intersecção do seu plano com o terreno exterior*". O artigo 60º impõe ainda o seguinte: "*Independentemente do estabelecido no artigo anterior, a distância mínima entre fachadas de edificações nas quais existam vãos de compartimentos de habitação não poderá ser inferior a 10 m*". A figura seguinte resume as imposições expostas.

[5] De acordo com o previsto pela norma JAE (ISBN:96379-6-2) atualmente Estradas de Portugal SA.

[6] De acordo com o previsto pelo Decreto-lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto - normas técnicas para melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade condicionada.

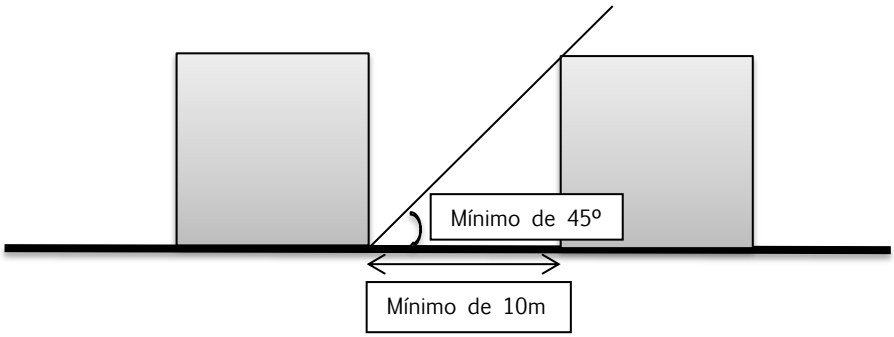


Figura 3-1: Condições regulamentares mínimas a garantir no afastamento entre as fachadas, com janelas, de edifícios.

A existência destas condições para distância mínima no afastamento entre edifícios depende da arquitetura dos próprios edifícios. A disposição dos compartimentos num edifício dita a necessidade de janelas nas fachadas. Estas condições só se aplicam às fachadas com janelas. Para as fachadas sem janelas não existem quaisquer condições e, em limite, os edifícios podem estar encostados. De forma idêntica, se não existir rede viária não há lugar à necessidade de impor espaçamento entre os edifícios.

3.5.2 O acesso ao Sol em ambiente urbano

Na definição da disposição dos edifícios existe um aspeto muito importante: assegurar o acesso à luz e radiação solar. O planeamento urbano ambientalmente consciente está a abandonar a prática de livre colocação dos edifícios ao longo das vias, para regressar ao arranjo tradicional, aproveitando as lições da arquitetura vernácula e orientando as casas e respetivos pátios a Sul (Raydan and Steemers, 2006). Planear o espaço urbano para a arquitetura solar passiva[7] significa que a disposição dos edifícios deve garantir que todos têm uma fachada voltada a Sul e que não se sombreiam mutuamente (Chrisomallidou, 2001). A Figura 3-2 compara a

[7] Os termos "arquitetura solar passiva", "bioclimática", "energético-consciente" entre outros, são designações dadas à arquitetura que respeita o ambiente e utiliza métodos e técnicas para reduzir a quantidade de energia consumida em iluminação, aquecimento, arrefecimento e água quente, garantido que não são afetadas as condições de conforto térmico no interior do edifício CHRISOMALLIDOU, N. 2001. Guidelines for integrating energy conservation techniques in urban buildings. *In:* SANTAMOURIS (ed.) *Energy and Climate in the Urban Built Bnvironment.* James & James..

disposição de edifícios na sua forma mais habitual na qual estes estão voltados para as ruas, com soluções para a disposição de edifícios permitindo que todos tenham uma fachada voltada a Sul, mostrando assim que é possível garantir o acesso ao Sol em ambiente urbano.

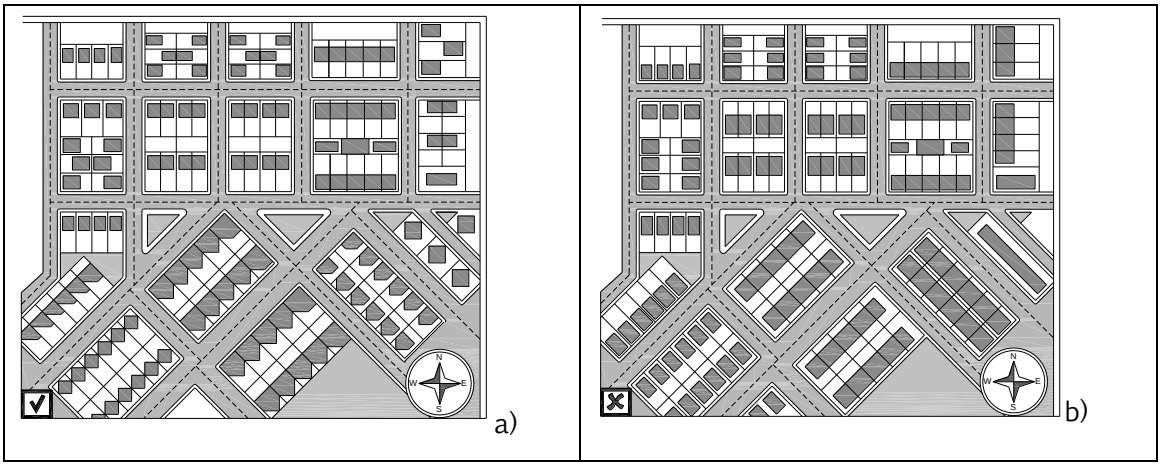


Figura 3-2:a) Proposta de disposição dos edifícios; b) disposição usual dos edifícios.
Fonte: Chrisomallidou, 2001

O acesso ao Sol é mais fácil se as ruas forem orientadas na direção Este-Oeste, mas se os edifícios estiverem muito próximos existe o risco de que a fachada, mesmo quando orientada a Sul, fique à sombra. A relação entre a altura dos edifícios e o seu afastamento deve ser tal que garanta o acesso ao Sol. O afastamento entre os edifícios aumenta na proporção da latitude do lugar. Nas latitudes mais a Sul os edifícios podem estar mais próximos que nas zonas mais a Norte ou então para o mesmo afastamento terem mais pisos (Chrisomallidou, 2001). A variação entre o afastamento dos edifícios e a latitude é devida à variação da altura solar. A altura solar é o ângulo formado entre a direção do Sol e o plano horizontal, o seu valor atinge o máximo no solístico de verão e o mínimo no solstício de inverno. O afastamento entre edifícios que garante o acesso ao Sol é o que resulta quando o ângulo entre as fachadas dos edifícios é de pelo menos igual à altura solar para o solstício de inverno do lugar, tal como mostra a figura seguinte.

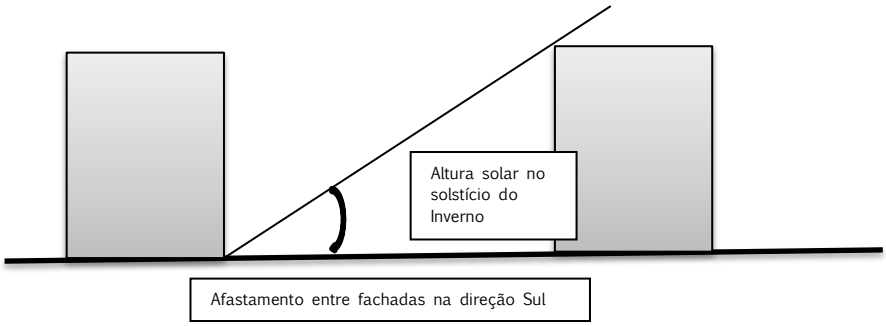


Figura 3-3: Condição afastamento entre edifícios em função da altura solar.

Para o território nacional, a altura solar no solstício de inverno varia entre 30º na latitude 37º e 25º para a latitude de 42º no extremo Norte do país (Moita, 2010).

Resumindo, a disposição de edifícios em contexto urbano que garante o acesso ao Sol é a que assegura simultaneamente as duas condições seguintes:

- Todos os edifícios têm a fachada com mais aberturas virada a Sul.
- A relação entre a altura dos edifícios e o seu afastamento, na direção Sul, corresponde a um ângulo entre 25º e 30º, conforme a latitude.

3.5.3 Configuração das malhas urbanas

Foram definidos diferentes tipos de malha urbana para rodear o edifício estudado. Na criação dessas malhas considerou-se o seguinte:

- Todos os edifícios têm a sua fachada principal voltada para Sul. A fachada principal é a que tem mais área de janelas na fachada. A fachada posterior tem janelas mas a área destas é inferior. As empenas laterais não têm qualquer abertura.
- Todos os edifícios são idênticos ao edifício em estudo independentemente da situação. As três situações possíveis são:
  - edifícios isolados (com 4 frentes),
  - edifícios agrupados ou geminados (com 3 frentes),
  - edifícios em banda ou contínuos (com 2 frentes).
- O espaçamento entre edifícios é condicionado pelas fachadas com janelas e é no mínimo de 10 m tal como o previsto na regulamentação em vigor (3.5.1).

As três situações de edifícios originaram oito soluções de malhas urbanas, seis para edifícios isolados, uma de agrupados e uma de edifícios em banda. A seguir apresenta-se cada uma das soluções.

As figuras representativas de cada caso servem para ilustrar as malhas e representam, em planta, o edifício estudado e os edifícios envolventes bem como o terreno[8] ou solo correspondente a cada edifício. A área desse terreno varia com o índice de utilização do solo. Para cada I_u sabendo a área total de construção (A_c) obtém-se a área do terreno (A_s) da seguinte forma:

$$A_s=\sum A_c/I_u \tag{3.5}$$

A área total de construção considerada foi a de um edifício com planta retangular com 21.2 m de frente (largura) e 9.6 m de profundidade (comprimento), num total de 203.5 m^2 por piso e com quatro pisos. Este edifício está descrito e estudado detalhadamente no capítulo seguinte. Uma área do terreno pode dar origem a diversas proporções de comprimento e largura. Algumas dessas proporções foram exploradas. Os valores utilizados estão descritos nos pontos seguintes.

Os afastamentos entre edifícios estão designados por W_1 para a direção Norte/Sul e W_2 para a direção Este/Oeste, Figura 3-4. Os valores de W_1 e W_2 foram calculados caso a caso em função da área do terreno. Os valores obtidos estão descritos para cada situação e são apresentados nos pontos seguintes.

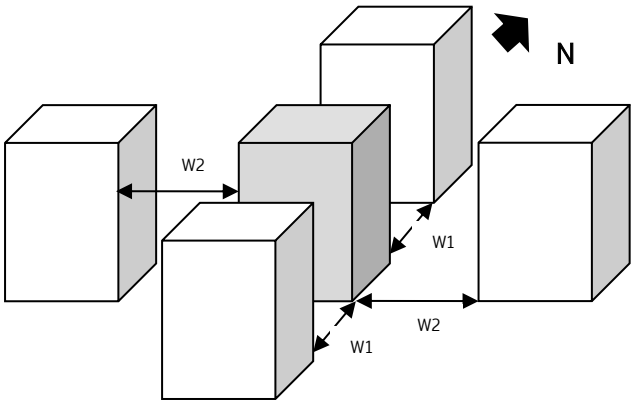


Figura 3-4: Designação dos afastamentos entre os edifícios.

[8] Inclui a área habitualmente designada por lote acrescida da área necessária às infraestruturas urbanas incluindo a rede viária, estacionamento e aos espaços de desafogo pavimentados ou ajardinados. Entende-se por lote uma parcela de terreno com capacidade construtiva.

3.5.3.1 Edifícios isolados

De entre todas as situações possíveis, os edifícios isolados são aqueles que apresentam mais possibilidades na relação entre o edifico em estudo, o terreno e os edifícios envolventes. Foram estudadas algumas dessas possibilidades e distinguidas por letras.

Edifícios isolados A

A primeira possibilidade considerada foi a de que o terreno tem uma configuração retangular e que as suas dimensões são proporcionais às dimensões do edifício. A Figura 3-5 representa esta configuração de malha urbana à qual foi dada a designação de edifícios isolados A.

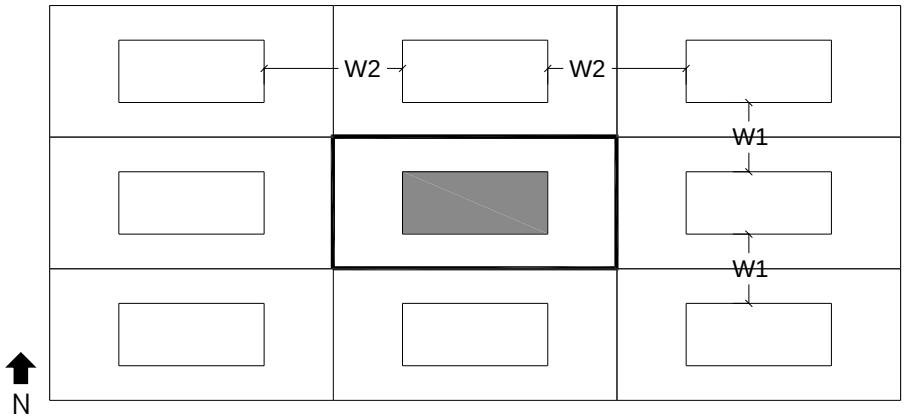


Figura 3-5: Edifícios isolados A.

A área do terreno necessário para cada I_u foi calculada pela expressão (3.5). As dimensões do terreno, obtidas a partir da área, foram definidas com a mesma proporção da largura e do comprimento do edifício ou seja a largura do terreno é igual a 2.2 vezes o seu comprimento. O afastamento W_1 é a diferença entre o comprimento do terreno e o comprimento do edifício e o W_2 é a diferença entre a largura do terreno e a do edifício.

Os valores encontrados são os apresentados na Tabela 3-6 em função dos diferentes valores do índice de utilização do solo (I_u). O aumento do I_u faz diminuir a área do terreno necessário para implantar os edifícios. Na relação entre edifícios, os ângulos referidos na Tabela 3-6 consideram-se de acordo com o apresentado na Figura 3-1. Os afastamentos W_1 e W_2 diminuem com o aumento do I_u, ou seja, quanto maior é o I_u menor é o afastamento entre os edifícios e menores são os ângulos formados pelos edifícios.

Tabela 3-6: Dimensões da malha de edifícios isolados A para diferentes índices.

I_u	Número de pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	77.3	35.1	25.5	25.2	56.1	12.1
0.4	4	2035.2	66.9	30.4	20.8	30.0	45.7	14.7
0.5	4	1628.2	59.8	27.2	17.6	34.3	38.6	17.2
0.8	4	1017.6	47.3	21.5	11.9	45.2	26.1	24.7
0.9	4	904.5	44.6	20.3	10.7	*48.3*	23.4	27.1

Para os valores de I_u acima de 0.4, o acesso ao Sol em toda a altura da fachada Sul não está garantido uma vez que o ângulo entre edifícios é superior a 30º.

Nesta configuração, o I_u mais elevado que é possível utilizar é 0.8. Para I_u de 0.9, os edifícios, na direção Norte-Sul (correspondente à distancia W_1), formam um ângulo superior a 45º.

A limitação no aumento de I_u neste cenário foi estabelecida pelo ângulo entre fachadas de edifícios e portanto a colocação de mais pisos nos edifícios com o objetivo de fazer subir o I_u é ineficaz. A Tabela 3-7 mostra que, para I_u de 0.8 e edifícios de 6 ou 8 pisos, o ângulo formado da direção Sul é superior a 45º.

Tabela 3-7:Dimensões da malha de edifícios isolados A com 6 e 8 pisos para I_u de 0.8.

I_u	Número de pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.8	6	1526.4	57.9	26.3	16.7	*47.1*	36.7	26.1
0.8	8	2035.2	66.9	30.4	20.8	*49.1*	45.7	27.7

Edifícios isolados B

A segunda possibilidade considerada para o cenário de edifícios isolados foi a de que as distâncias entre edifícios eram iguais para as duas direções. Nesta configuração o terreno é retangular porque o edifício também o é, mas a distância que o separa dos edifícios vizinhos é sempre igual A Figura 3-6 mostra esta configuração que está designada como edifícios isolados B.

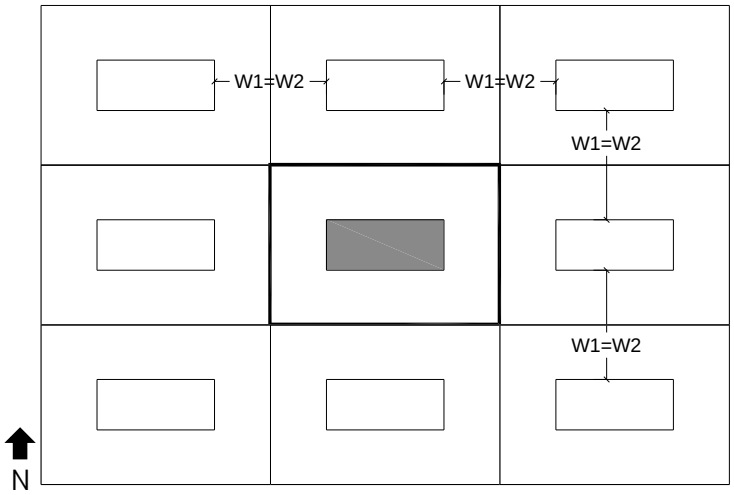


Figura 3-6: Edifícios isolados B.

A área do terreno para cada I_u é sempre igual, o seu cálculo é independente da configuração do terreno ou dos afastamentos entre os edifícios. O comprimento e a largura do terreno foram determinados por forma a garantir que o afastamento entre edifícios é igual para ambas as direções.

A Tabela 3-8 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos.

Tabela 3-8: Dimensões da malha de edifícios isolados B para diferentes índices.

I_u	Número de Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1=W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	58.2	46.6	37.0	18.0
0.4	4	2035.2	51.3	39.7	30.1	21.7
0.5	4	1628.2	46.6	35.0	25.4	25.3
0.8	4	1017.6	38.2	26.6	17.0	35.2
1.0	4	814.1	34.9	23.3	13.7	41.2
1.1	4	740.1	33.6	22.0	12.4	44.0
1.2	4	678.4	32.5	20.9	11.3	*46.7*

Analisando os ângulos formados pelos edifícios, é possível verificar que as malhas com I_u superior a 0.5, não permitem o acesso ao Sol da fachada Sul durante a estação de Inverno.

Neste cenário é possível atingir um índice de utilização do solo de 1.1. Qualquer valor acima deste deixa de verificar a limitação do ângulo de 45º na relação entre fachadas de edifícios. Da mesma forma que para o cenário anterior, a limitação é dada pelo ângulo e, portanto, o aumento do número de pisos não permite a utilização de valores para I_u mais elevados.

Tabela 3-9:Dimensões da malha de edifícios isolados B com 6 e 8 pisos para I_u de 1.2.

I_u	Número de Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1=W_2 (m)	Ângulo (º)
1.2	6	1017.6	38.2	26.6	17.0	*46.6*
1.2	8	1356.8	43.1	31.5	21.9	*47.6*

De todos os cenários de isolados, este foi o que permitiu chegar a valores de I_u mais elevados. Os quadros com todos os valores obtidos para os valores de I_u quando o edifício tem 6, 8, 10 e 12 pisos encontram-se no Anexo A.

Os edifícios isolados têm inúmeras possibilidades de colocação no terreno e de relação com outros edifícios. Essas possibilidades incluem situações em que ambos os afastamentos variam, como foram os casos estudados, ou situações onde o valor de

um dos afastamentos é fixo. Não sendo viável estudar todas as configurações possíveis, estudaram-se, para além das já referidas, mais três, nas quais o afastamento entre edifícios toma um valor fixo para todos os valores de I_u.

Edifícios isolados C

A terceira possibilidade considerada consistiu em fixar o afastamento lateral entre os edifícios no valor mínimo necessário para garantir uma via de circulação, ou seja, W_2 com dimensão constante igual a 10 m. A Figura 3-7 mostra esta configuração que está designada como edifícios isolados C.

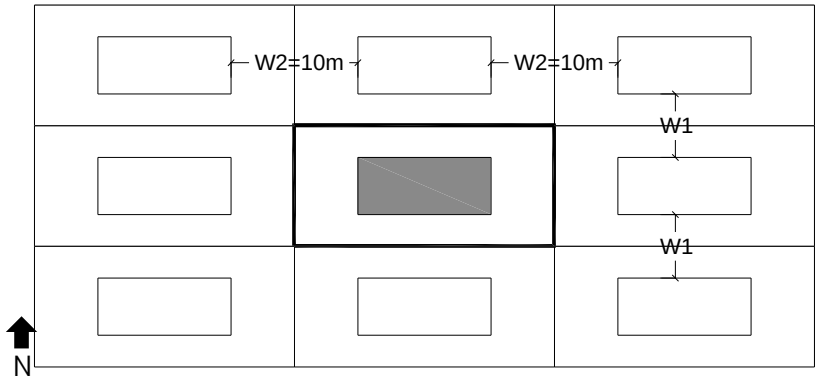


Figura 3-7: Edifícios isolados C.

A Tabela 3-10 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios isolados C.

Tabela 3-10: Dimensões da malha de edifícios isolados C para diferentes índices.

I_u	Número de Pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	31.2	87.0	65.8	10.3	10.0	50.2
0.4	4	2035.2	31.2	65.2	44.0	15.2	10.0	50.2
0.5	4	1628.2	31.2	52.2	31.0	21.2	10.0	50.2
0.7	4	1163.0	31.2	37.3	16.1	36.7	10.0	50.2
0.8	4	1017.6	31.2	32.6	11.4	*46.4*	10.0	50.2

O acesso ao Sol na fachada Sul só está garantido para os valores de índice de utilização do solo até 0.5 Nesta configuração, o valor máximo para I_u é de 0.7 por razões idênticas às das configurações anteriores.

Edifícios isolados D

A quarta possibilidade é a de considerar que o espaço lateral entre edifícios não é utilizado para via. Como os edifícios não têm janelas nesta fachada, esta direção (W_2) não está sujeita a dimensão mínima. Ao encurtar o espaçamento lateral é possível aumentar o espaçamento na direção Sul, o que se traduz numa vantagem face às configurações anteriores. Para que se torne notória essa vantagem, considerou-se que W_2 tem metade do valor da solução anterior, ou seja, uma dimensão constante de 5 m. A Figura 3-8 mostra esta configuração que está designada como edifícios isolados D.

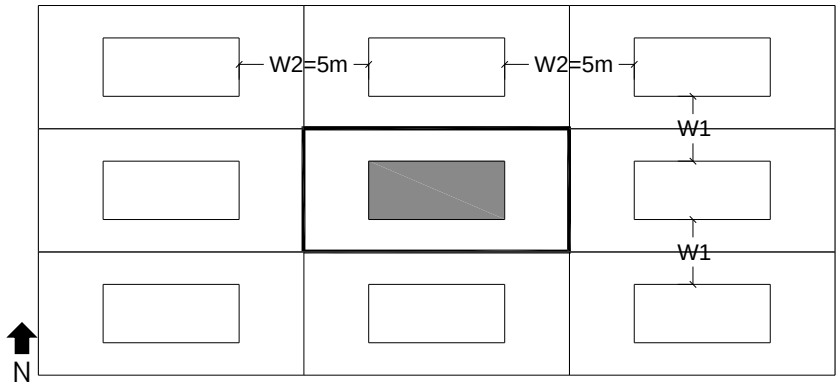


Figura 3-8: Edifícios isolados D.

A Tabela 3-11 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios isolados D.

Tabela 3-11: Dimensões da malha de edifícios isolados D para diferentes índices.

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	26.2	103.6	82.4	8.3	5.0	67.4
0.5	4	1628.2	26.2	62.1	40.9	16.3	5.0	67.4
0.8	4	1017.6	26.2	38.8	17.6	34.2	5.0	67.4
0.9	4	904.5	26.2	34.5	13.3	42.0	5.0	67.4
1.0	4	814.1	26.2	31.1	9.89	*50.6*	5.0	67.4

O acesso ao Sol na fachada Sul só está garantido para os valores de índice de utilização do solo até 0.5. Nesta configuração, o valor máximo para I_u é de 0.9 por razões idênticas às das configurações anteriores

Edifícios isolados E

Na quinta e última possibilidade, fixando o valor do afastamento lateral considerou-se um afastamento lateral (W_2) com apenas 3 m. A Figura 3-9 mostra esta configuração que está designada como edifícios isolados E.

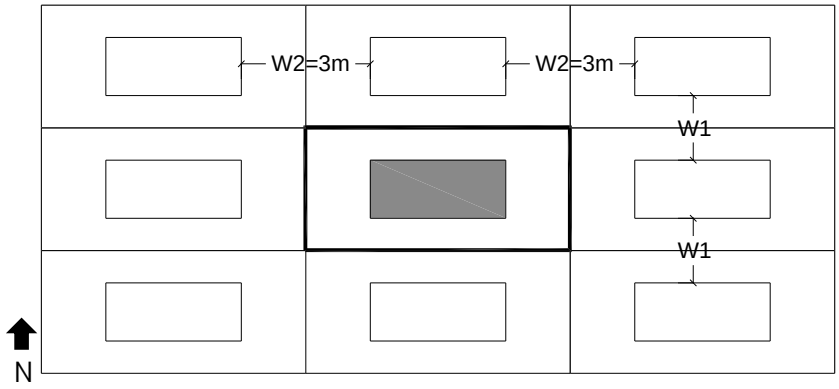


Figura 3-9: Edifícios isolados E.

A Tabela 3-12 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios isolados E.

Tabela 3-12: Dimensões da malha de edifícios isolados E para diferentes índices.

I_u	Número de Pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	24.2	112.1	90.9	7.5	3.0	76.0
0.5	4	1628.2	24.2	67.3	46.1	14.6	3.0	76.0
0.8	4	1017.6	24.2	42.0	20.9	29.9	3.0	76.0
1.0	4	814.1	24.2	33.6	12.4	44.0	3.0	76.0
1.1	4	740.1	24.2	30.6	*9.4*	*52.0*	3.0	76.0

O acesso ao Sol na fachada Sul só está garantido para os valores de índice de utilização do solo até 0.5. Nesta configuração, o valor máximo para I_u é de 1.0 por razões idênticas às das configurações anteriores.

Esta é a terceira e última configuração em que a dimensão lateral é fixa. Entendeu-se que, para afastamentos inferiores, seria preferível encostar os edifícios.

Edifícios isolados alternados

A sexta possibilidade é a disposição de edifícios de forma alternada. Esta configuração não permite a abertura de vias nas duas direções, apenas na direção Este-Oeste o que pode representar uma limitação grande mas a possibilidade de um maior afastamento na direção Sul torna-a interessante de analisar. A Figura 3-10 mostra esta configuração e está designada como edifícios alternados.

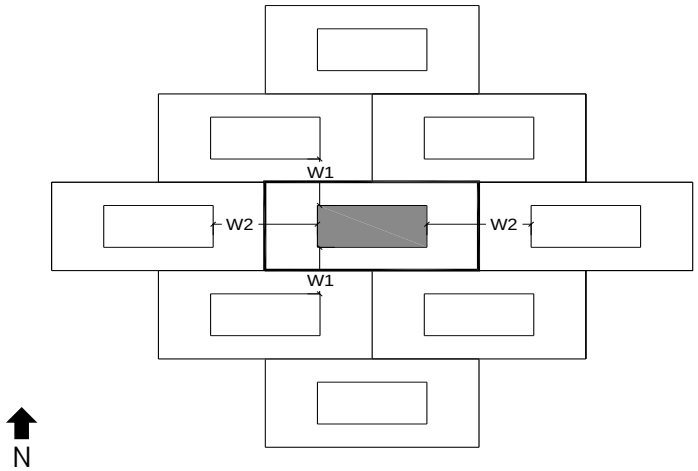


Figura 3-10: Edifícios isolados alternados.

A Tabela 3-13 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios isolados alternados.

Tabela 3-13: Dimensões da malha de edifícios isolados alternados para diferentes índices.

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	77.3	35.1	25.5	11.2	56.1	12.1
0.4	4	2035.2	66.9	30.4	20.8	13.2	45.7	14.7
0.5	4	1628.2	59.8	27.2	17.6	15.0	38.6	17.2
0.8	4	1017.6	47.3	21.5	11.9	19.8	26.1	24.7
0.9	4	904.5	44.6	20.3	10.7	21.2	23.4	27.1
1.0	4	814.1	42.3	19.2	*9.6*	22.6	21.1	29.6

Nesta configuração, o valor máximo para I_u é de 0.9. A limitação ao aumento do I_u é feita pelo afastamento entre edifícios na direção Norte-Sul. O valor de W_1 não pode ser inferior a 10 m para que neste canal seja possível colocar a rede viária.

Em resumo:

- O acesso ao Sol em toda a altura da fachada Sul só está garantido para I_u até 0.4, nos edifícios isolados A, e até 0.5 para as restantes configurações.

- O cumprimento das disposições regulamentares origina um valor limite para índice de utilização do solo ($I_{umáx}$) que não pode ser ultrapassado sem violar essas disposições. A Tabela 3-14 sintetiza esses valores máximos.

Tabela 3-14: Valores de $I_{umáx}$ para as diferentes configurações de edifícios isolados.

Cenário:	$I_{umáx}$
Edifícios isolados A (terreno retangular)	0.8
Edifícios isolados B (afastamentos iguais nas duas direções)	1.1
Edifícios isolados C (afastamento lateral de 10 m)	0.7
Edifícios isolados D (afastamento lateral de 5 m)	0.9
Edifícios isolados E (afastamento lateral de 3 m)	1.0
Edifícios isolados alternados	0.9

3.5.3.2 Edifícios agrupados

Os edifícios não isolados não têm tantas possibilidades de configuração como os anteriores. Os edifícios com três frentes, vulgarmente designados como geminados, podem ser compostos em malha conforme mostra a Figura 3-11. A esta configuração foi dado o nome de edifícios agrupados por estes estarem dispostos dois a dois.

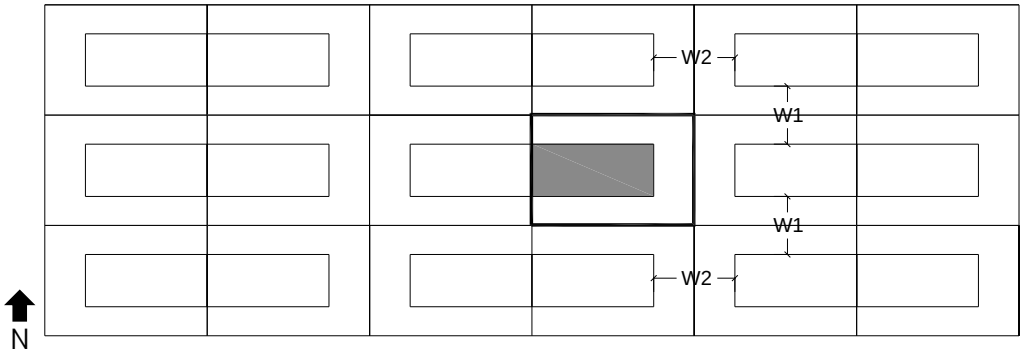


Figura 3-11: Disposição de edifícios agrupados ou geminados.

De forma idêntica ao considerado para os edifícios isolados, a área de terreno necessária para cada I_u foi calculada através da expressão (3.5). As dimensões do terreno (largura e comprimento) são proporcionais às do edifício. A Tabela 3-15 mostra, para cada valor de I_u, as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios agrupados.

Tabela 3-15: Dimensões da malha de edifícios agrupados para diferentes índices.

I_u	Número de pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.6	77.3	35.1	25.5	25.2	112.1	6.1
0.4	4	2035.2	66.9	30.4	20.8	30.0	91.4	7.5
0.5	4	1628.2	59.8	27.2	17.6	34.3	77.3	8.8
0.8	4	1017.6	47.3	21.5	11.9	45.2	52.2	12.9
0.9	4	904.5	44.6	20.3	10.7	*48.3*	46.8	14.4

Todas as malhas cujo índice é superior a 0.3 não têm o acesso ao Sol assegurado durante a estação de Inverno da fachada Sul, porque o ângulo entre edifícios é superior a 25º, não permitindo a penetração solar.

Para esta configuração, o índice de utilização do solo máximo é de 0.8 e os valores acima não verificam a limitação do ângulo de 45º na relação entre as fachadas os edifícios. Neste caso, porque a limitação é feita pelo ângulo e não pela distância, o aumento do número de pisos não permite o aumento do índice de utilização do solo.

3.3.5.3 Edifícios em banda

Os edifícios dispostos de forma contínua ou em banda ficam apenas com duas frentes. Nesta configuração, não é possível estabelecer qualquer outra disposição para além desta.

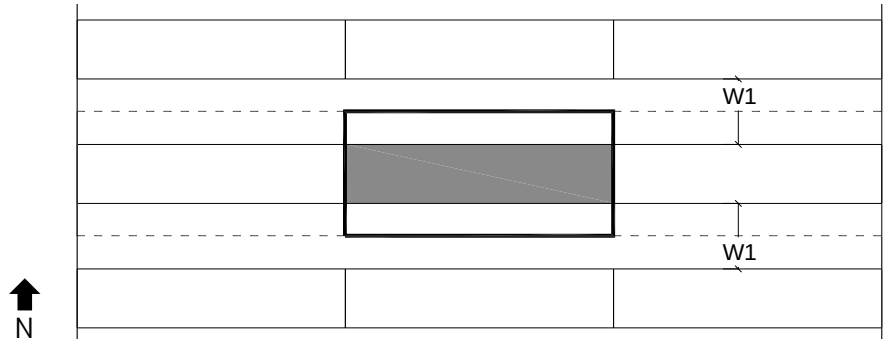


Figura 3-12: Disposição de edifícios em banda.

De forma idêntica aos cenários anteriores, foi calculada a área de terreno necessária para cada índice de ocupação do solo (I_u) utilizando a expressão (3.5). Neste cenário a largura do terreno é igual à largura do edifício. A Tabela 3-16 mostra para cada valor de I_u as dimensões do terreno, do afastamento entre edifícios e dos respetivos ângulos para a configuração de edifícios em banda.

Tabela 3-16: Dimensões da malha de edifícios em banda para diferentes índices.

I_u	Número de pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	4	2713.3	21.2	128.0	118.4	5.8
0.4	4	2035.0	21.2	96.0	86.4	7.9
0.5	4	1628.0	21.2	76.8	67.2	10.1
0.8	4	1017.5	21.2	48.0	38.4	17.4
1.0	4	814.0	21.2	38.4	28.8	22.6
1.2	4	678.3	21.2	32.0	22.4	28.2
1.4	4	581.4	21.2	27.4	17.8	33.9
1.6	4	508.8	21.2	24.0	14.4	39.8
1.7	4	478.8	21.2	22.6	13.0	42.7
1.8	4	452.2	21.2	21.3	11.7	*45.6*

Neste cenário é possível atingir um índice de utilização do solo de 1.7, que é o mais elevado de todos os cenários. Todas as malhas cujo índice é superior a 1.0 não têm o acesso ao Sol assegurado durante a estação de Inverno da fachada Sul, porque o ângulo entre edifícios é superior a 25º, não permitindo a penetração solar.

A configuração que possibilita o índice de utilização do solo mais elevado, respeitando as disposições regulamentares, é a de edifícios em banda. É também a configuração em banda a que garante acesso ao Sol na fachada Sul até índices mais elevados. As dimensões originadas com o aumento do número de pisos para 6, 8, 10, 12 e 16 encontram-se no Anexo A.

3.6 Sombras devidas aos edifícios circundantes

Em todas as configurações existe a possibilidade do edifício em estudo ser sombreado, total ou parcialmente, pelos edifícios circundantes, dependendo da posição do Sol. Para avaliar este efeito começa-se por caracterizar a posição do Sol na malha urbana. Em seguida, utilizando o mesmo referencial, calcula-se a posição relativa dos edifícios.

A posição do Sol relativamente à malha urbana é dada por dois ângulos: o azimute e a altura solar. O azimute é o ângulo formado pelo plano vertical do Sol com o Norte. A altura solar, já definida em 3.5.2, é complementar do ângulo zénite.

A Figura 3-13 mostra o azimute solar na malha urbana, considerando que é 0º para direção Norte e de 180º para a direção Sul. Todos os edifícios que envolvem o edifício em estudo foram identificados por números.

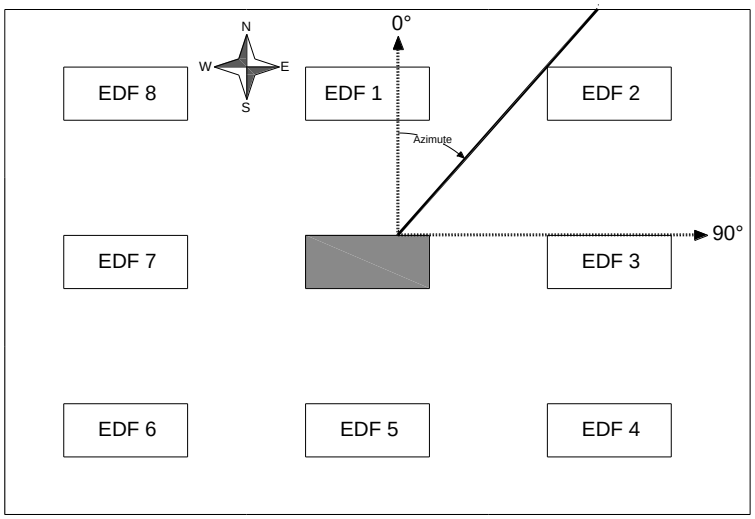


Figura 3-13: Azimute solar na malha urbana.

A figura utilizada para mostrar o azimute solar na malha urbana corresponde à configuração de edifícios isolados mas a definição de azimute solar e a identificação dos edifícios é idêntica para todas as configurações.

O outro ângulo utilizado na definição da posição do Sol no meio urbano é o ângulo zénite formado entre a vertical do lugar em estudo e a posição do Sol, tal como mostra a Figura 3-14.

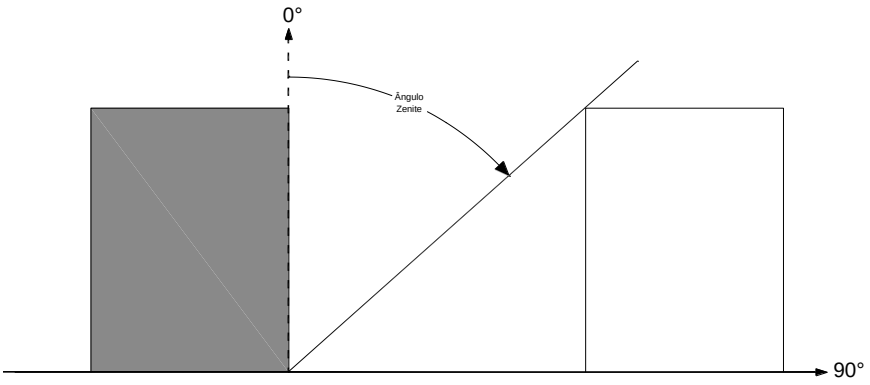


Figura 3-14: Ângulo zénite na malha urbana.

Para a identificação das sombras sobre o edifício em estudo é necessário conhecer, para além dos ângulos solares, os ângulos zénite e azimute entre o edifício em estudo e todos os edifícios que o envolvem e que podem provocar sombras sobre as suas fachadas.

Foi feita a determinação dos ângulos azimute e zénite entre o edifício em estudo e os edifícios envolventes. Sabendo que o edifício em estudo está dividido em quatro níveis (ou pisos) e duas zonas (Z1 e Z2) por nível.

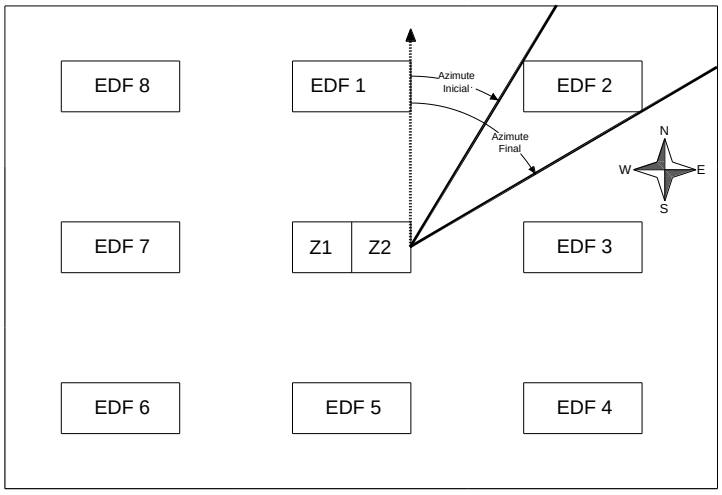


Figura 3-15: Azimute inicial e final.

Os ângulos foram calculados para todas as fachadas de cada uma das zonas em todos os níveis, conforme descrito de seguida:

1) Foi calculado um azimute inicial e um azimute final, por corresponder ao início e fim do percurso aparente do Sol. O azimute foi definido a partir do eixo da fachada em estudo até cada uma das arestas extremas do edifício que pode originar a sombra, tal como mostra a Figura 3-15 para a fachada Este com o Edifício 2.

   A definição dos ângulos azimute inicial e azimute final foi estabelecida entre as seguintes fachadas e edifícios:
   -fachada Este (Z2) com os edifícios 2, 3 e 4,
   -fachada Sul (Z1 e Z2) com os edifícios 4, 5 e 6,

-fachada Oeste (Z1) com os edifícios 6, 7 e 8,

-fachada Norte (Z1 e Z2) dos edifícios 8, 1 e 2.

2) Foi calculado ao ângulo zénite entre cada nível da fachada do edifício em estudo e os edifícios envolventes (os mesmos identificados para o cálculo do ao azimute), tal como mostra a Figura 3-16.

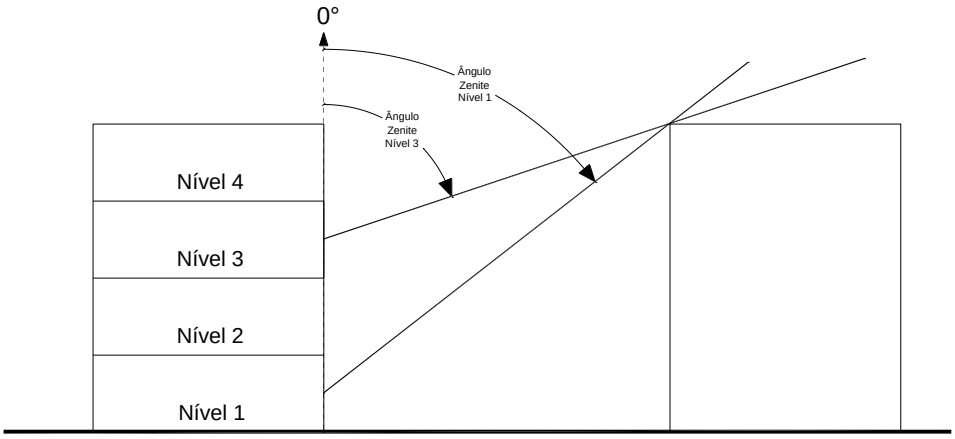


Figura 3-16: Definição dos ângulos zénite entre edifícios – corte.

Os ângulos zénite foram calculados considerando a distância horizontal entre o ponto médio do eixo da fachada em estudo vizinho e a aresta do edifício tal como mostra a Figura 3-17. A distância tomou a designação de E por ser a distância à fachada Este.

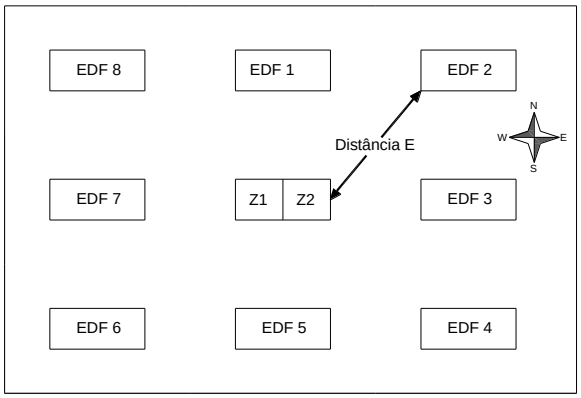


Figura 3-17: Definição dos ângulos zénite entre edifícios – planta.

Na Tabela 3-17 apresentam-se os ângulos zénite e azimute que os oito edifícios circundantes do edifício em estudo estabelecem com as fachadas de cada nível e zona do edifício em estudo na configuração de edifícios isolados A e índice de utilização do solo de 0.3. Os ângulos estão definidos em graus e as distâncias em metros inclui as distâncias utilizadas no cálculo dos ângulos zénite.

Tabela 3-17: Ângulos entre o edifício em estudo e os edifícios circundantes na configuração de edifícios isolados A com I_u de 0.3.

Edifícios isolados A				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
I_u= 0.30										
W_1= 25.50 m	**EDF1**	Azimute	inicial	348	328	0	0	0	0	
W_2= 56.10 m			final	32	12	0	0	0	0	
distN= 25.5		Zénite	nível1	68	68	0	0	0	0	
(m)			nível2	74	74	0	0	0	0	
			nível3	80	80	0	0	0	0	
			nível4	87	87	0	0	0	0	
	EDF2	Azimute	inicial	64	60	55	0	0	0	
			final	75	73	69	0	0	0	
distE= 63.8		Zénite	nível1	82	81	81	0	0	0	
distNz1= 76.4			nível2	84	84	83	0	0	0	
distNz2= 66.5			nível3	87	86	86	0	0	0	
(m)			nível4	89	89	89	0	0	0	
	EDF3	Azimute	inicial	0	0	85	0	0	0	
			final	0	0	95	0	0	0	
distE= 56.1		Zénite	nível1	0	0	79	0	0	0	
(m)			nível2	0	0	82	0	0	0	
			nível3	0	0	85	0	0	0	
			nível4	0	0	88	0	0	0	
	EDF4	Azimute	inicial	0	0	111	105	107	0	
			final	0	0	125	116	120	0	
distE= 63.8		Zénite	nível1	0	0	81	82	81	0	
distSz1= 76.4			nível2	0	0	83	84	84	0	
distSz2= 66.5			nível3	0	0	86	87	86	0	
(m)			nível4	0	0	89	89	89	0	
	EDF5	Azimute	inicial	0	0	0	148	168	0	
			final	0	0	0	192	212	0	
distS= 25.5		Zénite	nível1	0	0	0	68	68	0	
(m)			nível2	0	0	0	74	74	0	
			nível3	0	0	0	80	80	0	
			nível4	0	0	0	87	87	0	
	EDF6	Azimute	inicial	0	0	0	240	244	235	
			final	0	0	0	253	255	249	
distSz1= 66.5		Zénite	nível1	0	0	0	81	82	81	
distSz2= 76.4			nível2	0	0	0	84	84	83	
distO= 63.8			nível3	0	0	0	86	87	86	
(m)			nível4	0	0	0	89	89	89	
	EDF7	Azimute	inicial	0	0	0	0	0	265	
			final	0	0	0	0	0	275	
distO= 56.1		Zénite	nível1	0	0	0	0	0	79	
(m)			nível2	0	0	0	0	0	82	
			nível3	0	0	0	0	0	85	
			nível4	0	0	0	0	0	88	
	EDF8	Azimute	inicial	287	285	0	0	0	291	
			final	300	296	0	0	0	305	
distNz1= 66.5		Zénite	nível1	81	82	0	0	0	81	
distNz2= 76.4			nível2	84	84	0	0	0	83	
distO= 63.8			nível3	86	87	0	0	0	86	
(m)			nível4	89	89	0	0	0	89	

Quando a configuração dos edifícios é a de edifícios em banda, a situação é mais simples porque, dada a continuidade e paralelismo do edifício em estudo com os circundantes, não é necessário atender ao azimute e, portanto, considerou-se apenas o ângulo zénite. A tabela 3-17 apresenta os ângulos considerados para os quatro níveis nos diferentes índices de utilização do solo.

Tabela 3-18: Ângulos entre o edifício em estudo e os edifícios circundantes na configuração edifícios em banda e para os vários valores de I_u.

I_u	Zénite			
	Nível 1 (º)	Nível 2 (º)	Nível 3 (º)	Nível 4 (º)
0.3	85	86	88	89
0.4	83	85	87	89
0.5	81	84	86	89
0.8	75	79	83	88
1.0	70	75	81	87
1.2	65	71	79	86
1.4	60	67	76	85
1.6	54	62	73	84
1.7	51	60	71	83

As Tabelas 3-17 e 3-18 mostram os ângulos de zénite para a relação entre edifícios em duas configurações de malha urbana. No Anexo B encontram-se as tabelas para todas as configurações e índices de utilização do solo que foram utilizadas.

Nas configurações em banda, a sombra sobre a fachada do edifício em estudo ocorre sempre que o ângulo zénite do Sol for superior ao existente entre os edifícios. Nas configurações de edifícios isolados ou agrupados é ainda necessário que, em simultâneo, o azimute solar se situe entre o azimute inicial e o final dos edifícios circundantes para ocorrer sombra.

3.7 Síntese

Neste capítulo reuniu-se o conhecimento necessário para definir cenários de edifícios, referenciáveis ao índice de utilização do solo, I_u, que define a capacidade de ocupação solo utilizado pelo principal instrumento de planeamento do território.

Capítulo 4 Estudo do comportamento térmico de um edifício-tipo

4.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o estudo do comportamento térmico de um edifício-tipo utilizando duas ferramentas, o programa de simulação *Transient Systems Simulation Program* (TRNSYS) e a metodologia preconizada pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006). Começa-se por descrever resumidamente o funcionamento do programa TRNSYS e a metodologia do RCCTE. Em seguida apresentam-se os dados climáticos, o edifício considerado, as soluções construtivas e os aspetos específicos do estudo desenvolvido. A utilização de dois métodos distintos num mesmo edifício permitiu obter um modelo calibrado para o estudo à escala urbana. A seguir apresenta-se o estudo realizado com o edifício-tipo nos diferentes cenários de malha urbana descritos no capítulo anterior. Por fim resumem-se as soluções a estudar à escala nacional.

4.2 Metodologias de cálculo do comportamento térmico

4.2.1 O programa TRNSYS

O *Transient Systems Simulation Program* (TRNSYS) é um programa de simulação de sistemas térmicos em regime não permanente, desenvolvido pela Universidade de Wisconsin e comercializado desde 1975. O TRNSYS permite, pela sua estrutura modular, resolver problemas de sistemas energéticos elaborados através da partição em componentes (*types*). O programa dispõe de uma biblioteca significativa destes componentes, sendo ainda possível ao utilizador criar novos em linguagem Fortran. Através de uma interface gráfica, o utilizador escolhe os componentes, estabelece

ligações de acordo com o sistema que pretende simular e cria um ficheiro de entrada de dados (**.dck). Cada componente do sistema necessita de dados de entrada (*inputs*) e parâmetros (*parameters*) para gerar resultados ou saídas (*outputs*). Os dados de entrada podem ser variáveis no tempo e fornecidos a partir de ficheiros externos, como por exemplo os dados climáticos. Os parâmetros são valores fixos para cada simulação e, em geral, caracterizam a situação. Os resultados de um componente podem constituir os dados de outro componente até todo o sistema estar resolvido.

O programa TRNSYS possui um componente, Type 56, para a simulação do comportamento térmico de um edifício com várias zonas e que permite o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento ou da temperatura para cada zona.

4.2.1.1 Descrição matemática

O Type 56 considera os ganhos de calor por convecção para cada zona i, da seguinte forma:

$$Q_i = Q_{surf,i} + Q_{inf,i} + Q_{v,i} + Q_{gain,i} + Q_{cplg,i} \quad (4.1)$$

Onde:

$Q_{surf,i}$ = transmissão de calor por convecção através das superfícies interiores
$Q_{inf,i}$ = ganhos de calor devidos à infiltração do ar exterior
$Q_{v,i}$ = ganhos de calor devidos à ventilação
$Q_{gain,i}$ = ganhos internos por convecção (pessoas e equipamentos)
$Q_{cplg,i}$ = ganhos devidos às zonas adjacentes

O fluxo de calor por radiação das superfícies[1] e janelas é considerado da seguinte forma:

[1] O programa TRNSYS utiliza a designação de *wall* para todos os elementos opacos envolventes da zona em estudo, incluindo nesta designação para além das paredes, os tetos e os pavimentos.

$$Q_{r,wi} = Q_{g,r,i,wi} + Q_{sol,wi} + Q_{long,wi} + Q_u \quad (4.2)$$

Onde:

$Q_{r,wi}$ = ganhos radiativos das superfícies

$Q_{g,r,i,wi}$ = ganhos radiativos emitidos pelos ocupantes/equipamentos e recebidos pelas superfícies

$Q_{sol,wi}$ = ganhos solares através das janelas e recebidos pelas superfícies

$Q_{long,wi}$ = ganhos radiativos emitidos por todas as outras superfícies

Q_u = fluxo radiativo imposto pelo utilizador relativo equipamento de aquecimento/arrefecimento para manter a temperatura desejada

As superfícies são modeladas de acordo com o método das funções de transferência[2], estabelecido por Mitalas e Arseneault, para o cálculo dos fluxos de calor em regime não estacionário (Mitalas, 1972). Este método de cálculo é reconhecido pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) que o publicou em 1977 (ASHRAE, 1977, McQuiston and Parker, 1988, Bragança-Lopes, 1995) com a seguinte forma para o ganho de calor:

$$q_{i,\theta} = A\left[\sum_{n=0} b_n \ (t_{e,\theta-n\nabla}) - \sum_{n=0} d_n \ (\tfrac{q_{\theta,i-n\theta}}{A}) - t_i \sum_{n=0} c_n \right] \quad (4.3)$$

A função de transferência apresentada é uma solução numérica precisa da equação da condução (Bragança-Lopes, 1995). À data, a ASHRAE e o livro de McQuiston publicaram juntamente com a função de transferência tabelas com os valores a utilizar para os coeficientes b_n, c_n e d_n relativos aos diversos materiais de construção e em função da inercia do edifício (leve, média ou forte).

O programa TRNSYS utiliza para cada superfície o fluxo de calor por condução (*s,i* superfície interior e *s,o* superfície exterior) a seguinte formulação:

[2] Caracterizado pelo seu autor, Mitalas, da seguinte forma: "*This new method has been designated as the transfer function because it utilizes the transfer function concept to relate cooling load and heat extraction rate to cooling load and room air temperature*". MITALAS, G. 1972. Transfer function method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature. *ASHRAE Journal,* 14**,** 54-56.

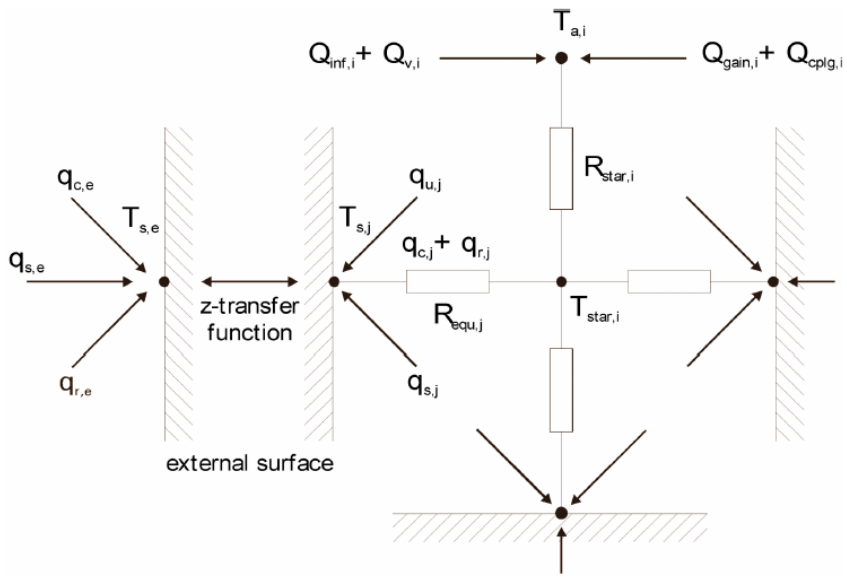
$$\dot{q_{s,i}} = \sum_{k=0}^{n_{bs}} b_s^k \, T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{cs}} c_s^k \, T_{s,i}^k - \sum_{k=0}^{n_{ds}} d_s^k \, q_{s,i}^k \quad (4.4)$$

$$\dot{q_{s,o}} = \sum_{k=0}^{n_{as}} a_s^k \, T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{bs}} b_s^k \, T_{s,i}^k - \sum_{k=0}^{n_{ds}} d_s^k \, q_{s,o}^k \quad (4.5)$$

Onde, T = temperatura, k é o termo temporal, k=0 é o instante atual e k=1 é o instante anterior. Os coeficientes a, b, c e d dependem das características dos materiais utilizados. Estes coeficientes podem ser calculados por vários métodos, o programa TRNSYS utiliza a transformada de Z (Klein et al., 2000). As características dos materiais indicadas pelo utilizador do programa são a condutividade, a capacitância e a densidade.

Mitalas demonstrou as vantagens deste método que descreve o comportamento térmico das superfícies, com precisão, utilizando coeficientes numéricos (Giaconia and Orioli, 2000). Quando comparado com outras soluções numéricas aproximadas da equação básica da transmissão de calor por condução em regime não-permanente, as funções de transferência são uma solução mais completa e mais precisa (Bragança-Lopes, 1995, Iu and Fisher, 2004)

Utilizando as expressões referidas, o programa TRNSYS determina a temperatura de cada superfície, $T_{s,j}$. A influência da temperatura das superfícies na temperatura da zona, $T_{a,i}$ é determinada considerando uma temperatura fictícia, T_{sart} que traduz o fluxo radiativo e convectivo de todas as superfícies da zona i (Klein et al, 2000). A Figura 4-1 (Veken et al., 2004) representa os fenómenos e a metodologia utilizada pelo programa TRNSYS.



$R_{star} = (T_{star}-T_{a,i})/Q_{surf}$ resistência fictícia
$R_{equ,j}$ resistência equivalente da superfície
$q_{c,j}$ fluxo convectivo da superfície j
$q_{c,j}$ fluxo radiativo da superfície j
$q_{u,j}$ fluxo radiativo imposto pelo utilizador da superfície j
$q_{s,j}$ radiação solar sobre a superfície

Figura 4-1: Representação dos fluxos de calor considerados pelo Type 56 do programa TRYNSYS. Fonte: Veken, Saelens et al, 2004.

4.2.1.2 Considerações sobre o programa TRNSYS

Os programas de simulação são validados pela norma ASRHAE 140, cuja metodologia combina verificação analítica, validação empírica e testes comparativos (BESTEST). O programa TRNSYS cumpre os requisitos estabelecidos pela referida norma e é considerado como fiável por diferentes estudos (Lomas et al., 1997, Neymark et al., 2002, Judkoff and Neymark, 2006, Chvatal, 2007)

As principais vantagens do programa TRNSYS são o facto de este estar bem documentado e validado, ter uma estrutura modular e a possibilidade de se ligar com outros programas (Veken et al, 2004).

4.2.2 A metodologia do RCCTE

O presente estudo foi realizado com base no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, em período anterior à publicação do Decreto-lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto que o revogou. O RCCTE estabelece as regras a observar em todos os edifícios de habitação e serviços e corresponde à transposição para a legislação nacional da Diretiva[3] do Parlamento Europeu e Concelho relativa ao desempenho energético dos edifícios, a qual tem como objetivo a promoção do conforto térmico, da qualidade do ar interior e do abastecimento de água quente sanitária sem dispêndio excessivo de energia. A metodologia preconizada no RCCTE (2006) prevê o cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária. O novo regulamento não altera a essência da metodologia de cálculo utilizada pelo RCCTE, sendo esta basicamente a mesma, com a exceção da taxa de renovação natural, cujo impacto neste estudo não tem significado.

De forma sucinta, pode dizer-se que as necessidades nominais de aquecimento, representam a energia útil necessária para que no interior do edifício (fração ou habitação) se mantenha a temperatura de referência (20 ºC) durante a estação de aquecimento. O cálculo faz-se pela soma algébrica de três parcelas: as perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios, as perdas de calor resultantes da renovação do ar e os ganhos de calor úteis, resultantes da utilização (iluminação, equipamentos e ocupantes) e da incidência solar.

De igual forma, as necessidades de arrefecimento traduzem a energia útil que é necessário retirar para manter o edifício na temperatura de referência (25 ºC). O cálculo é feito de forma similar, contabilizando os ganhos internos e os ganhos solares pela envolvente (paredes e janelas) e as perdas por renovação do ar e pela envolvente durante os meses de Junho a Setembro.

[3] O Decreto-Lei n.º 80/2006 corresponde à transposição para a legislação nacional da Diretiva n.º 2002/91/CE e o Decreto-Lei nº118/2013 da Diretiva n.º 2010/31/EU.

Por fim, as necessidades nominais de energia útil para produção de água quente sanitária calculam-se considerando a contribuição da energia solar através dos sistemas solares térmicos. No cálculo da contribuição da energia solar utiliza-se o programa SolTerm[4]. Este programa faz a análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, para as condições climáticas nacionais. O programa inclui 308 anos de referência meteorológica, um para cada concelho do país, bem como dados de coletores solares térmicos certificados.

A metodologia de cálculo utilizada pelo RCCTE (2006) é a preconizada pela norma europeia EN ISO 13790 (*Energy performance of buildings- Calculation of energy use for space heating and cooling*)[5]. Apresenta-se a seguir, de forma sucinta, a metodologia de cálculo.

4.2.2.1 Determinação das necessidades de aquecimento

As necessidades de aquecimento Q são calculadas através da expressão:

$$Q = Qtr + Qve - \eta(Qint + Qsol) \tag{4.6}$$

No qual:

Qtr -transferência de calor por condução

Qve -transferência de calor pela ventilação

Qint -ganhos de calor internos

Qsol -ganhos solares

η -fator de utilização dos ganhos, que se determina da seguinte forma:

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{se } \gamma \neq 1 \tag{4.7}$$

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad \text{se } \gamma = 1 \tag{4.8}$$

[4] Este cálculo foi mantido no novo regulamento.

[5] Doravante designada simplesmente por "Norma".

em que:

$$\gamma = \frac{Qganhos}{\text{Qperdas}} \tag{4.9}$$

Os valores de a, considerados empíricos pela Norma, são de atribuição nacional. O RCCTE define três valores (1.8, 2.6 ou 4.2) dependendo da inercia térmica.

A equação 4.6 é a equação 3 (incluído o previsto pelas as equações 7 e 8) da Norma e igual à equação do anexo IV ponto 1 e 4.1 do RCCTE.

As equações 4.7 a 4.9 são as equações 53 a 56 da Norma e iguais às equações do ponto 4.4 de RCCTE.

4.2.2.2 Determinação das necessidades de arrefecimento

As necessidades de arrefecimento Q são calculadas através da expressão:

$$Q = (1 - \eta)Qgn \tag{4.10}$$

Na qual:
Qgn-representa os ganhos inclui os ganhos solares, internos e o balanço da transferência de calor por condução e ventilação.
η -fator de utilização de ganhos, idêntico ao usado para o aquecimento, mas calculado com valores de ganhos e perdas correspondentes à estação de arrefecimento.

A equação 4.10 é igual à equação apresentada no anexo D da Norma e à equação do anexo V ponto 2 do RCCTE.

4.2.2.3 Considerações sobre a metodologia do RCCTE

O RCCTE (2006) estabelece e caracteriza todos os parâmetros deixados em aberto pela Norma por estes poderem tomar diferentes valores de acordo com os climas e realidades construtivas de cada país ou ainda por estarem estabelecidos noutras normas.

4.3 Dados e condições de realização do estudo

4.3.1 Dados climáticos

Para a realização dos estudos do comportamento térmico são necessários dados climáticos. O programa SolTerm contém uma base de dados climáticos horários a utilizar na metodologia do RCCTE. Os dados climáticos extraídos do SolTerm e utilizados no estudo do comportamento térmico são os seguintes:

-Temperatura (°C)

-Humidade relativa (%)

-Radiação solar global horizontal (W/m²)

-Radiação solar difusa horizontal (W/m²)

-Radiação solar global vertical N (W/m²)

-Radiação solar global vertical W (W/m²)

-Radiação solar global vertical S (W/m²)

-Radiação solar global vertical E (W/m²).

Estão ainda disponíveis outros dados, nomeadamente relativos à nebulosidade e iluminância, mas não foram utilizados no âmbito do presente estudo, para o qual se escolheu o clima do Porto.

Para a simulação no TRSNSYS são necessários dados climáticos horários. Utilizando os dados extraídos do SolTerm criou-se um ficheiro para utilização no TRNSYS, que inclui: temperatura, humidade relativa, radiação global e radiação direta nas várias orientações e direções.

A metodologia preconizada pelo RCCTE prevê a utilização de outros dados climáticos para a estação de aquecimento (Inverno) e para a estação de arrefecimento (Verão). Para a estação de aquecimento é necessário saber a duração, a severidade (traduzida pelos graus-dia) e a radiação solar incidente durante o Inverno. Para a estação de aquecimento, os dados climáticos necessários são a temperatura média e a radiação solar incidente. O RCCTE estabelece dados climáticos de referência para cada concelho mas, neste estudo, não foram utilizados, pois não são coerentes de forma precisa com os dados climáticos horários existentes no SolTerm. Portanto, todos os dados climáticos usados neste estudo foram calculados a partir dos dados climáticos horários extraídos do SolTerm e utilizados no TRNSYS. Esta opção permitiu comparar ambas as metodologias numa base comum.

Na determinação dos dados climáticos necessários à utilização da metodologia do RCCTE começou-se por encontrar a duração da estação de aquecimento. Por definição, considera-se que esta tem início no primeiro decêndio posterior ao dia 1 de Outubro em que a temperatura média for inferior a 15 ºC, e termina no último decêndio anterior a 31 de Maio no qual a temperatura seja igualmente inferior a 15 ºC. Para o clima do Porto, o período de aquecimento encontrado vai de 11 de Outubro a 20 de Maio, o que perfaz 7.3 meses de duração.

Para o período de aquecimento calculou-se o parâmetro "graus-dia" da seguinte forma: o somatório das diferenças horárias positivas entre a temperatura de base (20 ºC) e a temperatura exterior, dividido por 24. O valor encontrado para o Porto foi de 1985 ºC.dia, em vez de 1610 ºC.dia como está no RCCTE.

A estação convencional de arrefecimento é composta pelos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro. A temperatura média do ar calculada para este período é de 18.9 ºC, muito próxima dos 19 ºC que constam no RCCTE.

Na Tabela 4-1 apresentam-se os valores encontrados para a radiação solar global incidente durante toda a estação de aquecimento e toda a estação de arrefecimento.

Tabela 4-1: Radiação solar incidente.

Orientação:	Radiação Global (Inverno) (kW/m^2)	Radiação Global (Verão) (kW/m^2)
Norte	173.5	193.8
Este	411.6	391.5
Sul	685.2	376.1
Oeste	404.7	394.4
Horizontal	636.1	703.0

No Anexo C faz-se a comparação entre os dados climáticos utilizados e os previstos para a mesma localidade (Porto) no RCCTE.

4.3.2 Edifício tipo

Para este trabalho desenvolveu-se um edifício tipo a utilizar na determinação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento simultaneamente com o TRNSYS e com a metodologia do RCCTE. Os desenhos para representar o edifício-tipo não podem ser considerados projetos de arquitetura porque, entre outros aspetos, não tratam questões estéticas. O edifício tipo proposto pretende ser representativo da construção corrente e simultaneamente traduzir uma solução eficiente.

O edifício-tipo proposto reproduz um edifício de habitação coletiva, com quatro pisos e duas habitações por piso, sobre uma garagem coletiva. O último censo mostrou que 97 % dos edifícios de habitação em Portugal tem quatro os menos pisos (INE, 2011). O edifício é de planta retangular e tem os compartimentos principais (quartos e sala) voltados a Sul.

As habitações são de tipologia T2[6]. A área útil de cada habitação é de 69.6 m^2 e o pé direito de 2.6 m. A área de janelas é 15 % da área útil, num total de 10.5 m^2,

[6] Designação utilizada no regulamento geral das edificações urbanas (RGEU) para referir um tipo de habitação ou fogo com dois quartos, sendo os restantes compartimentos, cozinha, sala e instalações sanitárias, comuns a todas as tipologias.

dos quais 8.4 m^2 estão voltados a Sul. A Figura 4-2 mostra a planta do piso corrente, os dados geométricos encontram-se no Anexo D.

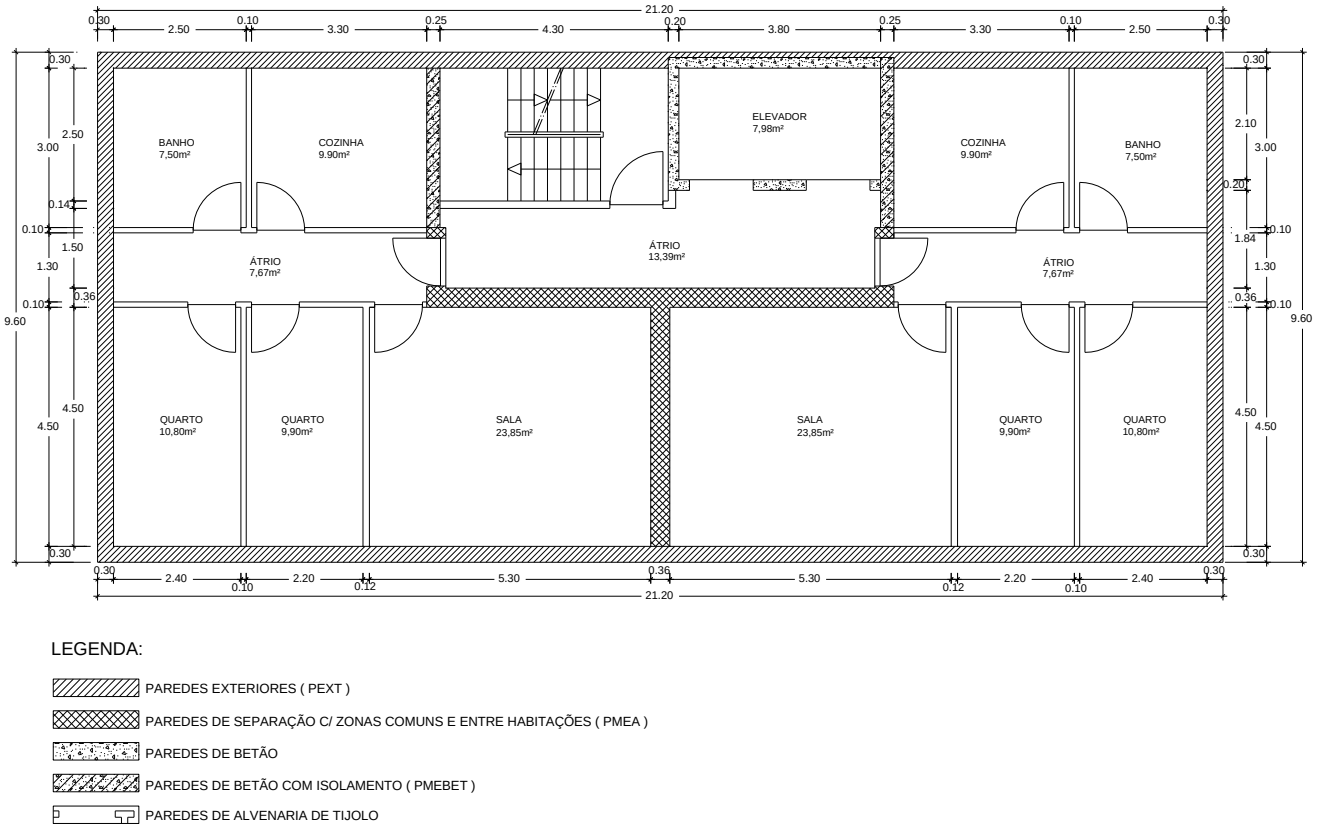
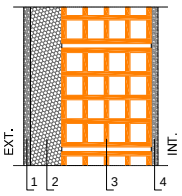
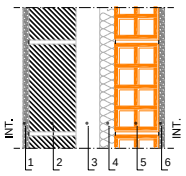


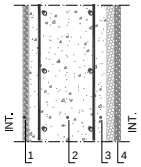
Figura 4-2: Planta do piso tipo.

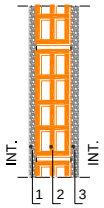
4.3.2.1 Soluções construtivas

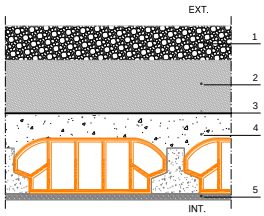
As soluções construtivas adotadas para as envolventes interiores e exteriores de cada habitação são as apresentadas na Figura 4-3.

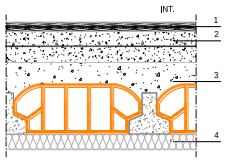
<table>
<tr>
<td>Parede exterior (PEXT)
 

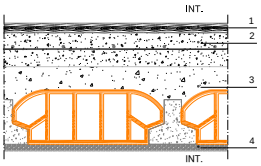
1-reboco (1.5 cm)
2-poliestireno expandido moldado (7 cm)
3-alvenaria de tijolo furado (20 cm)
4-reboco (1.5 cm)
U=0.41 W/m² ºC</td>
<td>Parede de separação com zonas comuns e entre habitações (PMEA)
 

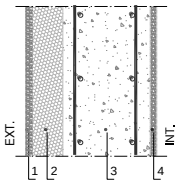
1-reboco (1.5 cm)
2-alvenaria de tijolo maciço (12 cm)
3-caixa de ar (6 cm)
4-lã mineral (4 cm)
5-alvenaria de tijolo furado (11 cm)
6-reboco (1.5 cm)
U=0.55 W/m² ºC</td>
</tr>
<tr>
<td>Parede de betão com isolamento (PMEBET)
 

1-reboco (1.5 cm)
2-betão armado (20 cm)
3-poliestireno expandido moldado (2 cm)
4-reboco (1.5 cm)
U=0.62 W/m² ºC</td>
<td>Paredes de alvenaria de tijolo (divisórias interiores)
 

1-reboco (1.5 cm)
2-alvenaria de tijolo furado (7 cm)
3-reboco (1.5 cm)</td>
</tr>
<tr>
<td>Laje de cobertura (LAJECOB)
 

1-Inertes (10 cm)
2-poliestireno expandido extrudido (15 cm)
3-impermeabilização (0.3 cm)
4-lage aligeirada (23 cm)
5-reboco (1.5 cm)
U=0.22 W/m² ºC</td>
<td>Laje aligeirada sobre a garagem (LAJEGARR)
 

1-madeira (0.3 cm)
2-betonilha (10 cm)
3-laje aligeirada (23 cm)
4-lã mineral (5 cm)
U=0.53 W/m² ºC</td>
</tr>
<tr>
<td>Laje aligeirada interior (LAJECORR)
 

1-madeira (0.3 cm)
2-betonilha (10 cm)
3-laje aligeirada (23 cm)
4-reboco (2 cm)</td>
<td>Ponte térmica plana (PBEXT)
 

1-reboco (1.5 cm)
2-poliestireno expandido moldado (7 cm)
3-betão armado (20 cm)
4-reboco (1.5 cm)
U=0.49 W/m² ºC</td>
</tr>
</table>

Figura 4-3: Desenhos esquemáticos das soluções construtivas e coeficientes de transmissão térmica.

A solução proposta, que ultrapassa significativamente o exigido pelo RCCTE, reflete o sentido do aumento da eficiência energética dos edifícios. Não existindo, à data da realização deste estudo, valores para objetivos mais ambiciosos, prevê-se a chegada dos edifícios de balanço energético nulo, tal como a Diretiva 2010/31/UE prevê para 2020. Atendendo a que o objetivo global é a eficiência energética, o estudo desenvolvido vai nesse sentido e portanto manter-se-á válido.

As propriedades térmicas consideradas para os materiais estão descritas na Tabela 4-2. No Anexo E encontra-se a metodologia utilizada na determinação dos coeficientes de transmissão térmica descritos na Figura 4-2, e a comparação entre os resultados das metodologias do RCCTE e do TRNSYS.

Tabela 4-2: Propriedades térmicas dos materiais utilizados.

Materiais:	Condutividade (W/(mºC))	Calor específico (J/kgK)	Massa volúmica (kg/m^3)
Reboco (REBOCO)	1.30[7]	837[8]	1900[6]
Tijolo15 ou 20 (TIJOFUR)	0.38[9]	936[7]	1224[9]
Tijolo11 (TIJOFUR11)	0.41[9]	936[7]	1224[8]
Tijolo7 (TIJOFUR7)	0.37[9]	936[7]	1224[8]
Tijolo maciço (TIJMAC)	0.85[9]	936[7]	2040[8]
Betão normal (BETAON)	2.00[9]	1080[7]	2400[6]
Laje aligeirada (LAJECER)	0.85[9]	965[7]	1320[7]
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.04[9]	1210[7,10]	33[6]
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0.04[9]	1210[7,9]	15[6]
Lã mineral (LAMW)	0.04[9]	900[7]	140[6]
Inertes (INERTE)	2.00[9]	500[7]	2000[6]
Madeira revestimento (MADEIRA)	0.13[9]	2750[7]	650[6]
Tela de impermeabilização (IMPERMEAB)	0.23[9]	1000[7]	1000[6]

A envolvente de um edifício não é homogénea. As heterogeneidades da envolvente tomam a designação habitual de pontes térmicas. Os elementos estruturais como vigas e pilares dão origem a pontes térmicas planas e foram descritas na Figura 4-3. As ligações entre diferentes elementos construtivos designam-se por pontes térmicas lineares. Na metodologia do RCCTE são contabilizadas através do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) e no programa TRNSYS são consideradas como resistências térmicas lineares (RTL). A Tabela 4-3 apresenta os coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) previstos no RCCTE e as resistências térmicas lineares

[7] ITE 50 SANTOS, C. P. & MATIAS, L. 2006. *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, LNEC..

[8] CHVATAL, K. 2007. *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão.* PhD, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto..

[9] BRAZÃO-FARINHA, J. & CORREIA-DOS-REIS, A. 1992. *Tabelas técnicas*..

[10] INCROPERA, F. & DEWITT, D. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 5ª Edição ed.

correspondentes de acordo com o TRNSYS. O cálculo das resistências térmicas lineares a partir dos coeficientes de transmissão térmica linear encontra-se descrito no Anexo F.

Tabela 4-3: Pontes térmicas lineares.

	RCCTE	TRNSYS
	Ψ	RTL
Localização:	(W/ºC)	(hmºC/kJ)
fachada/garagem	0.525	0.482
fachada/cobertura	0.530	0.477
fachada/pav. intermédios	0.100	2.731
paredes verticais	0.150	1.805

A envolvente exterior dispõe de aberturas ou janelas para as quais foi considerada caixilharia metálica e vidro duplo com as características descritas na Tabela 4-4.

Tabela 4-4: Propriedades dos vidros e caixilhos.

Coeficiente de transmissão térmica	3.1 kW/m^2
Fator de obstrução (F_s)	1.0
Fração envidraçada (F_g)	0.7
Fator de correção (F_w)	0.93
Fator solar (g)	0.75

O fator de obstrução traduz a redução de ganhos solares provocada por obstáculos exteriores ao vão envidraçado. Neste estudo não foram para já considerados quaisquer obstáculos nem dispositivos de sombreamento. Numa fase mais avançada, quando o estudo tratar do contexto de urbanização, esses fatores serão necessariamente considerados.

A fração envidraçada traduz a redução de ganhos solares devida ao caixilho que, neste caso, representa 30 % da área total do vão.

O fator de correção da seletividade angular e fator solar são característicos do vidro.

A solução construtiva apresentada traduz um edifício que, de acordo com a classificação do RCCTE, é de inércia térmica forte (600 kg/m^2). É possível reduzir em 50 % a inércia térmica e obter um edifício de inércia térmica média (374 kg/m^2) sem alteração dos coeficientes de transmissão térmica. Para reduzir a inércia considerou-se que as paredes divisórias passam a ser de gesso cartonado e alterou-se a posição do isolamento térmico nas paredes exteriores da face exterior da alvenaria de tijolo para a face interior. Todos os cálculos relativos à inércia térmica encontram-se no Anexo G.

4.3.2.2 Ventilação e ganhos internos

A renovação do ar faz-se por ventilação (extração) mecânica com uma taxa de 0.6 renovações por hora durante 24 horas por dia.

A utilização dos edifícios origina ganhos internos. Neste caso, considerou-se um valor constante de 4 W/m^2 de acordo com o especificado pelo RCCTE. O programa TRNSYS permite estabelecer valores variáveis em função de um horário, tentando assim reproduzir melhor a realidade. No entanto, no sentido de melhor aproximar o cálculo pelos dois métodos, essa funcionalidade não foi utilizada nesta fase.

4.3.3. Condições do estudo do comportamento térmico

Para a realização dos estudos de comportamento térmico, utilizando as duas ferramentas diferentes, foi necessário considerar as particularidades de cada uma das ferramentas e encontrar formulações que assegurassem a igualdade de condições. A seguir apresentam-se as questões em causa e as opções tomadas.

4.3.3.1 Delimitação

O programa TRNSYS permite a simulação do edifício na sua globalidade. O utilizador divide o edifício por zonas e classifica a envolvente de cada zona (paredes,

tetos ou pisos). A envolvente pode ser considerada exterior (*external)* sempre que a está em contacto com o exterior, interior (*internal)* quando interior à da zona, adjacente (*adjacent)* quando situada entre duas zonas em estudo (permite considerar a influência entre as zonas) ou fronteira (*boundary)* quando confronta com zonas que não estão em estudo mas cujas condições são passíveis de serem definidas pelo utilizador.

A metodologia do RCCTE prevê o estudo das necessidades térmicas de uma habitação (ou fração) de cada vez e classifica a sua envolvente (paredes, tetos e pavimentos) em exterior ou interior. Considera-se envolvente interior tanto na separação com espaços não aquecidos como na separação entre espaços nas mesmas condições de temperatura interior.

Atendendo às características de cada metodologia, considerou-se que cada zona para o programa TRNSYS corresponde a uma habitação (ou fração) da metodologia do RCCTE, de acordo com o esquema da Figura 4-4, não tendo sido realizados cálculos no TRNSYS para zonas não habitacionais

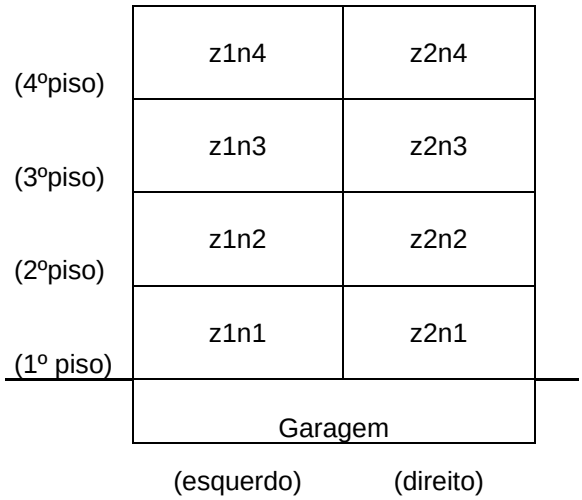


Figura 4-4: Designações utilizadas para as habitações/zonas.

A classificação da envolvente de acordo com as duas metodologias encontra-se na Tabela 4-5 para as paredes e na Tabela 4-6 para os tetos e pavimentos.

Tabela 4-5: Classificação da envolvente vertical (paredes) – Ver Anexo D.

Tipo de parede:	Área liquida: (m^2)	Programa TRNSYS	Metodologia RCCTE	Localização:
PEXT	12.46	*External*	Envolvente exterior	Fachada posterior
PEXT	22.88	*External*	Envolvente exterior	Fachada. lateral esq. ou dir.
PMEBET	7.80	*Boundary*	Envolvente interior	Separação c/ zonas comuns[1]
PMEA	11.52	*Boundary*	Envolvente interior	Separação c/ zonas comuns[1]
PEXT	16.17	*External*	Envolvente exterior	Fachada principal
PMEA	11.70	*Adjancent*	Envolvente sem requisitos	Separação entre habitações
PBEXT	0.52	*External*	Envolvente exterior	Fachada posterior
PBEXT	1.17	*External*	Envolvente exterior	Fachada principal
PINT7	56.94	*Internal*	(apenas para o cálculo da inércia térmica)	Interiores

1- Comunicações verticais e horizontais

Tabela 4-6: Classificação da envolvente horizontal (lajes) – Ver Anexo D.

Tipo:	Programa TRNSYS	Metodologia RCCTE	Localização:
LAJECOB	*External*	Envolvente exterior	Cobertura
LAJECORR	*Adjancent*	Envolvente sem requisitos	Separação entre habitações
LAJEGAR	*Boundary*	Envolvente interior	Separação c/ zona comum (garagem)

4.3.3.2 Zonas comuns

No edifício considerado existem dois tipos de zonas comuns: as comunicações verticais/horizontais (caixa de elevador, caixa de escada e patamares) e a garagem.

A metodologia do RCCTE fixa as condições ambientais em cada uma destas zonas, sabendo que a temperatura do ar nos locais não aquecidos é proporcional às temperaturas interior e exterior e ao cociente entre as áreas de perdas e ganhos desses mesmos locais. O RCCTE dispõe de coeficientes tabelados de acordo com as características do local não aquecido, bem como uma expressão que traduz a relação entre a temperatura interior e exterior.

O programa TRNSYS permite simular simultaneamente espaços climatizados (habitações/frações) e espaços não climatizados (zonas comuns) confinantes entre si e/ou com o exterior. Tal como já referido anteriormente não foram simulados estes

espaços mas foram introduzidas as suas características através da expressão e coeficientes utilizados pelo RCCTE. No Anexo H encontra-se a respetiva demonstração.

4.3.3.3 Condições interiores de referência

De acordo com o estabelecido pelo RCCTE, as condições ambientais interiores de referência são 20 ºC para a temperatura do ar na estação de aquecimento e 25 ºC na estação de arrefecimento.

Existem duas formas de impor estas condições ao programa TRNSYS:

- A temperatura mantêm-se constante a 20 ºC no Inverno e a 25 ºC no Verão não sendo possível que varie destes valores – temperatura fixa.

- A temperatura no Inverno é no mínimo de 20 ºC e no Verão é de 25 ºC no máximo, sendo possível a sua subida e descida respetivamente.

Realizaram-se estudos para ambas as situações.

4.3.3.4 Proteção solar

O RCCTE prevê que sejam considerados dispositivos de proteção solar nos vãos envidraçados e possui tabelas com os coeficientes que caracterizam os diversos tipos de proteção solar na cor, grau de proteção e posicionamento relativamente ao vidro. No programa TRNSYS é possível introduzir uma proteção solar parcial ou total mas esta é sempre considerada como completamente opaca. Optou-se então por não considerar qualquer tipo de proteção solar e comparar os ganhos solares obtidos por ambos os métodos assegurando que as características do envidraçado são idênticas.

4.3.3.5 Perdas térmicas durante a estação de aquecimento

O programa TRNSYS calcula as perdas pela envolvente exterior (opaca/janelas, pontes térmicas planas e lineares) e interior de forma idêntica, independentemente da estação.

A metodologia do RCCTE admite que na estação de arrefecimento apenas se possa contabilizar as perdas pelas paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados exteriores, deixando de fora as pontes térmicas lineares e as perdas pela envolvente interior. Com o objetivo de poder comparar os resultados de ambas as ferramentas, o presente estudo considerou na metodologia do RCCTE o total das perdas pela envolvente exterior e interior durante a estação de arrefecimento. Do Anexo I faz parte a folha de cálculo FCV.1a onde este cálculo aparece descriminado.

4.4 Estudo do comportamento térmico do edifício-tipo

Realizaram-se estudos do comportamento térmico para o edifício nas condições descritas e para o clima do Porto. Os estudos incluíram as variantes de inércia forte e média e as opções de cálculo com o TRNSYS com temperatura fixa ou variável. Nos estudos realizados foram calculadas as necessidades nominais de energia útil para a estação de aquecimento (Nic), Inverno, e para a estação de arrefecimento (Nvc), Verão. No cálculo utilizou-se o programa TRNSYS e a metodologia definida no RCCTE tal como o descrito.

4.4.1 Estação de aquecimento

4.4.1.1 Estratégia de simulação do TRNSYS com a “temperatura fixa”

Durante a estação de aquecimento, um edifício tem perdas térmicas pela envolvente e ventilação, e ganhos térmicos solares e internos.

Na Tabela 4-7 mostram-se os valores obtidos para as perdas (ventilação) e ganhos (solares e internos), idênticos para todas as habitações (ou zonas). Os ganhos solares apresentados são os ganhos térmicos resultantes da incidência do sol nas janelas. As perdas térmicas pela envolvente variam por habitação (ou zona) e estão descritas na Tabela 4-8.

Tabela 4-7: Perdas por ventilação e ganhos solares e internos, para a estação de aquecimento.

	TRNSYS (kWh/ano)	RCCTE (kWh/ano)	Variação (%)
Perdas por ventilação	1751.5	1759.2	-0.4
Ganhos solares brutos	2972.6	2987.9	-0.5
Ganhos Internos brutos	1486.0	1463.7	1.5

Tabela 4-8: Perdas pela envolvente para a estação de aquecimento.

Perdas pela envolvente:	TRNSYS (kWh/ano)	RCCTE (kWh/ano)	Variação (%)
4ºpiso	4468.8	4437.9	0.7
3ºpiso	3241.6	3219.6	0.7
2ºpiso	3241.7	3219.6	0.7
1ºpiso	4994.9	4955.4	0.8

Os valores apresentados na Tabela 4-7 e na Tabela 4-8 são relativos ao edifício tipo, com inércia térmica forte e a simulação no TRNSYS na opção de cálculo com temperatura fixa. Os valores para as perdas por ventilação e ganhos brutos não se modificam para a variante de inércia térmica média. Esta comparação foi estabelecida para evidenciar que os dados utilizados e as condições de cálculo em ambas as metodologias são idênticos.

As necessidades globais de aquecimento obtidas pelas duas metodologias para toda a estação estão descritas na Tabela 4-9 e no Gráfico 4-1. São relativas ao edifício-tipo com inércia térmica forte e o cálculo realizado no programa TRNSYS com temperatura fixa ou impedida de subir acima dos 20 ºC.

Tabela 4-9: Nic para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	33.89	30.54	9.9
3ºpiso	21.75	17.16	21.1
2ºpiso	21.87	17.16	21.5
1ºpiso	35.97	36.85	-2.5

Tabela 4-10: Nic para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	34.69	36.02	-3.8
3ºpiso	22.89	22.83	0.3
2ºpiso	23.03	22.83	0.9
1ºpiso	36.66	42.09	-14.8

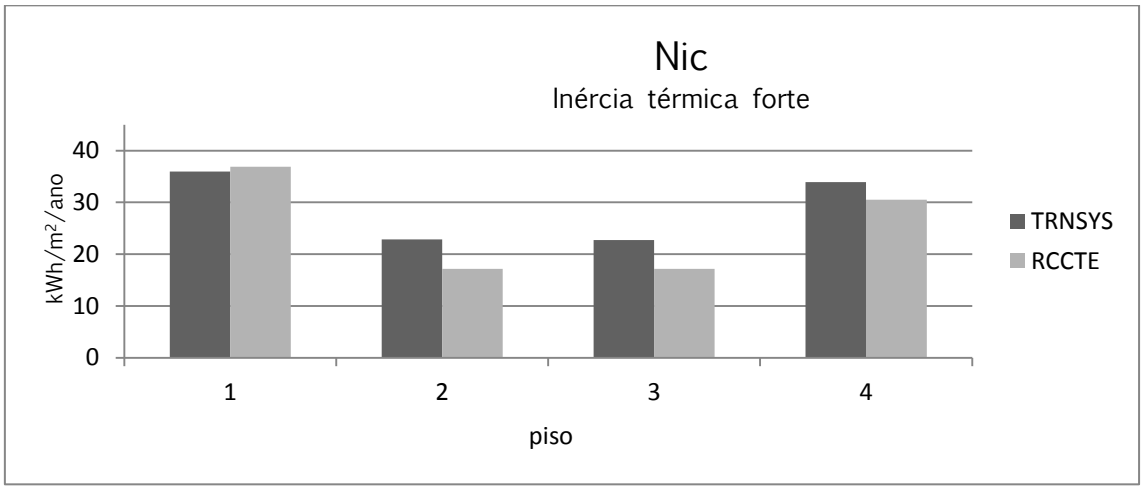


Gráfico 4-1: Nic para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa.

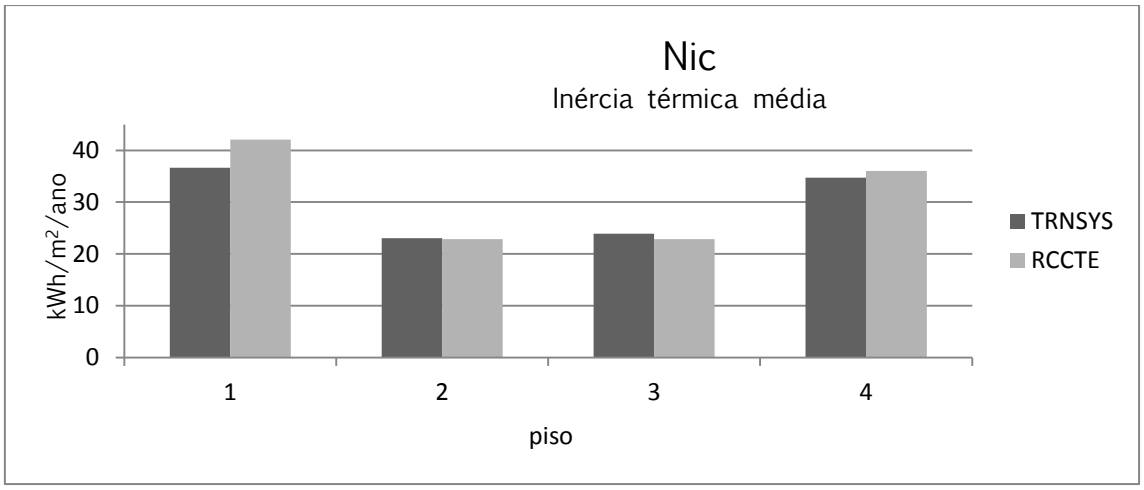


Gráfico 4-2: Nic para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa.

Apesar dos termos usados no cálculo do balanço térmico de cada fração serem idênticos, como se comprova pela leitura da Tabela 4-7 e da Tabela 4-8, o tratamento dos balanços energéticos do RCCTE (estático) e do TRNSYS (dinâmico) produzem balanços distintos que se traduzem em diferenças de 1 a 5 kWh/(m^2.ano). Estas diferenças, apesar de pequenas, acabam por representar 20 % de diferença nos pisos intermédios, em que as necessidades globais são menores.

As necessidades globais de aquecimento de toda a estação, nas mesmas condições de temperatura fixa, mas para a variante com inércia térmica média, são as apresentadas na Tabela 4-10 e no Gráfico 4-2. Quando a inércia se reduz de forte para média, nota-se que as necessidades energéticas (Nic) calculadas pelo TRNSYS sofrem apenas uma pequena variação relativamente à situação com inércia forte, (aumentado um pouco) cerca de 1 kWh/(m^2.ano). Pelo contrário, no método RCCTE a mudança do nível da inércia tem um impacto muito maior, aproximando-se os valores dos calculados pelo modelo do TRNSYS. Assim, diferenças globais entre as metodologias do RCCTE e do TRNSYS tornam-se menos significativas, como se comprova na Tabela 4-10.

Para comprovar o impacto inércia térmica nas metodologias do RCCTE e do TRNSYS, nas Tabela 4-11 e Tabela 4-12 comparam-se os resultados de cada metodologia para as diferentes inércias e para a estratégia de cálculo "temperatura fixa".

Tabela 4-11: Comparação dos valores Nic obtidos no programa TRNSYS.

TRNSYS	Inércia Forte (kWh/(m^2.ano))	Inércia Média (kWh/(m^2.ano))	Variação (%)
4ºpiso	33.89	34.69	-2.3
3ºpiso	21.75	22.89	-5.2
2ºpiso	21.87	23.03	-5.3
1ºpiso	35.97	36.66	-1.9

Tabela 4-12: Comparação dos valores Nic obtidos com a metodologia do RCCTE.

RCCTE	Inércia Forte (kWh/(m^2.ano))	Inércia Média (kWh/(m^2.ano))	Variação (%)
4ºpiso	30.54	36.02	-17.9
3ºpiso	17.16	22.83	-33.0
2ºpiso	17.16	22.83	-33.0
1ºpiso	36.85	42.09	-14.2

Admitindo que a metodologia dinâmica do TRNSYS representa melhor a realidade que o método simplificado do RCCTE, verifica-se (Tabela 4-12) que a metodologia do RCCTE parece amplificar demasiado os efeitos da inércia térmica.

4.4.1.2 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura variável"

Quando se realiza o cálculo no programa TRNSYS deixando de impedir que a temperatura possa ser superior a 20 ºC (deixando portanto de ser fixa), os valores para necessidades de aquecimento diminuem. Na Tabela 4-13 e Gráfico 4-3 apresentam-se os resultados obtidos e a comparação com a metodologia do RCCTE para inércia térmica forte.

Tabela 4-13: Nic para o edifício com inércia térmica forte sem temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	26.66	30.54	-14.6
3ºpiso	15.30	17.16	-12.2
2ºpiso	15.47	17.16	-11.0
1ºpiso	29.04	36.85	-26.9

Tabela 4-14: Nic para o edifício com inércia térmica média sem temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	27.34	36.02	-31.8
3ºpiso	16.36	22.83	-39.5
2ºpiso	16.56	22.83	-37.9
1ºpiso	29.59	42.09	-42.2

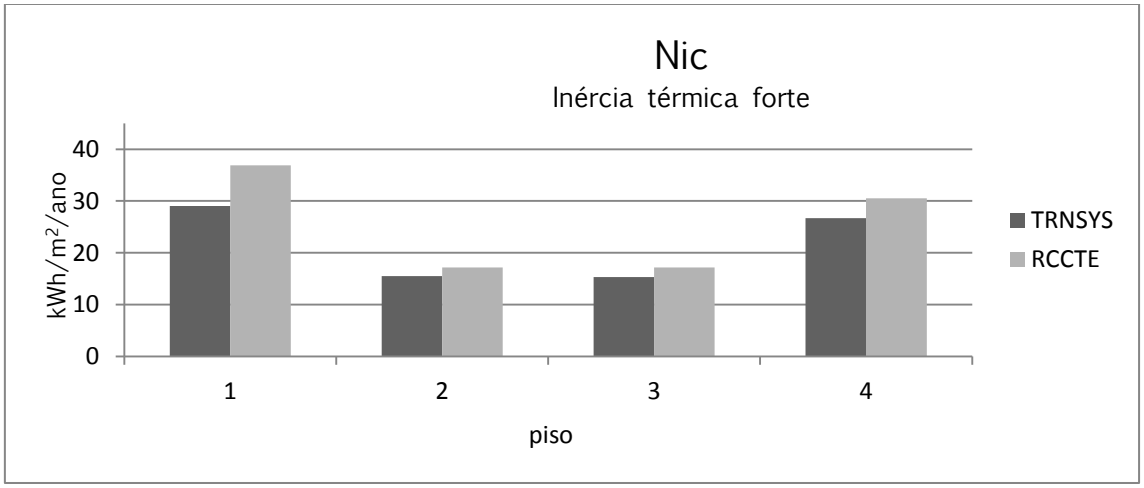


Gráfico 4-3: Nic para o edifício com inércia térmica forte sem temperatura fixa.

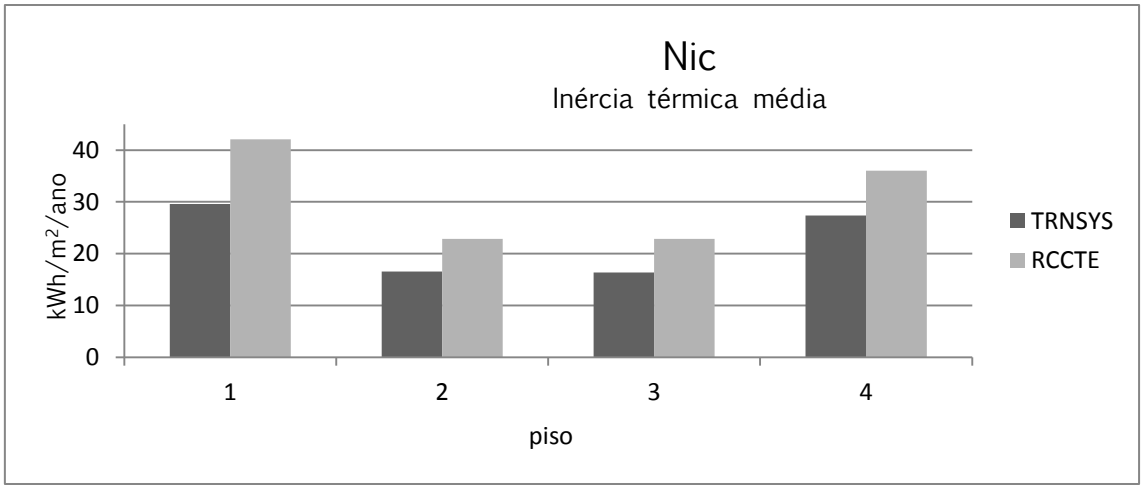


Gráfico 4-4: Nic para o edifício com inércia térmica média sem temperatura fixa.

Nesta variante de simulação, que se pode admitir ser mais próxima da realidade de funcionamento, permitindo ligeiros sobreaquecimentos no Inverno quando há mais ganhos solares ou temperaturas exteriores mais elevadas, os valores obtidos com a metodologia RCCTE são os mesmos que na estratégia "temperatura fixa", enquanto os do TRNSYS se reduzem. Isto corresponde à realidade física de um melhor aproveitamento dos ganhos internos e solares, o que confirma a hipótese anterior de que o modelo TRNSYS representa melhor a realidade que o modelo simplificado do RCCTE. As diferenças entre os resultados das duas metodologias, Tabela 4-13, acabam por ser semelhantes, em ordem de grandeza, às da Tabela 4-9, embora todas as diferenças sejam agora no sentido do TRNSYS prever sempre necessidades menores do que o RCCTE.

Fazendo também um estudo do impacto da inércia neste modelo de simulação, obtêm-se os resultados indicados Tabela 4-14 e no Gráfico 4-4.

Para avaliar o impacto da inércia nas necessidades de aquecimento, comparam-se os resultados do programa TRNSYS para as diferentes inércias na Tabela 4-15.

Tabela 4-15: Comparação das Nic obtidas no TRNSYS sem temperatura fixa.

TRNSYS	Inércia Forte (kWh/(m².ano))	Inércia Média (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	26.66	27.34	-2.6
3ºpiso	15.30	16.36	-6.9
2ºpiso	15.47	16.56	-7.0
1ºpiso	29.04	29.59	-1.9

Como as diferenças entre os resultados da simulação do TRNSYS com inércia média e forte são relativamente pequenas, o impacto da variação dos resultados com a metodologia RCCTE amplificam-se.

Os Gráficos 4-5 a 4-7 resumem os valores obtidos para as necessidades de aquecimento com as várias metodologias possíveis.

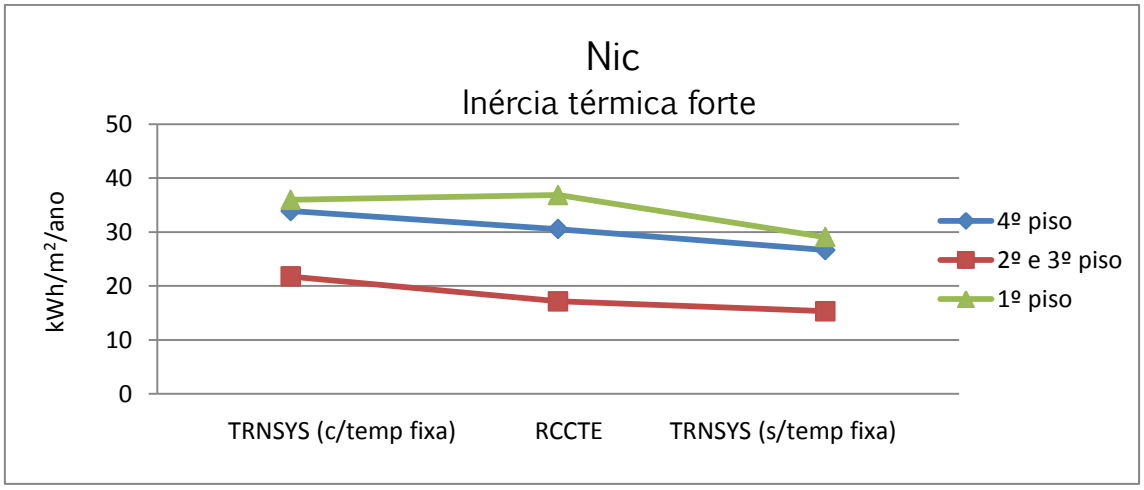


Gráfico 4-5: Nic para o edifício com inércia térmica forte.

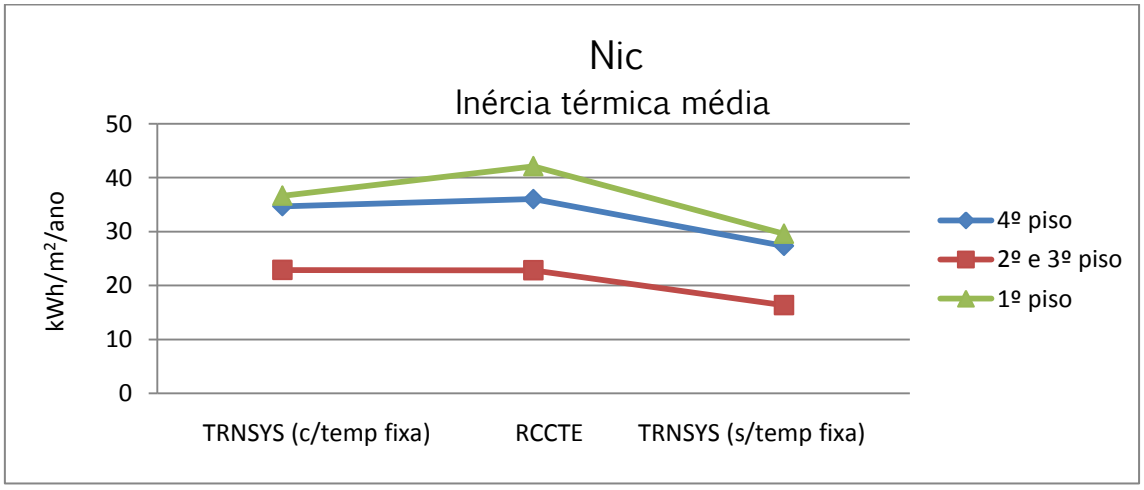


Gráfico 4-6: Nic para o edifício com inércia térmica média.

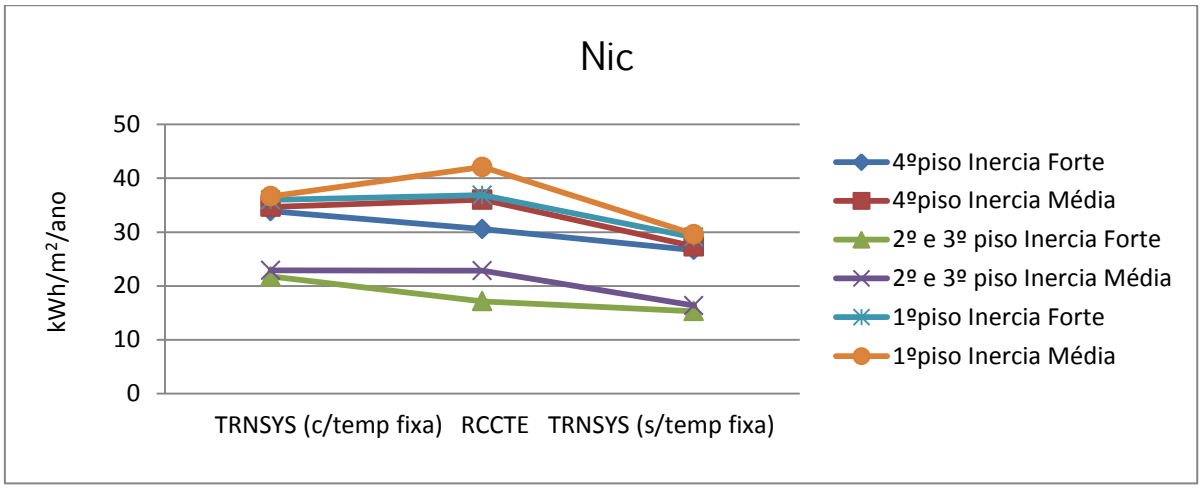


Gráfico 4-7: Comparação das Nic para todos os pisos com ambas as inércias.

Dos resultados apresentados é possível concluir o seguinte:

- Os valores das parcelas para ganhos e perdas relativas ao balanço energético calculadas pelos dois métodos, TRNSYS e RCCTE, são muito aproximados.
- Existem diferenças nas necessidades globais de energia para aquecimento (Nic) quando calculadas pelas duas metodologias. As Nic mais aproximadas verificam-se para inércia térmica média e mantendo a temperatura fixa na simulação do TRNSYS (tal como admitido no RCCTE).
- A diminuição da inércia térmica (em cerca de 50 %) não se traduz em variações significativas (2 a 6 %) das necessidades globais de aquecimento quando se utiliza o programa TRNSYS, mas, com a metodologia do RCCTE, a variação está entre os 14 e os 33 %.
- Ao permitir que a temperatura suba acima dos 20 ºC no programa TRNSYS, as Nic diminuem para ambos os níveis de inércia, o que está coerente com a física do processo. Verifica-se ainda que, para a inércia forte, as Nic obtidas pelo TRNSYS passam de valores superiores aos do RCCTE para valores inferiores, o que indica que o RCCTE, de alguma forma, com as simplificações que introduz, amplifica os efeitos de inércia em torno de um valor intermédio calculado pelo TRNSYS.

4.4.2 Estação de arrefecimento

4.4.2.1 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura fixa"

De uma forma idêntica à estação de aquecimento, durante a estação de arrefecimento o edifício tem perdas térmicas pela envolvente e ventilação, e ganhos térmicos solares e internos. Na Tabela 4-16 mostram-se os valores obtidos para perdas e ganhos, idênticos para todas as habitações (ou zonas). Os ganhos solares referem-se aos ganhos térmicos pelas janelas. As perdas térmicas pela envolvente variam por habitação (ou zona) e estão descritas na Tabela 4-17.

Tabela 4-16: Perdas e ganhos para a estação de arrefecimento.

	TRNSYS (kWh/ano)	RCCTE (kWh/ano)	Variação (%)
Perdas por ventilação	671.1	659.5	1.7
Ganhos solares brutos	1733.3	1741.2	-0.5
Ganhos Internos brutos	815.4	815.4	0.0

Tabela 4-17: Perdas pela envolvente para a estação de arrefecimento.

Perdas pela envolvente:	TRNSYS (kWh/ano)	RCCTE (kWh/ano)	Variação (%)
4ºpiso	1708.8	1663.8	2.6
3ºpiso	1243.0	1207.1	2.9
2ºpiso	1243.0	1207.1	2.9
1ºpiso	1908.6	1857.9	2.7

Os valores apresentados nas Tabelas 4-16 e 4-17 são relativos ao edifício tipo com inércia térmica forte e a simulação no TRNSYS com temperatura fixa. Os valores obtidos para as perdas por ventilação e ganhos (internos e solares) são idênticos aos obtidos para a variante de inércia térmica média.

As necessidades globais de arrefecimento obtidas pelas duas metodologias para toda a estação estão descritas na Tabela 4-19 e na Gráfico 4-9 considerando o edifício-tipo com inércia térmica forte e valores obtidos no TRNSYS para o modo "temperatura fixa", ou seja, a temperatura não toma valores inferiores a 25 ºC.

Tabela 4-18: Nvc para o edifico com inércia térmica forte e temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	11.22	9.43	16.0
3ºpiso	13.98	13.32	4.7
2ºpiso	13.95	13.32	4.5
1ºpiso	10.81	8.05	25.5

Tabela 4-19: Nvc para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	11.42	12.40	-8.6
3ºpiso	13.93	15.60	-12.0
2ºpiso	13.90	15.60	-12.3
1ºpiso	10.99	11.21	-2.0

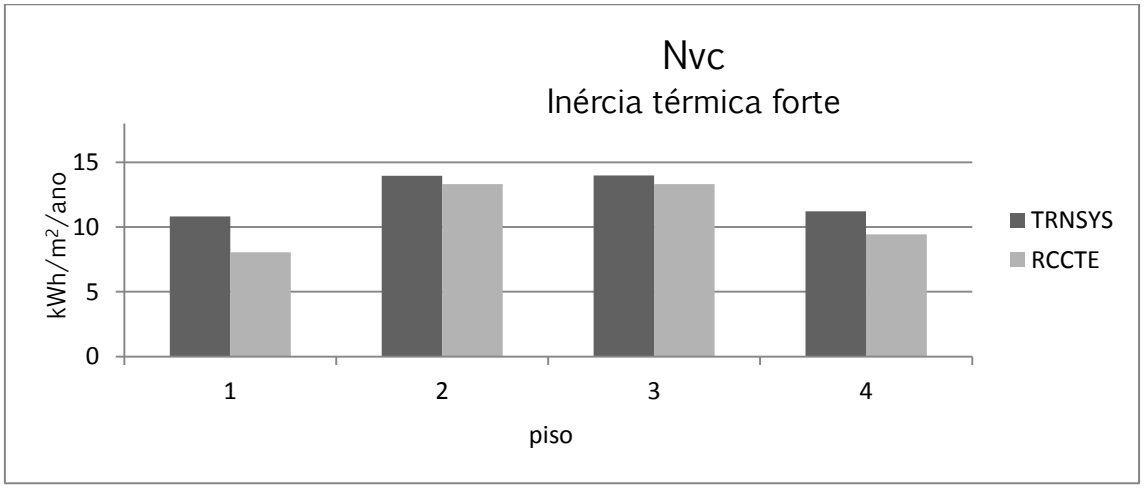


Gráfico 4-8: Nvc para o edifício com inércia térmica forte e temperatura fixa.

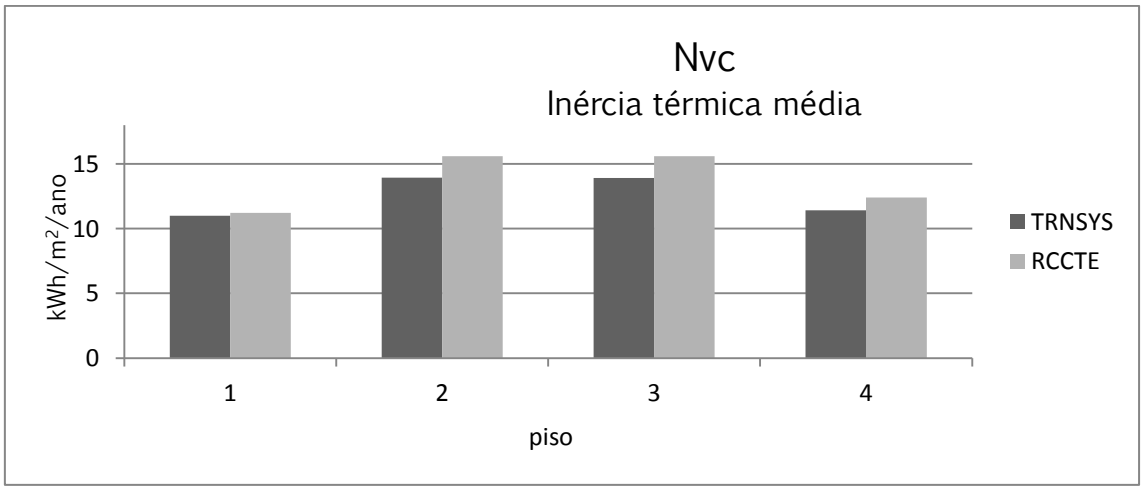


Gráfico 4-9: Nvc para o edifício com inércia térmica média e temperatura fixa.

Tal como o já verificado na estação de aquecimento, os balanços energéticos do RCCTE (estático) e do TRNSYS (dinâmico) produzem resultados ligeiramente distintos também na estação de arrefecimento, não obstante o constatado nas Tabelas 4-16 e 4-17, que mostram a proximidade dos valores parcelares. As diferenças obtidas variam entre 1 e 3 kWh/(m^2ano), que, apesar de pequenas em valor absoluto, representam uma variação de 25 % nas necessidades energéticas globais do piso inferior, onde essas necessidades são inferiores.

As necessidades globais de arrefecimento para toda a estação nas mesmas condições mas para a variante de inércia térmica média estão descritas na Tabela 4-19 e no Gráfico 4-9.

Para comprovar a importância da inércia térmica em ambas as metodologias, nas Tabelas 4-20 e 4-21 comparam-se os resultados obtidos com cada uma das metodologias para as diferentes inércias.

Tabela 4-20: Comparação dos valores Nvc obtidos no programa TRNSYS.

TRNSYS	Inércia Forte (kWh/(m^2.ano))	Inércia Média (kWh/(m^2.ano))	Variação (%)
4ºpiso	11.22	11.42	-1.8
3ºpiso	13.98	13.93	0.3
2ºpiso	13.95	13.90	0.4
1ºpiso	10.81	10.99	-1.7

Tabela 4-21: Comparação dos valores Nvc obtidos com a metodologia do RCCTE.

RCCTE	Inércia Forte (kWh/(m^2.ano))	Inércia Média (kWh/(m^2.ano))	Variação (%)
4ºpiso	9.43	12.40	-31.5
3ºpiso	13.32	15.60	-17.1
2ºpiso	13.32	15.60	-17.1
1ºpiso	8.05	11.21	-39.3

De forma idêntica ao que se verificou para a estação de aquecimento, a metodologia do RCCTE amplifica muito os efeitos da inércia térmica (Tabela 4-21), enquanto que no TRNSYS esses efeitos são quase nulos.

4.4.2.2 Estratégia de simulação do TRNSYS com a "temperatura variável"

Quando no cálculo com o programa TRNSYS se permite que a temperatura seja inferior a 25 ºC (deixando de ser fixa), os valores para necessidades de arrefecimento diminuem.

Nas Tabelas 4-22 e 4-23 apresentam-se os valores obtidos e a respetiva comparação com o RCCTE, considerando a solução de inércia térmica forte.

Tabela 4-22: Nvc para o edifício com inércia térmica forte e sem temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	7.13	9.43	-32.3
3ºpiso	10.37	13.32	-28.4
2ºpiso	10.29	13.32	-29.5
1ºpiso	6.73	8.05	-19.7

Tabela 4-23: Nvc para o edifício com inércia térmica média e sem temperatura fixa.

	TRNSYS (kWh/(m².ano))	RCCTE (kWh/(m².ano))	Variação (%)
4ºpiso	7.12	12.40	-74.2
3ºpiso	9.74	15.60	-60.2
2ºpiso	9.67	15.60	-61.4
1ºpiso	6.76	11.21	-65.8

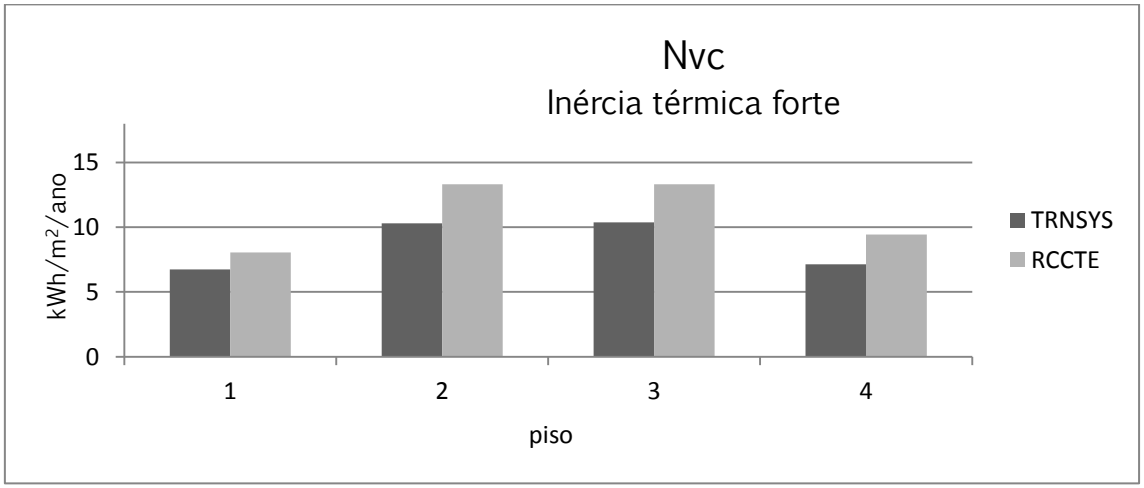


Gráfico 4-10: Nvc do edifício com inércia térmica forte e sem temperatura fixa.

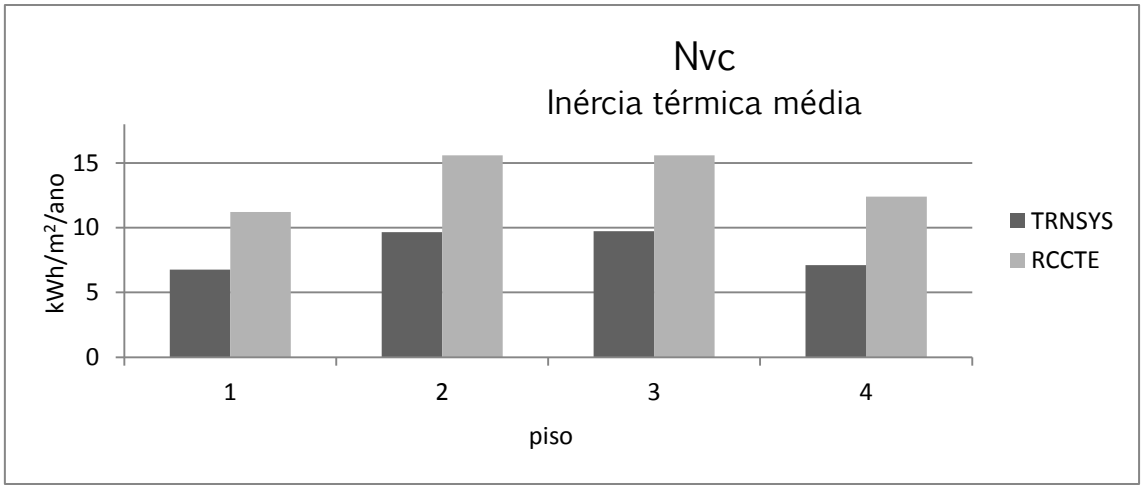


Gráfico 4-11: Nvc para o edifício com inércia térmica média e sem temperatura fixa.

Esta simulação é mais próxima da realidade, por admitir que, durante o Verão, a temperatura possa descer abaixo dos 25 ºC. Esta situação ocorre sempre que não existam ganhos solares (período noturno) e/ou baixa temperatura exterior. As diferenças entre as duas metodologias agravam-se um pouco no caso da inércia média. O TRNSYS prevê sempre necessidades energéticas inferiores ao método aproximado do RCCTE.

Estudando o impacto da variação da inércia obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 4-23 e no Gráfico 4-11.

Os Gráficos 4-12 a 4-14 resumem os valores obtidos para as necessidades de arrefecimento.

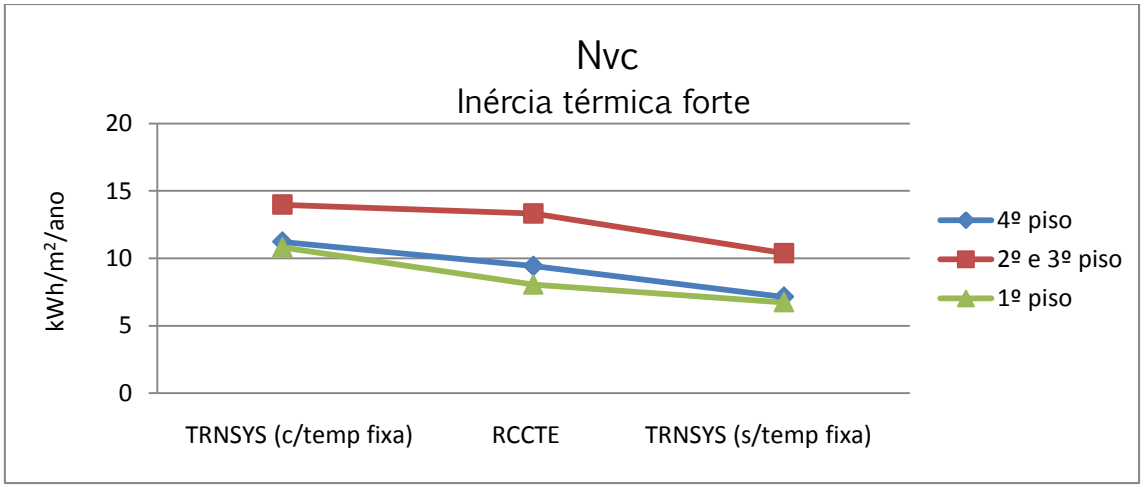


Gráfico 4-12: Nvc para o edifício com inércia térmica forte.

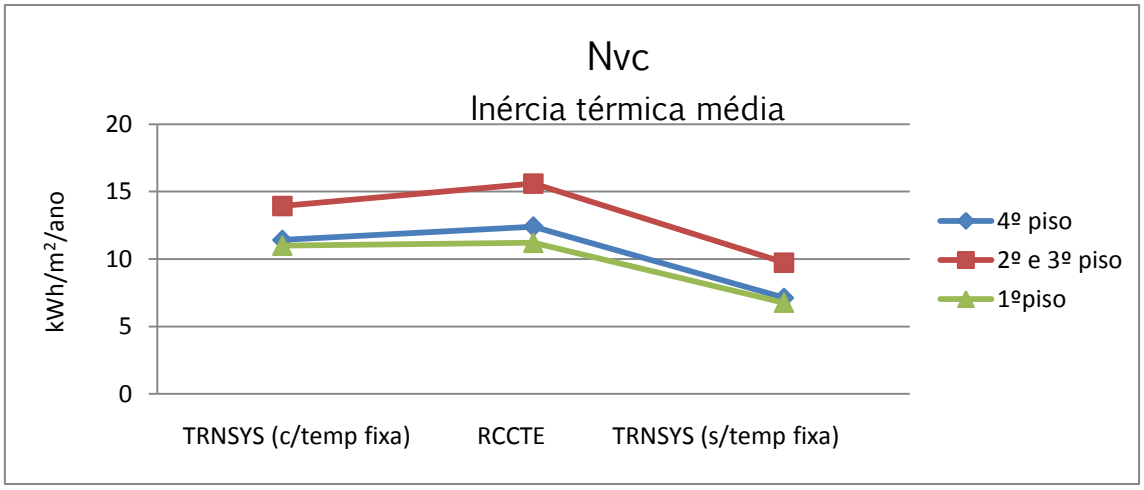


Gráfico 4-13: Nvc para o edifício com inércia térmica forte.

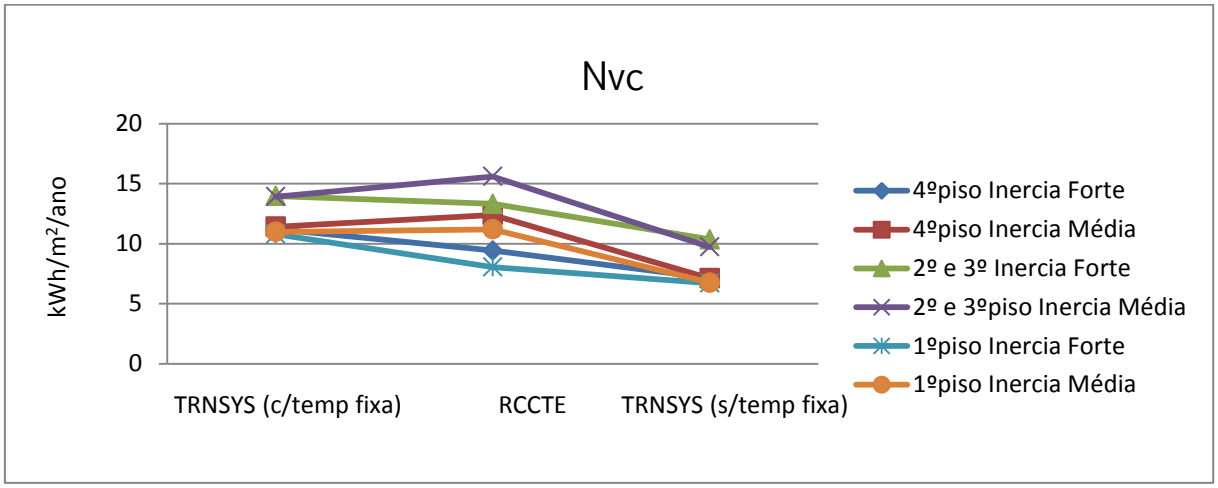


Gráfico 4-14: Comparação das Nvc para todos os pisos com ambas as inércias.

Dos Gráficos 4-12 a 4-14 pode-se concluir que o RCCTE e o TRNSYS com "temperatura fixa" produzem resultados mais próximos e que se podem aceitar como comparáveis para estudos futuros, qualquer que seja a inércia.

Dos resultados apresentados é ainda possível concluir o seguinte:

- Os valores das parcelas para ganhos (solares e internos) e perdas (ventilação e envolvente) calculados pelos dois métodos TRNSYS e RCCTE são muito aproximados.
- Existe uma variação nas necessidades globais energéticas para arrefecimento (Nvc) entre as duas metodologias. As Nvc mais próximas verificam-se para a inércia térmica média e a temperatura fixa, tal como o cálculo do Nic.

- As necessidades globais de arrefecimento (Nvc) calculadas no TRNSYS têm uma variação baixa (entre 0.5 e 1.6 %) com a diminuição da inércia térmica. No entanto, quando a temperatura não é fixa pode verificar-se uma variação um pouco superior (até 6 %), devido à atuação dos efeitos da "massa de armazenamento térmico".
- Ao permitir que a temperatura desça abaixo dos 25 ºC deixando de fixar a temperatura, as Nvc calculadas com o programa TRNSYS diminuem para ambas as inércias, o que está coerente com o processo físico. Para a inércia forte, passam também de valores superiores aos do RCCTE para valores inferiores, tal como o verificado para a estação de aquecimento.

4.4.3 Discussão dos resultados

O programa TRNSYS e a metodologia do RCCTE não utilizam o mesmo modelo para o cálculo das necessidades globais de energia para aquecimento e arrefecimento em edifícios. Tal como já foi descrito, o TRNSYS utiliza o método dinâmico das funções de transferência, que contabiliza o efeito da inércia térmica e integra todos os efeitos (condução, ventilação, ganhos solares, etc.), enquanto que o RCCTE faz um balanço das transferências de calor individuais por cada mecanismo sem contabilizar as respetivas interações.

No estudo realizado, foram efetuadas comparações entre os valores parciais de cada parcela de cálculo para verificar que as condições estabelecidas eram idênticas em ambas as metodologias. Todos os resultados parcelares obtidos mostram grande aproximação, com diferenças inferiores a 3 %. É assim possível assegurar que foram garantidas as mesmas condições de cálculo dos termos parcelares necessários para o cálculo das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento segundo ambas as metodologias.

A diminuição da inércia térmica (em cerca de 50 %) provoca um aumento nas necessidades de aquecimento e de arrefecimento de 14 % a 33 %, respetivamente, quando calculadas pelo RCCTE. A variação não é constante, o que é espectável porque as curvas empíricas do fator de utilização dos ganhos térmicos para as

diferentes inércias térmicas não apresentam intervalos constantes. A mesma diminuição na inércia térmica não origina aumentos tão significativos das necessidades quando utilizado o programa TRNSYS, verificando-se um agravamento máximo de 7 %.

Com o objetivo de permitir que o programa TRNSYS traduzisse melhor a realidade e, portanto, os efeitos da inércia térmica, fizeram-se também simulações nas quais se permitia que a temperatura de Inverno ultrapassasse os 20 ºC e de Verão tomasse valores inferiores a 25 ºC. Os valores obtidos, quando comparados com o RCCTE, mostram diminuições das necessidades de aquecimento entre 2 % a 7 % e uma diminuição inferior a 6 % das necessidades de arrefecimento. O programa TRNSYS, cuja metodologia de cálculo é mais precisa e credível, não amplifica o efeito da inercia térmica tal como o faz a metodologia do RCCTE (2006).

A ponderação sobre a relação entre o grau de confiança das previsões das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento e a inércia térmica não é nova. Existem estudos que se debruçaram sobre a resposta do método das funções de transferência, utilizadas no programa TRNSYS, face a edifícios de muito elevada inércia e que se encontram com mais frequência nas zonas do mediterrâneo. Os referidos estudos propõem novos coeficientes para o mesmo método, e apresentam um programa computacional capaz de calcular o balanço térmico de uma zona. O objetivo dos trabalhos referidos é o de melhorar a confiança nos resultados independentemente da inércia (Beccali et al., 2001, Beccali et al., 2005a, Beccali et al., 2005b). Portanto, do exposto, nenhuma das duas metodologias pode ser considerada totalmente correta. O TRNSYS apresenta alguma limitação quanto à previsão do comportamento dos edifícios com inércias mais elevadas.

No estudo do comportamento térmico do edifício-tipo quando inserido num cenário de malha urbana optou-se, no entanto, por utilizar o programa TRNSYS, porque as diferenças apresentadas não constituem obstáculo, já que para a dimensão em causa - escala urbana, não têm significado e não contrariam as possíveis opções no sentido da eficiência energética. Relativamente às condições de funcionamento do edifício, optou-se pela solução de inércia térmica forte por corresponder à realidade construtiva nacional e à modelação com temperatura variável pois esta é a mais próxima da realidade e a que melhor traduz o fenómeno em estudo.

4.5 Simulação térmica do edifício-tipo em ambiente urbano

4.5.1 Estudos realizados

O estudo do comportamento térmico do edifício-tipo inserido num ambiente urbano, ou seja rodeado por edifícios, realizou-se para os cenários apresentados no capítulo anterior e para valores de índice de utilização do solo (I_u) compreendidos entre 0.3 e 1.7. As configurações das malhas urbanas estão descritas no capítulo anterior e resumidas na Figura 4-5. O clima utilizado neste estudo foi, tal como até aqui, o clima do Porto.

Tal como o apresentado no capítulo anterior, a dimensão do terreno que envolve o edifício-tipo e os afastamentos entre os edifícios (W_1 e W_2) dependem do I_u e da disposição dos mesmos.

4.5.1.1 Condições de sombra entre edifícios

O programa TRNSYS, utilizado para o estudo do comportamento térmico do edifício-tipo, não considera as sombras que os edifícios circundantes do edifício-tipo provocam neste. O programa possui um componente ou *type* (Type 16) que calcula, em função da latitude e da longitude, a posição do Sol através dos ângulos zénite e azimute correspondentes. A determinação dos ângulos é feita hora a hora e para todo o período da simulação, ou seja um ano.

As quatro fachadas (N, E, S e O) do edifício podem ser parceladas pelas zonas (e níveis) que compõem o edifício, Figura 4-4. Utilizando a posição do Sol e os ângulos azimute inicial/final e zénite entre edifícios, relativos à sombra que cada edifício circundante (Figura 3-15) do edifício-tipo faz sobre a fachada do edifício em estudo, definiram-se as condições de sombreamento. Os ângulos azimute inicial/final e zénite entre edifícios foram calculados no capítulo anterior, para todos os casos de malha estudados, encontrando-se um caso descrito na Tabela 3-17 e todos os restantes no Anexo B.

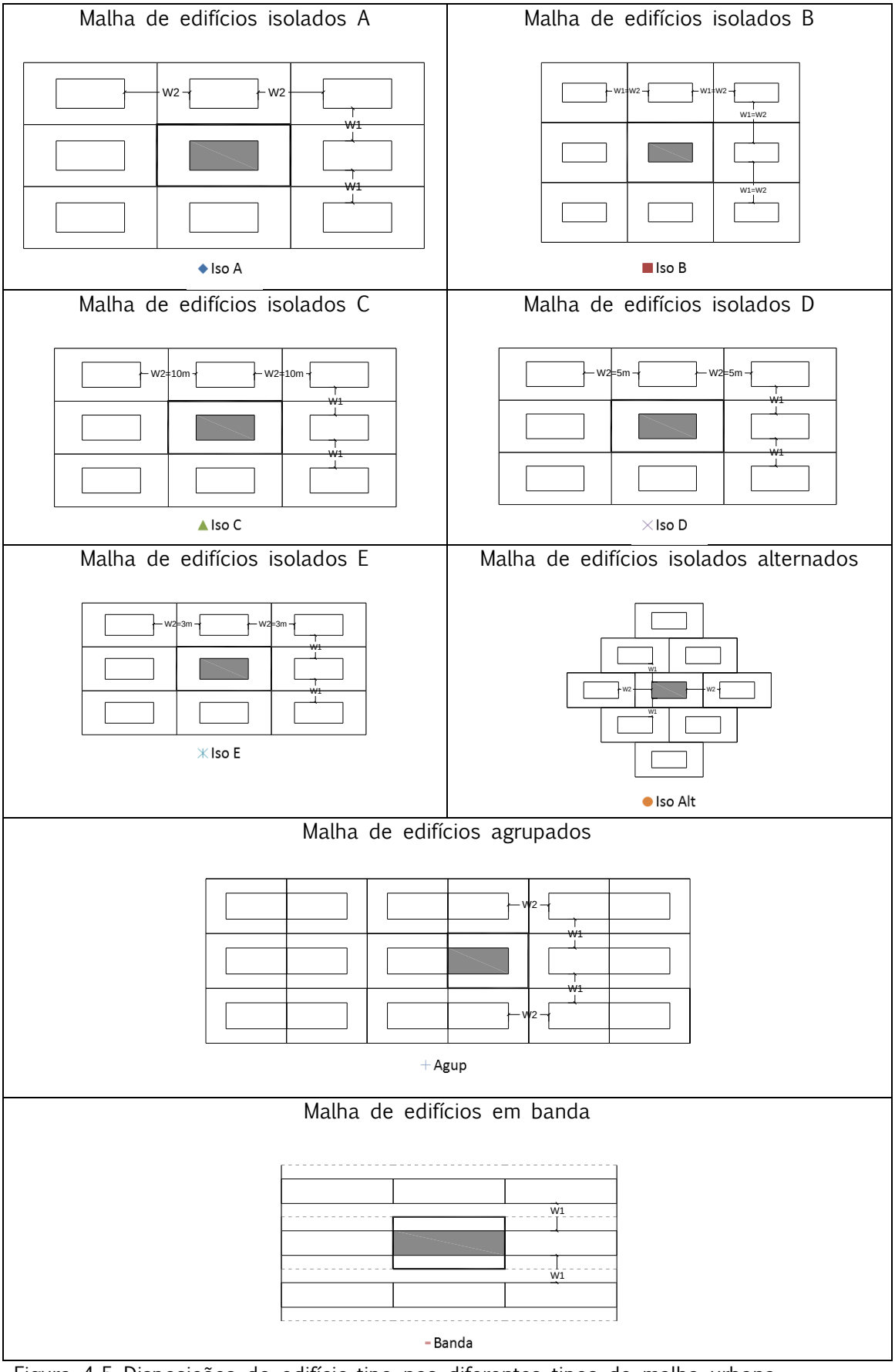


Figura 4-5 Disposições do edifício-tipo nos diferentes tipos de malha urbana

As condições de sombreamento, apresentadas mais à frente, são expressões lógicas para identificar hora a hora se a parcela de fachada está ou não à sombra.

O Type 56, utilizado para realizar a simulação do comportamento térmico do edifício, necessita de dados climáticos, os quais incluem a radiação global (IT) e a radiação direta (IB) nas várias orientações e designadas por: IBN, IBE, IBS e IBO. Foram definidas equações com condições de sombreamento e inseridas num Type Equations adaptado para o efeito e designado por Type Equa-Sombra. O Type Equa-Sombra tem como dados (*inputs*), a posição do Sol (*outputs* do Type 16) e a radiação direta e total (*outputs* do Type 9). As saídas (*outputs*) do Type Equa-Sombra são a radiação global e direta, devidamente condicionadas à incidência de Sol ou à existência de sombra e constituem dados (*inputs*) do Type 56. Sempre que a parcela da fachada está ao Sol o Type Equa-Sombra fornece ao Type 56, tal como o previsto pelo programa, radiação global e direta, mas quando se verifica que a parcela da fachada está à sombra, o Type 56 recebe apenas radiação difusa.

Foram utilizadas as seguintes equações para calcular a IBS e a ITS sobre cada parcela da fachada voltada a Sul:

$$IBSx = IBS + \sum(-\mathbf{f}(\text{azimute inicial, azimute final, zénite})IBS) \quad (4.11)$$

$$ITSx = ITS - IBSx + IBS \quad (4.12)$$

Nas quais:

IBSx – radiação direta na direção Sul para a parcela de fachada x

IBS - radiação direta na direção Sul

ITSx - radiação global na direção Sul para a parcela de fachada x

ITS - radiação global na direção Sul

f(azimute inicial, azimute final, zénite) - expressão logica que traduz a condição de sombra, toma o valor 1 sempre que é verdadeira (superfície à sombra) e o valor 0 sempre que é falsa (a superfície recebe Sol).

A expressão logica utilizada foi a seguinte:

GT(AZB, azimute inicial)*LT(AZB, azimute final)*GT(ZEN, zénite)

Onde:
AZB - valor horário do azimute solar calculado pelo Type 16.
ZEN - valor horário do zénite solar calculado pelo Type 16.
azimute inicial e azimute final - valores definidos pelo utilizador para a parcela da fachada à sombra tal como o apresentado no Capítulo 3 (Tabela 3-17 e Anexo B).
zénite - valor definido pelo utilizador para a parcela da fachada à sombra tal como os azimutes.
GT – função do programa que compara os dois valores seguintes, toma o valor 1 sempre primeiro valor é maior que o segundo e 0 quando não é.
LT – função idêntica à anterior, mas a comparação é substituída por menor.

Em seguida, exemplifica-se o exposto apresentando a expressão completa utilizada para definir a radiação direta sobre a fachada Sul da zona 1 no nível 1, para o edifício em estudo situado numa malha de edifícios isolados A com I_u=0.3. Os valores dos ângulos azimute inicial e final e zénite dos três edifícios que provocam sombra, encontram-se na Tabela 3-17:

IBS1 = IBS – GT (AZB, 105) * LT (AZB, 116) * GT (ZEN, 82) * IBS
– GT (AZB, 148) * LT (AZB, 192) * GT (ZEN, 68) * IBS
– GT (AZB, 240) * LT (AZB, 253) * GT (ZEN, 81) * IBS (4.13)

A primeira parcela reflete a condição de sombra relativa ao edifício EDF 4, a segunda ao edifício EDF 5 e a terceira ao edifício EDF 6 de acordo com a Figura 3-15, página 55. Os restantes edifícios não provocam sombra nesta fachada.

O Type Equations tem limites quanto ao número de variáveis por expressão e ao número de expressões que aceita, mas é possível estabelecer condições de sombra até doze pisos em edifícios isolados e dezasseis pisos em edifícios em banda. Em Portugal, não é usual a construção de edifícios com doze ou mais pisos, ficando

portanto este estudo pelos doze pisos para os edifícios isolados e dezasseis para os edifícios em banda.

Para testar a fiabilidade da simulação térmica com as condições de sombreamento criou-se uma malha com edifícios isolados na disposição A, para um índice de utilização do solo muito baixo, I_u=0.01. Este valor de I_u não origina quaisquer sombras no edifício em estudo devido ao grande afastamento entre edifícios, cerca de 182 m. O cálculo das necessidades globais de aquecimento e de arrefecimento, utilizando as condições de sombra para este índice de utilização do solo, permite comparar com os resultados iniciais e verificar se, tal como esperado, estes são iguais. Os valores do afastamento entre edifícios para este índice estão no Anexo A e os ângulos utilizados estão no Anexo B. As Tabelas 4-24 e 4-25 mostram os resultados obtidos para as necessidades globais de aquecimento e de arrefecimento nas condições descritas.

Tabela 4-24: Nic com e sem condições de sombra.

Nic kWh/(m².ano)	s/sombra	sombra p/ I_u=0.01 Zona 1	Zona 2
4ºpiso	26.7	26.6	26.6
3ºpiso	15.3	15.3	15.3
2ºpiso	15.5	15.4	15.5
1ºpiso	29.0	28.9	28.9
Média	21.6	21.6 kWh/(m².ano)	

Tabela 4-25: Nvc com e sem condições de sombra.

Nvc kWh/(m².ano	s/sombra	sombra p/ I_u=0.01 Zona 1	Zona 2
4ºpiso	7.1	7.2	7.2
3ºpiso	10.4	10.4	10.4
2ºpiso	10.3	10.3	10.4
1ºpiso	6.7	6.7	6.8
Média	8.6	8.7 kWh/(m².ano)	

As Tabelas 4-24 e 4-25 comparam os resultados obtidos sem qualquer condição de sombra (1ª coluna) com os resultados obtidos para cada zona (2ª e 3ª colunas), utilizando as condições de sombra relativas a um I_u de 0.01, que não origina sombra. Os resultados apresentados estão descriminados pelas duas zonas de cada piso. Esta comparação permite observar que os resultados são idênticos e que as condições de sombra estabelecidas são adequadas.

4.5.1.2 Resultados das simulações para os diferentes cenários

Utilizando o programa TRNSYS, com as condições de sombra que simulam a presença dos edifícios circundantes, foi estudado o comportamento térmico do edifício-tipo para os cenários de malha urbana resumidos na Figura 4-4 e para valores de I_u entre 0.3 e 1.1 nos cenários de isolado e agrupado e até 1.7 no cenário em banda.

A seguir apresentam-se os resultados da simulação térmica obtidos. Os valores estão expressos em kWh/(m^2ano), referem-se à média de todas as zonas do edifício-tipo em estudo (com 4 pisos) e são relativos às necessidades globais da estação aquecimento (Nic) da estação de arrefecimento (Nvc) e anuais (Ntc). As necessidades anuais de energia primária (Ntc) resultam da soma ponderada das necessidades nominais da energia útil para aquecimento e arrefecimento e foram calculadas utilizando a seguinte expressão:

$$\text{Ntc} = \frac{\text{Nic}}{\eta i} F_{pu} + \frac{\text{Nvc}}{\eta v} F_{pu} \quad (4.14)$$

Onde ηi e ηv representam a eficiência nominal dos equipamentos utilizados nos sistemas de aquecimento e arrefecimento respetivamente. Os valores utilizados foram 0.87 para ηi, correspondente a uma caldeira a gás, e 3 para ηv, correspondente a uma bomba de calor. O F_{pu} é o fator de conversão entre energia final e energia primária e, de acordo com o Despacho nº 15796-D/2013 de 3 de Dezembro, os valores a considerar são 1 kWh_{EP}/kWh para os combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e 2.5 kWh_{EP}/kWh para a eletricidade.

O Gráfico 4-15 apresenta os resultados obtidos para a estação de aquecimento. Os resultados detalhados por zona encontram-se no Anexo J.

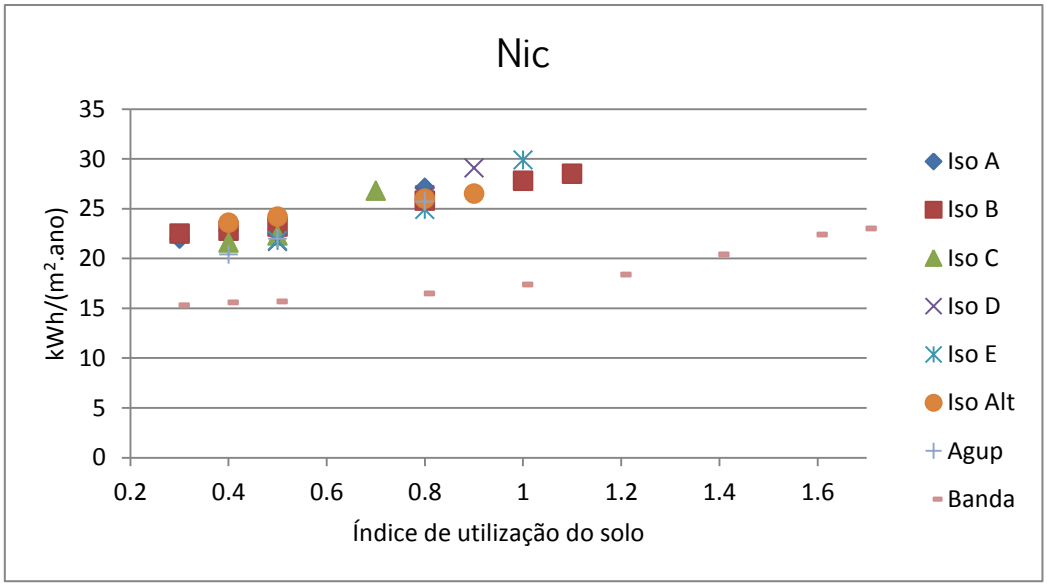


Gráfico 4-15: Valores das Nic médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7.

Nos resultados obtidos é notória a diferença das necessidades energéticas médias do edifício para a estação de aquecimento, entre a configuração em banda e todas as outras configurações de cenário da malha urbana. É ainda significativa a quase igualdade das Nic do edifício nos diversos cenários de edifícios isolados (Iso A/B/C/D/E e Alt) e a proximidade destes com o cenário de edifícios agrupados (Agup).

Verifica-se ainda que é para os menores índices de utilização que as necessidades energéticas de aquecimento são mais baixas, independentemente do cenário.

O valor da Nic mais elevado para a configuração em banda é de 23.0 kWh/(m^2.ano) para I_u=1.7 e o mais baixo é de 15.3 kWh/(m^2.ano) para I_u=0.3. Nas restantes configurações o valor mais baixo das Nic é de 20.4 kWh/(m^2.ano) para edifícios agrupados com I_u=0.4.

O Gráfico 4-16 apresenta os resultados obtidos para a estação de arrefecimento. Os resultados detalhados por zona encontram-se no Anexo J.

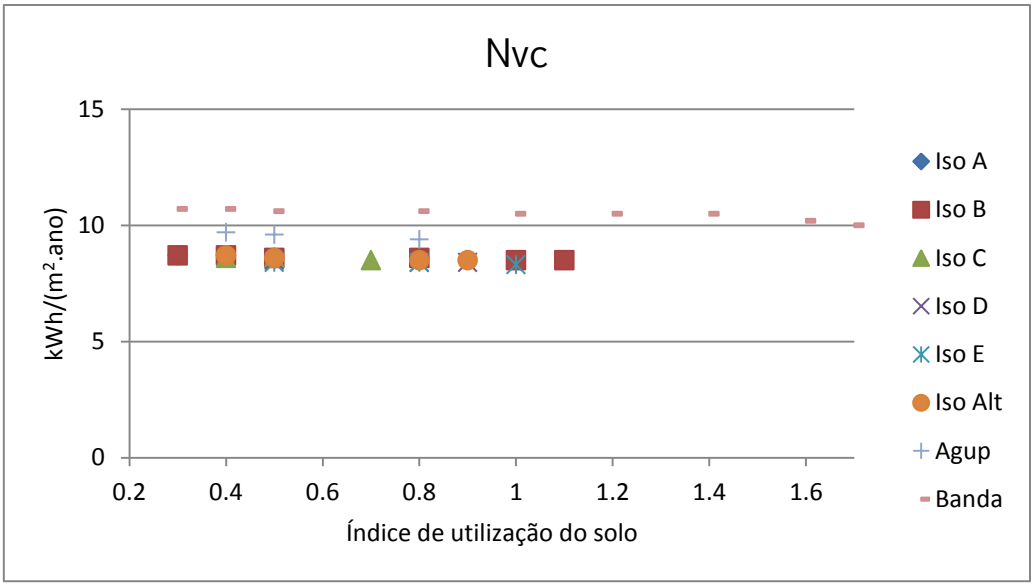


Gráfico 4-16: Valores das Nvc médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7.

Os valores obtidos para as Nvc são globalmente mais baixos que os obtidos para as Nic e diminuem muito ligeiramente com o aumento do I_u, contrariamente ao que sucedia para as Nic. A diferença entre as Nvc das diversas configurações é muito baixa, sendo as Nvc da configuração do edifício em banda ligeiramente superiores.

As Nvc mais baixas são de 8.3 kWh/(m^2.ano) para edifícios isolados na configuração E quando o I_u é de 1.0. As Nvc mais elevadas tem o valor de 10.7 kW/(m^2.ano) para os edifícios em banda com I_u de 0.3.

O Gráfico 4-17 mostra os resultados obtidos em kWh/(m^2.ano) de energia primária, calculados de acordo com a expressão (4.14). Tal como nos gráficos anteriores os valores correspondem ao valor médio de todas as zonas do edifício-tipo.

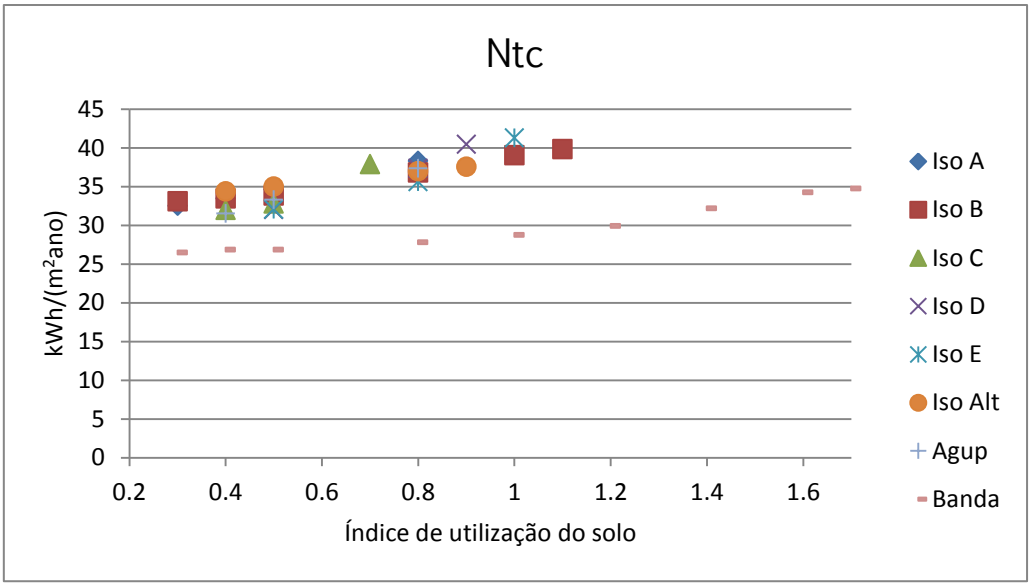


Gráfico 4-17: Valores das Ntc médias do edifício-tipo nos vários cenários de malha e para I_u entre 0.3 e 1.7.

Os resultados obtidos para as Ntc mostram que a configuração mais eficaz em termos anuais é a configuração em banda, para qualquer I_u. Todas as restantes configurações apresentam resultados superiores e próximos entre si. Para este clima, as Ntc seguem a distribuição das Nic, ou seja, aumentam com o aumento do I_u. A inversão na distribuição dos resultados ocorrida nas Nvc não é suficientemente elevada para modificar as Ntc.

A diferença entre as Ntc da configuração em banda e as restantes aumenta com o aumento do I_u. O valor mais baixo é de 26.5 kWh/(m^2.ano) para a configuração em banda com I_u=0.3 e o valor mais baixo das restantes configurações para este I_u é de 32.5 kWh/(m^2.ano). Quando I_u=1 as Ntc da configuração em banda são de 28.8 kWh/(m^2.ano) e para os isolados B são de 39.0 kWh/(m^2.ano). A diferença, entre a configuração em banda e a melhor das restantes sobe de 23 % para 35 % quando o I_u sobe de 0.3 para 1.0.

A configuração em banda, além de permitir atingir índices de ocupação do solo mais elevados, possibilita que as Ntc desses índices sejam próximas das Ntc obtidas com índices baixos em qualquer outra configuração, isto porque:

- Edifícios em banda com I_u=1.7 apresentam Ntc=34 kWh/(m^2.ano).
- Edifícios isolados A ou B com I_u=0.3 apresentam Ntc=33 kWh/(m^2.ano).

Ou seja, é possível aumentar a área de construção em 5.6 vezes num mesmo terreno, sem aumentar as necessidades energéticas globais anuais médias por metro quadrado dessa construção, bastando mudar a configuração de edifício isolado para edifício em banda.

Apesar dos vários cenários de edifícios isolados corresponderem a diferentes opções para as distâncias entre edifícios, não existem diferenças significativas nos resultados obtidos para as várias configurações. A configuração de isolados B é a que permite atingir índices de ocupação do solo mais elevados e, por este motivo, foi esta a utilizada doravante para representar a configuração de isolados.

4.5.1.3 Estudos realizados com modificações do edifício-tipo

Com o objetivo de compreender melhor os resultados obtidos com o edifício-tipo nos diferentes cenários de malha urbana e a eliminar os cenários/edifícios que conduzem a resultados similares, realizaram-se estudos nos quais algumas das características do edifício-tipo foram modificadas.

4.5.1.3.1 Alteração da fachada lateral no edifício agrupado

Verificou-se uma grande proximidade entre as Ntc dos edifícios isolados e as Ntc para os edifícios agrupados (três frentes: fachada principal, fachada posterior e empena lateral). Para melhor compreender este fenómeno e verificar se o edifício agrupado é ou não uma alternativa aos edifícios isolado e em banda, realizaram-se alterações no edifício-tipo.

A modificação introduzida no edifício agrupado foi a de aumentar a espessura do isolamento térmico da empena lateral até baixar os coeficientes de transmissão térmica (Ul) de 0.41 W/(m^2ºC), definido como valor de referência para todas as paredes exteriores, para 0.2 e para 0.1 W/(m^2ºC). Esta alteração visa tornar as trocas

(ganhos e/ou perdas) com o exterior através da empena lateral muito reduzidas, quase nulas.

O Gráfico 4-18 compara os resultados obtidos para os edifícios isolados (configurações A, B, C e Alt), os edifícios em banda e os agrupados sem modificação (Agup), com os resultados obtidos para os edifícios agrupados com a empena lateral mais isolada (Agup Ul=0.2 W/(m²ºC) e Agup Ul=0.1 W/(m²ºC)). Os valores detalhados encontram-se no Anexo J.

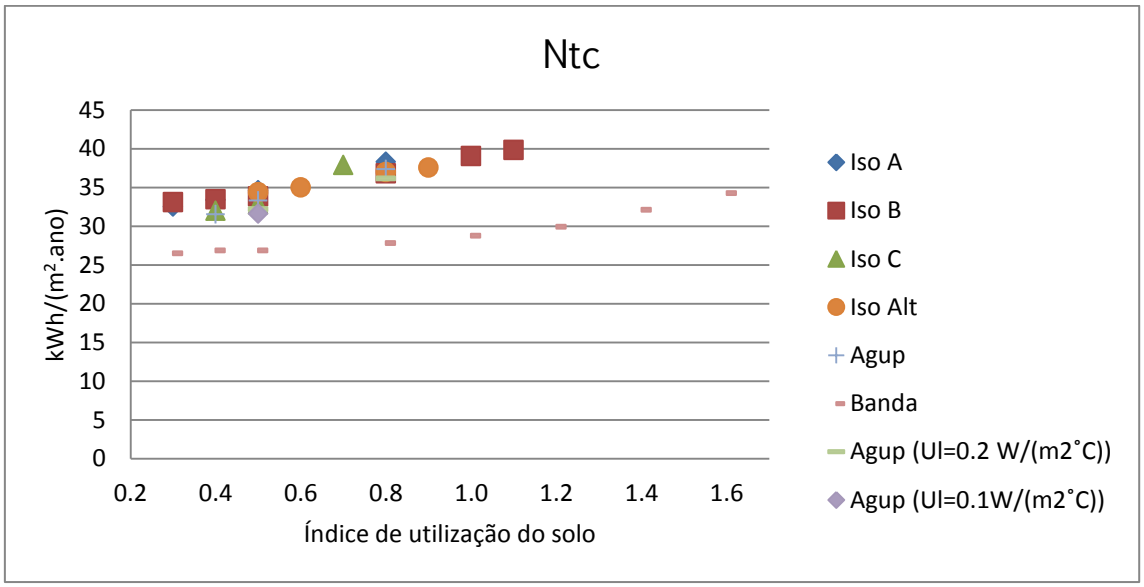


Gráfico 4-18: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, nos vários cenários de malha urbana, com variantes na empena lateral dos edificios agrupados.

Os resultados obtidos mostram que necessidades energéticas para condicionamento do edifício agrupado, quando a empena lateral tem um coeficiente de transmissão térmica (Ul) muito baixo, são cerca de 3 % inferiores às do edifício agrupado com U de referência e apenas 5 % inferiores às do edifício isolado com U de referência.

As Ntc do edifício agrupado com a empena lateral mais isolada termicamente mantém-se 16 % acima das Ntc do edifício em banda.

Para o mesmo índice de utilização do solo (I_u) o reforço do isolamento térmico na empena lateral do edifício agrupado melhora o desempenho térmico deste, mas

não de forma significativa. A diminuição do Ul para valores inferiores aos considerados também não produzirá efeitos significativos.

Para interpretar os resultados obtidos é necessário estabelecer, para além da já feita, uma outra forma de comparação destes. Na comparação das Ntc pelo afastamento entre os edifícios é possível verificar a igualdade de resultados entre as Ntc dos edifícios agrupados de Ul baixo com as Ntc dos edifícios em banda, Gráfico 4-19.

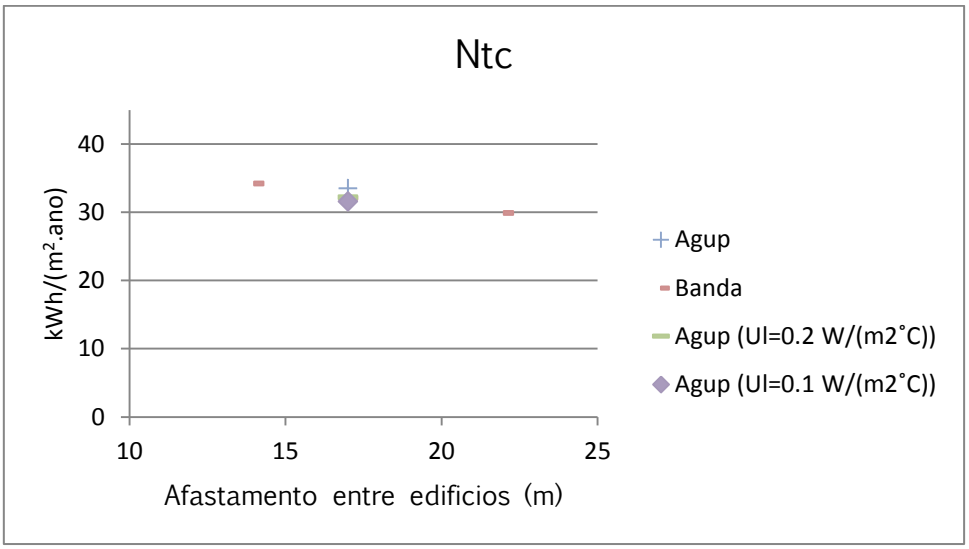


Gráfico 4-19: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, na configuração em banda e agrupado com variantes na empena lateral.

Verifica-se que, para o mesmo afastamento entre edifícios (Tabelas 3-15 e 3-16), os agrupados têm um comportamento térmico idêntico aos em banda. Os valores expressos nos Gráficos 4-18 e 4-19 são os seguintes:

- Nos edifícios em banda

Com afastamento de 14.4 m (I_u=1.6), Ntc=34.2 kWh/(m².ano).

Com afastamento de 17.8 m (I_u=1.4), Ntc=32.1 kWh/(m².ano).

Com afastamento de 22.4 m (I_u=1.2), Ntc=29.9 kWh/(m².ano).

- Nos edifícios agrupados

Com afastamento de 17.6 m (I_u=0.5), Ntc=33.3 kWh/(m².ano).

Com afastamento de 17.6 m (I_u=0.5) e Ul=0.2 W/(m²ºC), Ntc=32.1 kWh/(m².ano).

Com afastamento de 17.6 m (I_u=0.5) e Ul=0.1 W/(m²ºC), Ntc=31.6 kWh/(m².ano).

Este estudo permite concluir que edifício agrupado não constitui uma alternativa aos outros edifícios. As razões são as seguintes:

1. Para o mesmo valor de índice de utilização do solo, o seu comportamento é idêntico ao do edifício isolado, mesmo quando a empena lateral está mais isolada termicamente que a restante parede exterior.
2. Para as mesmas condições de afastamento, o edifício agrupado tem comportamento térmico idêntico ao do edifício em banda. Para os edifícios agrupados, os ganhos solares têm mais influência no seu comportamento térmico do que a redução (quase eliminação) das perdas térmicas pela empena lateral.

4.5.1.3.2 Alteração da fachada do edifício isolado

O segundo estudo com modificações ao edifício-tipo destinou-se a analisar comparativamente o comportamento térmico do edifício isolado com o do edifício em banda, quando se baixa o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores (U_{pext}) do edifício isolado, por aumento do isolamento térmico.

Estudou-se o comportamento térmico do edifício isolado, para diferentes I_u, nos quais a parede exterior tem um coeficiente de transmissão térmico baixo (U_{pext}=0.2 W/(m^2 ºC)) de cerca de metade do inicial.

Os Gráficos 4-20, 4-21 e 4-22 mostram os resultados obtidos para as Nic, Nvc e Ntc médias dos edifícios, por índice de utilização do solo. Os resultados detalhados por zona de cada edifício encontram-se no Anexo J.

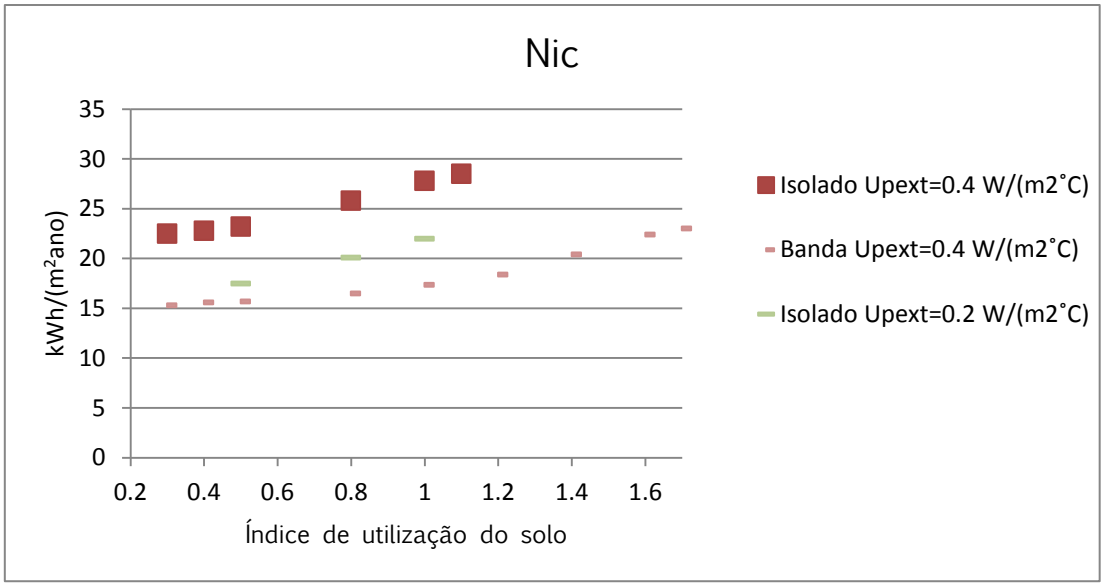


Gráfico 4-20: Valores das Nic médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7.

Os edifícios isolados têm as Nic médias sempre mais elevadas que os edifícios em banda. A diferença entre as configurações aumenta com o aumento do I_u. Para o I_u mais baixo calculado verifica-se uma aproximação das Nic para edifício em banda (Nic=15.7 kWh/m^2.ano) e o edifício isolado com U_{pext}=0.2 W/(m^2 ºC) (Nic=17.5 kWh/m^2.ano). Esta aproximação diminui com o aumento do I_u.

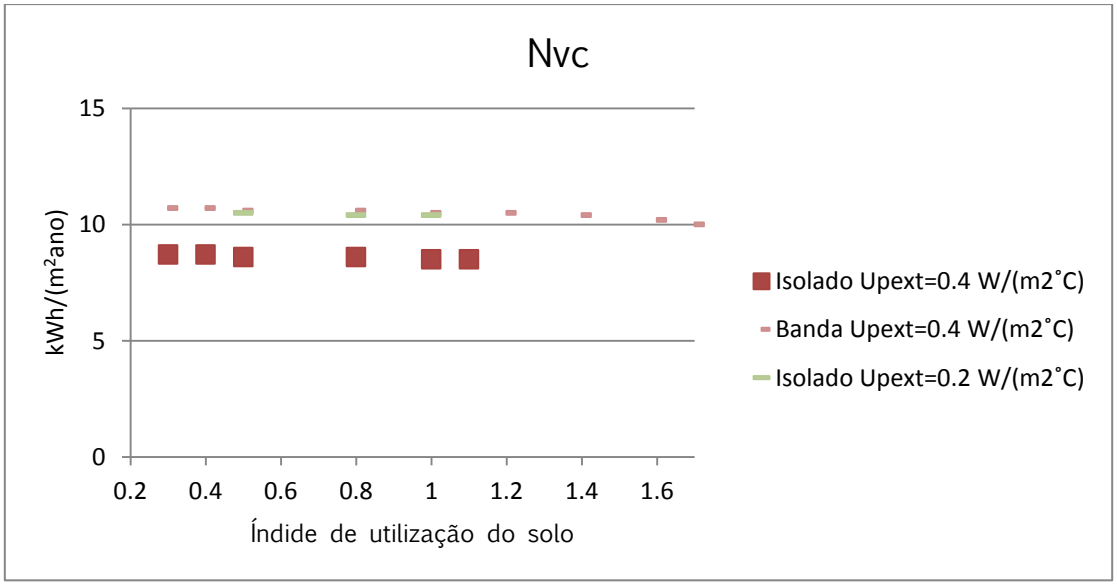


Gráfico 4-21: Valores das Nvc médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7.

As Nvc de ambas as configurações não variam com o aumento do I_u. As Nvc mais baixas correspondem à configuração de edifícios isolados sem aumento do isolamento térmico. A diminuição U_{pext} do edifício isolado tornou-o equivalente ao edifício em banda.

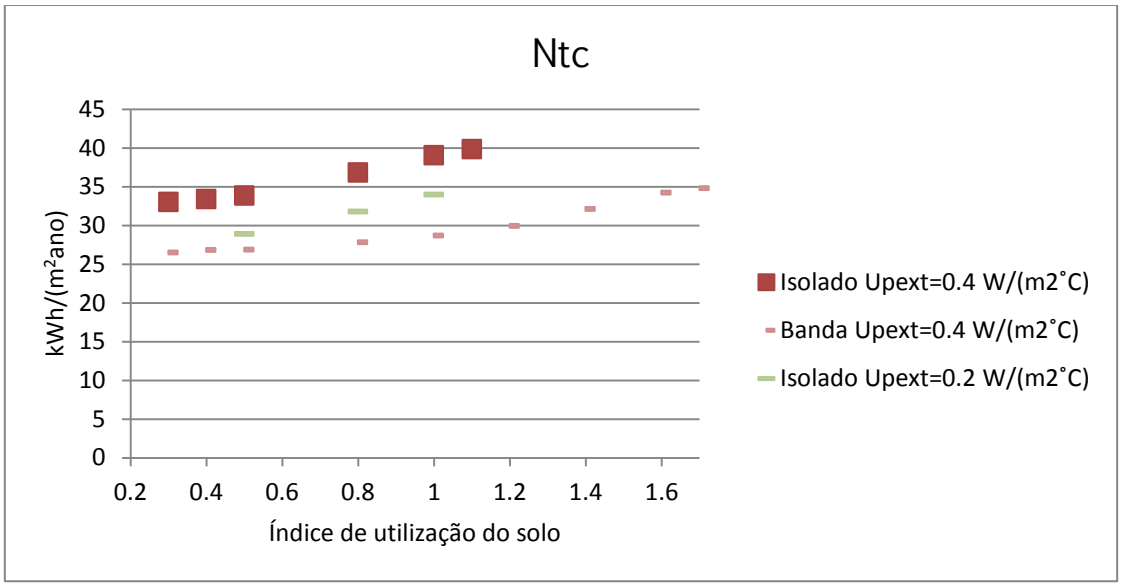


Gráfico 4-22: Valores das Ntc médias do edifício-tipo em banda e isolado com variantes na parede exterior para valores de I_u entre 0.3 e 1.7.

Para o mesmo valor do índice de utilização do solo, o edifício isolado com reforço no isolamento térmico melhora o seu comportamento térmico global, aproximando-se do comportamento térmico do edifício em banda.

Dada a importância dos ganhos solares no comportamento térmico do edifício estabeleceu-se, tal como no estudo anterior, a comparação das Ntc pelo afastamento entre os edifícios, Gráfico 4-23.

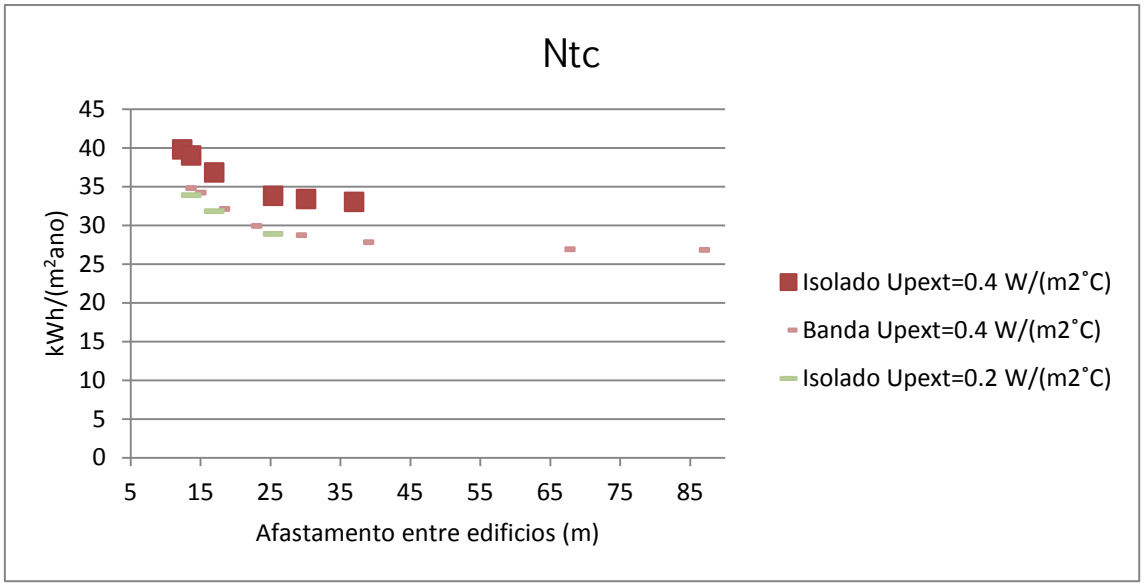


Gráfico 4-23: Valores das Ntc médias do edifício-tipo, nas configurações de edifício isolado e em banda com alteração da parede exterior.

Quando as Ntc médias dos edifícios são comparadas pela distância entre si, ou seja ganhos solares iguais, verifica-se uma aproximação dos resultados. Sendo que o comportamento térmico do edifício isolado, com o coeficiente de transmissão térmica mais baixo, está mais próximo do edifício em banda do que do edifício isolado tipo.

Este estudo leva a concluir que o edifício isolado constitui uma alternativa ao edifício em banda, se:

1. O isolamento térmico das paredes exteriores for reforçado e
2. O índice de utilização do solo for diminuído ou garantido o afastamento entre edifícios correspondente.

4.5.1.3.3 Aumento do número de pisos

O terceiro estudo com modificações ao edifício-tipo destinou-se a analisar o comportamento térmico do edifício com mais do que 4 pisos. Para tal, o edifício-tipo foi alterado para 6, 8, 10 e 12 pisos nas configurações em banda e isolado e ainda para 16 pisos na configuração em banda. Estudaram-se as duas configurações de malha urbana, para os três índices de utilização do solo (I_u) mais frequentes (0.3, 0.5

e 0.8). Para além destes, estudou-se também o comportamento térmico para valores mais elevados de I_u e até ao limite máximo permitido de cada configuração, de acordo com as condicionantes expostas no ponto 4.5.1.1.

Os gráficos seguintes apresentam os resultados deste estudo. Os resultados detalhados por zona encontram-se no Anexo J.

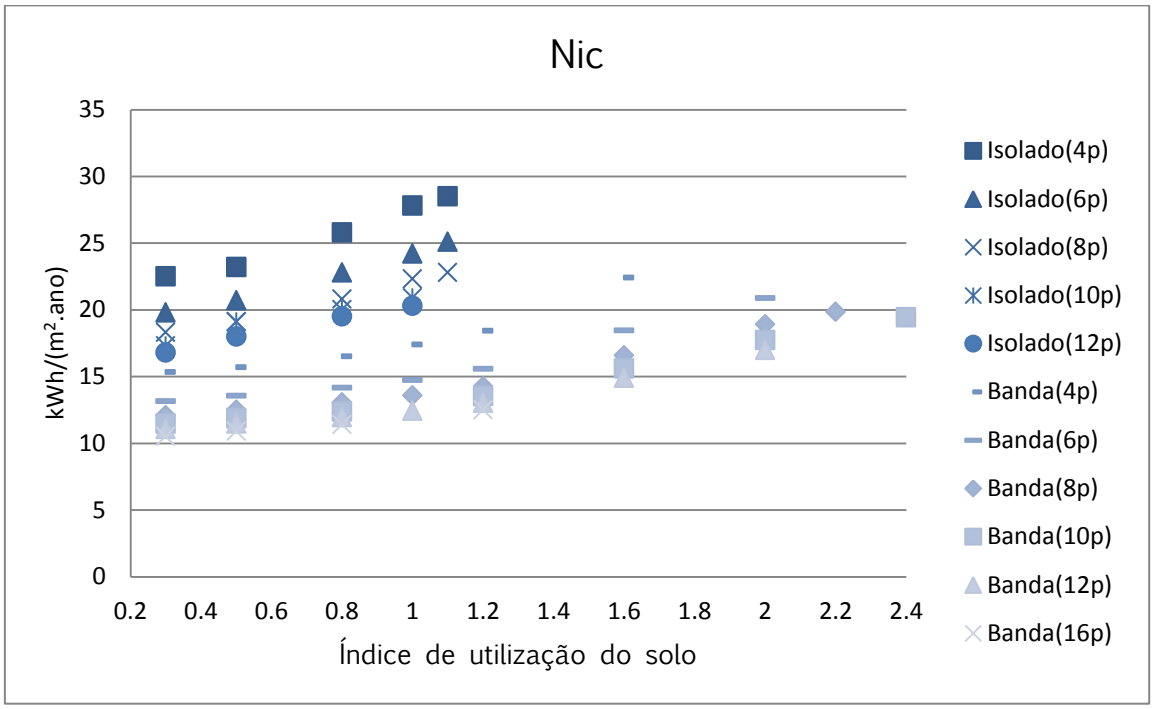


Gráfico 4-24: Comparação das Nic médias do edifício-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4.

Os resultados obtidos mostram que, para ambas as configurações, as Nic médias do edifício diminuem com o aumento do número de pisos e aumentam com o aumento do I_u. Este resultado era esperado devido ao impacto do maior número de pisos intermédios, que têm necessidades energéticas menores do que o piso térreo e do que o da cobertura. A diminuição das Nic médias do edifício com o aumento do número de pisos é a seguinte:

- 25 % na passagem de 4 para 12 pisos nos edifícios isolados.
- 28 % na passagem de 4 para 12 pisos nos edifícios em banda.
- 31 % na passagem de 4 para 16 pisos nos edifícios em banda.

A situação mais favorável na estação de aquecimento, com Nic mais baixas, é a do edifício em banda com o maior número de pisos e mais baixo I_u e a mais desfavorável, com o dobro das Nic, é a situação oposta, ou seja, o edifício isolado com o menor número de pisos.

O Gráfico 4-25 apresenta o gráfico com os resultados obtidos para as Nvc médias, com as mesmas variações nos edifícios isolados e em banda.

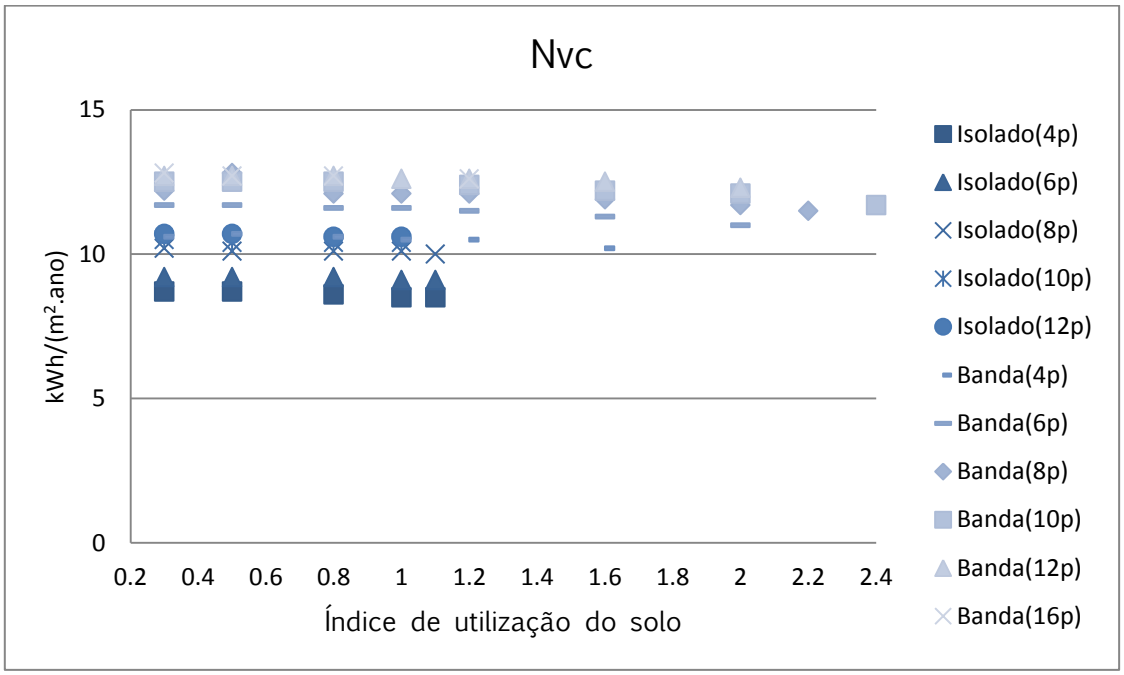


Gráfico 4-25: Comparação das Nvc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4.

As Nvc médias são mais baixas que as Nic médias e com valores mais próximos entre as duas configurações. A configuração em banda tem Nvc superiores às dos edifícios isolados. Verifica-se que, para as Nvc, a situação é a inversa das Nic, ou seja o aumento do número de pisos conduz a um agravamento das necessidades, tanto para o edifício isolado como no edifício em banda. As Nvc dos pisos intermédios são mais elevadas que as dos pisos extremos (cobertura e térreo). Nos pisos intermédios, a área da envolvente é menor, o que tem como consequência menores perdas térmicas. O aumento das Nvc com o aumento do número de pisos é o seguinte:

- 23 % na passagem de 4 para 12 pisos nos edifícios isolados.
- 19 % na passagem de 4 para 12 pisos nos edifícios em banda.

- 20 % na passagem de 4 para 16 pisos nos edifícios em banda.

Em seguida apresenta-se o Gráfico 4-26 com os resultados para as Ntc. Os resultados detalhados encontram-se no Anexo J.

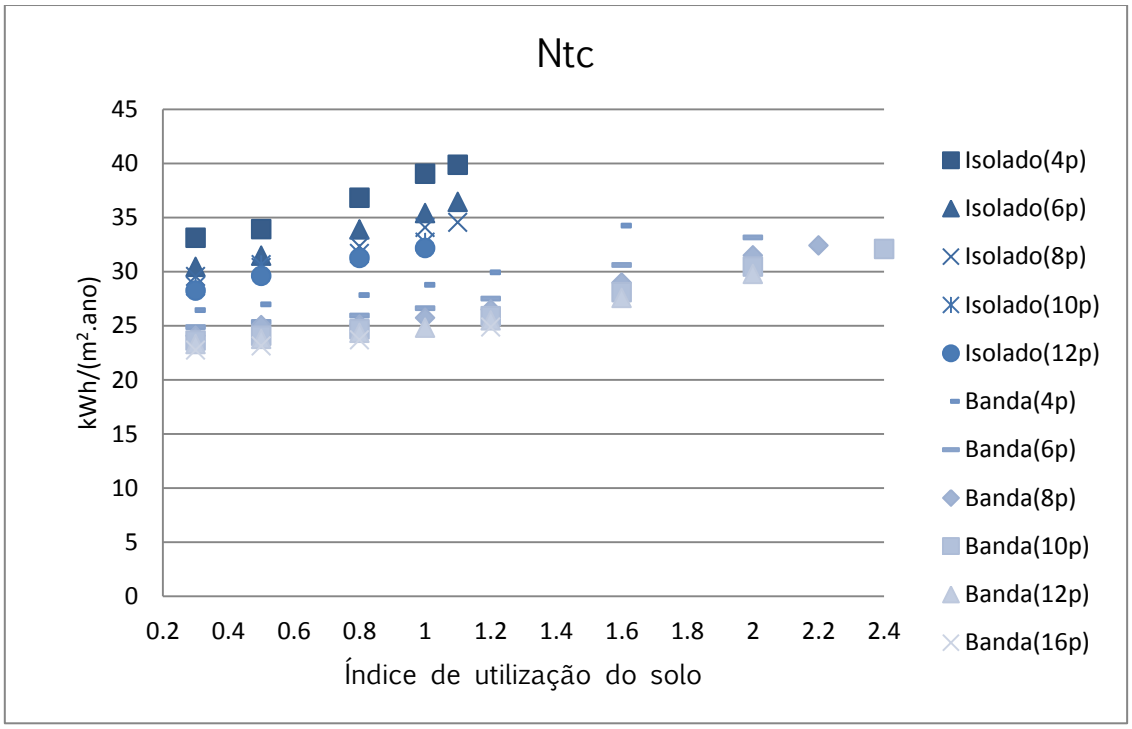


Gráfico 4-26: Comparação das Ntc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, para valores de I_u entre 0.3 e 2.4.

As necessidades globais médias para condicionamento térmico para o edifício aumentam com a subida do I_u e diminuem com o acréscimo do número de pisos para ambas as situações de edifício isolado e em banda, dada a dominância do efeito das Nic sobre as Nvc.

A configuração em banda é sempre a mais favorável. A situação mais desfavorável é para o edifício isolado com o menor número de pisos e o I_u elevado, em que há mais sombras e menor impacto das Nic dos pisos intermédios. A mais favorável, com metade das necessidades globais comparada com os casos anteriores, é para a situação oposta, ou seja, o edifício em banda com o maior número de pisos e baixo I_u.

Nos edifícios isolados a redução das Ntc médias, devido ao aumento do número de pisos, é em média:

- 8 % na passagem de 4 para 6 pisos.
- 12 % na passagem de 4 para 8 pisos.
- 13 % na passagem de 4 para 10 pisos.
- 15 % na passagem de 4 para 12 pisos.

Nos edifícios isolados aumento do I_u de 0.3 para 1.1, que corresponde a um aumento de 3.6 vezes a área de construção, agrava as Ntc médias em 16 %.

Nos edifícios em banda a redução das Ntc médias, devido ao aumento do número de pisos é em média:

- 8 % na passagem de 4 para 6 pisos.
- 11 %, na passagem de 4 para 8 pisos.
- 13 % na passagem de 4 para 10 pisos.
- 14 % na passagem de 4 para 12 pisos.
- 15 % na passagem de 4 para 16 pisos.

Nos edifícios em banda e o aumento do I_u de 0.3 para 1.2, que corresponde a um aumento de 4 vezes a área de construção, representa um agravamento das Ntc médias em 13 % no edifício com 4 pisos e em 9 % no edifício com 16 pisos.

Devido à importância dos ganhos solares no comportamento térmico do edifício, estabeleceu-se a comparação das Ntc médias dos edifícios estudados pelo ângulo formado entre os edifícios. As Ntc são relativas a cenários cujos edifícios tem diferentes alturas e, portanto, a comparação da penetração solar através do afastamento entre edifícios não seria adequada, porque, para o mesmo afastamento entre edifícios, a penetração solar varia com a altura destes. O Gráfico 4-27 mostra os valores Ntc em função do ângulo formado entre os edifícios.

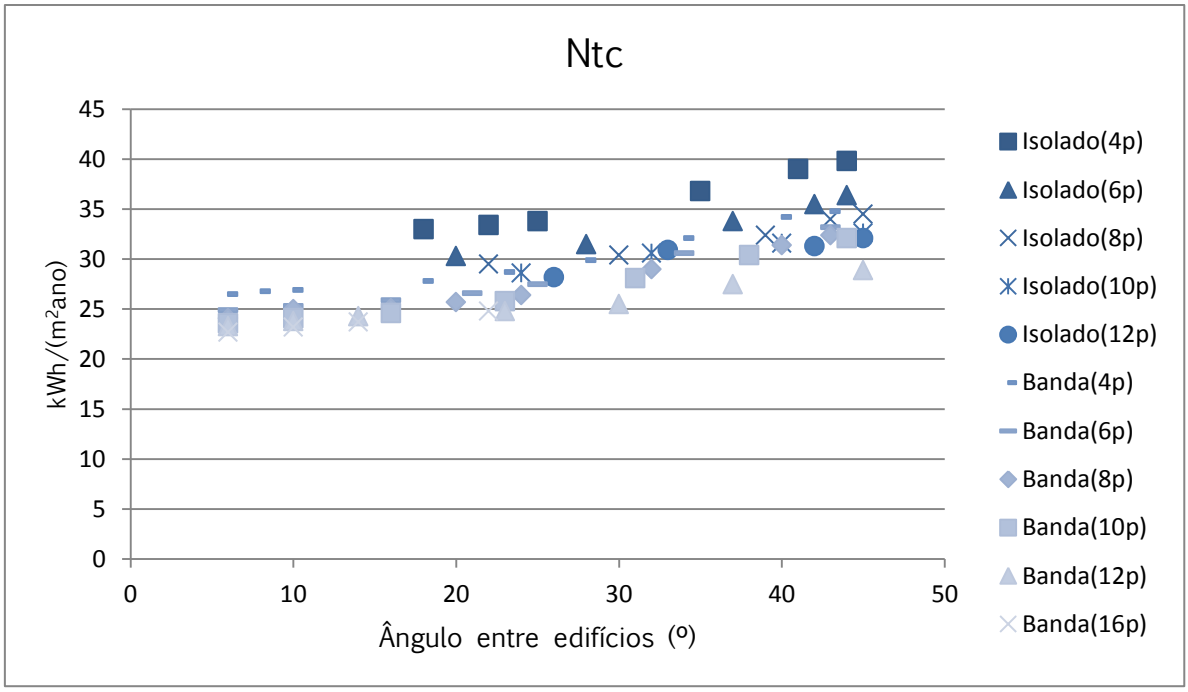


Gráfico 4-27: Comparação das Ntc médias do edificio-tipo com mais de 4 pisos, nos cenários de isolado e banda, em função do ângulo formado entre os edifícios.

Nota-se que os ângulos mais baixos, com mais acesso ao Sol, só são possíveis para as configurações em banda e são estes os casos que apresentam Ntc médias por edifício mais baixas.

Para o mesmo ângulo entre edifícios, o comportamento térmico dos edifícios isolados melhora com o aumento do número de pisos. O aumento do ângulo entre edifícios aproxima o comportamento dos edifícios isolados com mais pisos do comportamento térmico dos em banda com menor número de pisos.

Com este estudo é possível também concluir que, tanto para os edifícios isolados como para os em banda o aumento do número de pisos estabelece alternativas eficientes ao edifício-tipo com 4 pisos.

4.5.1.4 Alteração da orientação solar da fachada principal

Por fim, comparou-se o comportamento térmico do edifício em banda e isolado na orientação proposta – Sul, com o edifício em banda para duas outras orientações da fachada principal, Este e Oeste.

Os Gráfico 4-28, 4-29 e 4-30 mostram os resultados obtidos. Os valores detalhados encontram-se no Anexo J.

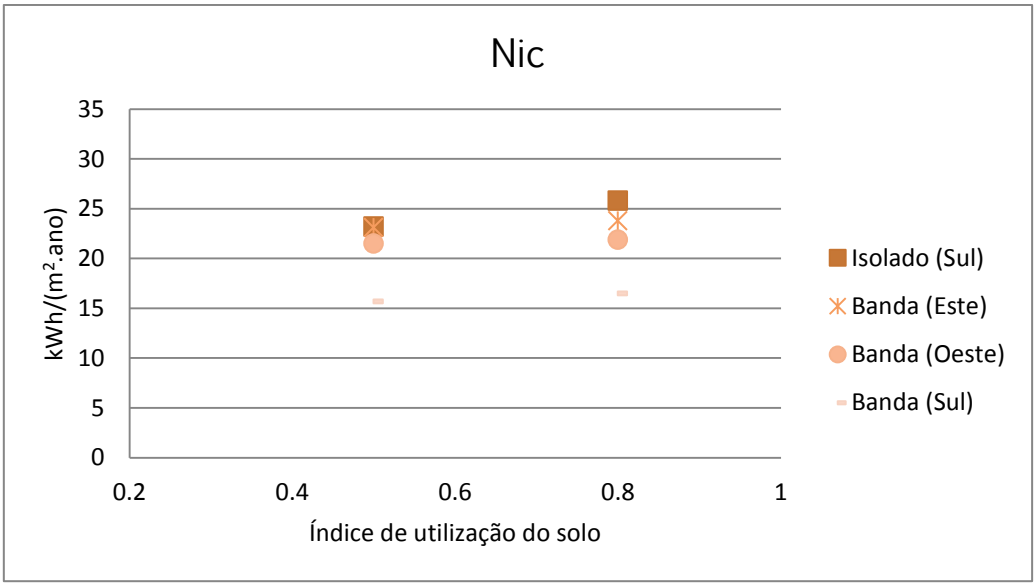


Gráfico 4-28: Comparação do valor médio das Nic do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8.

A alteração da orientação da melhor configuração de edifícios – banda, conduz a Nic muito próximas das do edifício isolado quando o I_u é de 0.5 e só ligeiramente inferiores quando o I_u é de 0.8.

O Gráfico 4-29 apresenta as Nvc para o mesmo estudo, os valores detalhados encontram-se no Anexo J.

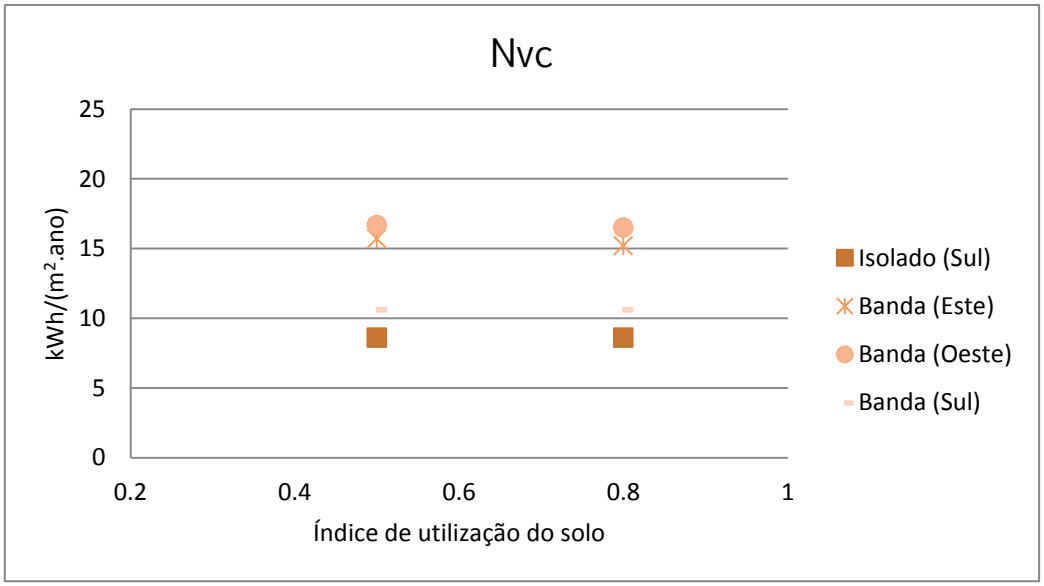


Gráfico 4-29: Comparação do valor médio das Nvc do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8.

Tal como já se observou, a diferença das Nvc para entre a configuração de edifício isolado e em banda é muito pequena quando orientados a Sul. A alteração desta orientação, tanto para Este como para Oeste, agrava as Nvc para o dobro.

O Gráfico 4-28 apresenta as Ntc para o mesmo estudo. Os valores detalhados encontram-se no Anexo J.

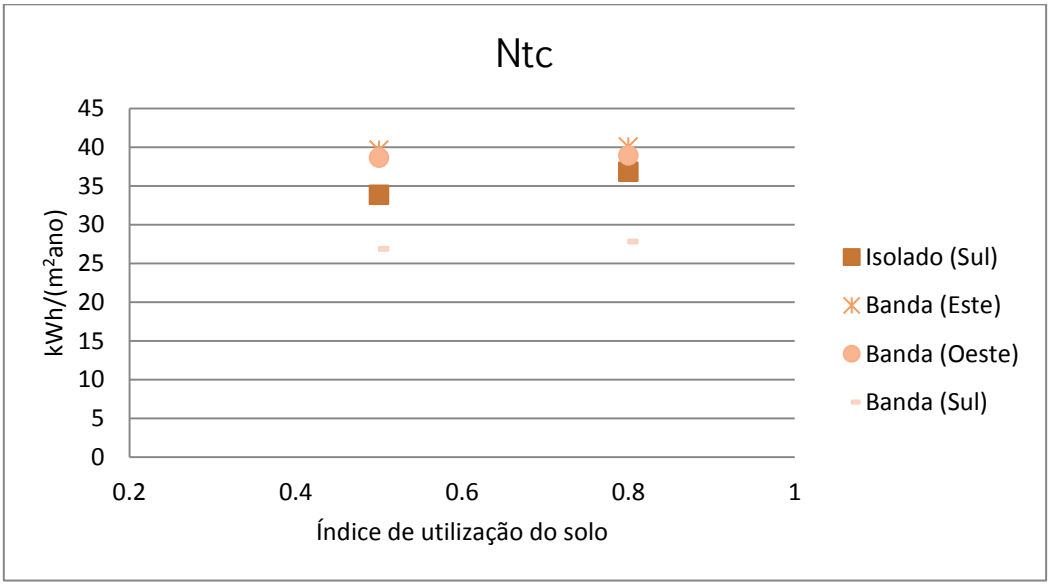


Gráfico 4-30: Comparação do valor médio das Ntc do edificio-tipo em banda para três orientações da fachada principal, com o edificio isolado para o I_u com 0.5 e 0.8.

As Ntc médias da configuração de edifício em banda com a orientação da fachada principal a Este e Oste e as do edifico isolado, com fachada principal voltada a Sul, são idênticas. Esta análise comprova que uma má orientação solar transforma o comportamento térmico da melhor configuração de um edifício igual ao da pior configuração.

4.5.2 Síntese e discussão dos resultados

O estudo do comportamento térmico do edifício-tipo nos vários cenários de edifícios isolados (4 frentes), edifícios agrupados ou geminados (3 frentes) e edifícios em banda (2 frentes) e afastados entre si de acordo com os índices de utilização do solo mais frequentes, evidenciou alguns aspetos que a seguir se apresentam.

- O comportamento térmico do edifício nas três situações estudadas (4, 3 e 2 frentes) é tanto melhor quanto mais baixo for o índice de ocupação do solo (I_u). Quanto mais baixo é o I_u, maior é o espaçamento entre edifícios. O espaçamento dos edifícios está diretamente relacionado com a penetração solar e com possibilidade de ganhos solares e, consequentemente, a diminuição das necessidades de aquecimento. Este aspeto é importante especialmente em climas onde as necessidades de aquecimento são superiores às de arrefecimento em qualquer das configurações de malha urbana estudada. Assegurar que o edifício recebe Sol durante o Inverno faz parte das recomendações unanimes de autores que se debruçaram sobre a eficiência energética dos edifícios e do ambiente construído, nomeadamente Almeida (2004), Chrisomallidou (2001), Gonçalves (2004), Moita (2010), Oliveira-Panão (2004), Santamouris (2001) e Steemers (2003). Para promover o acesso ao Sol em ambiente urbano, o I_u deve ser mantido baixo, não sendo no entanto esta uma condição única, como vai ser discutido mais à frente. Para assegurar a eficiência é fundamental perceber que, quanto mais elevado for o I_u, maior será o consumo energético em condicionamento térmico.

- Foram estudados seis cenários diferentes para a disposição dos edifícios isolados. A diferença entre os cenários está na disposição dos edifícios que rodeiam o edifício em estudo e na proporção entre afastamentos frontais e laterais dos edifícios. Três dos cenários propostos fixam a distância lateral entre edifícios para qualquer valor de I_u. Nos restantes três, os afastamentos (frontal e lateral) variam em função de I_u, Figura 4-5.

  O estudo do comportamento térmico do edifício inserido nos seis cenários diferentes mostrou grande homogeneidade de resultados entre cenários. Para cada I_u, as variações não ultrapassam os 6 %. O comportamento do edifício isolado não é influenciado pela disposição dos edifícios e agrava-se com o aumento do I_u. Os edifícios isolados são os que apresentam as maiores necessidades globais anuais de energia primária para condicionamento térmico. Um levantamento sobre a relação entre a energia consumida para aquecimento e a forma dos edifícios, realizado no Reino Unido, revela que as moradias isoladas registam consumos superiores, quase o dobro das habitações situadas nos pisos intermédios de edifícios com vários pisos (Raydan and Steemers, 2006).

- Foi estudado o comportamento térmico do edifício isolado com metade do coeficiente de transmissão térmica na parede exterior (U_{pext}) e comparado com o edifício-tipo isolado e em banda.

  Para o mesmo valor de I_u, o edifício isolado com U_{pext} mais baixo tem comportamento térmico melhor que o edifício isolado com U_{pext} de referência mas mantém-se pior do que o edifício em banda.

  Para o mesmo I_u, o afastamento entre edifícios é maior nos edifícios em banda e, portanto, os edifícios em banda recebem mais radiação solar do que os edifícios isolados.

  Quando a comparação é feita pelo afastamento entre edifícios, logo para ganhos solares iguais, verifica-se uma aproximação do comportamento térmico dos edifícios isolados com os em banda. No entanto, a quase igualdade entre estes dois cenários só surge quando o edifício isolado tem U_{pext} mais baixo, o que é coerente e esperado, já que, para as mesmas condições, a melhoria do comportamento térmico atinge-se através da melhoria da solução construtiva.

- Realizaram-se estudos do comportamento térmico do edifício agrupado (3 frentes) que permitiram concluir que este não constitui uma alternativa às restantes situações (2 e 4 frentes).

  Para cada valor de I_u estudado, o edifício agrupado (3 frentes) apresenta um comportamento térmico próximo do comportamento térmico do edifício isolado. Mesmo quando a empena lateral é mais isolada termicamente, o seu comportamento térmico não se distingue significativamente dos restantes edifícios isolados e é pior que o edifício em banda.

  Quando o afastamento entre edifícios é igual, a penetração solar na malha urbana também é igual e, portanto, as necessidades energéticas para aquecimento dos edifícios agrupados e dos edifícios em banda são idênticas.

- Verificou-se que, para cada I_u, o aumento do número de pisos nos edifícios isolados e em banda melhora o comportamento térmico médio desse edifício. Ao analisar os resultados por zona e piso verifica-se que as zonas dos pisos intermédios são, em ambas as configurações, aquelas que têm menores necessidades para aquecimento, maiores necessidades para arrefecimento e menores necessidades energéticas globais anuais. Ao aumentar o número de pisos aumenta-se o número de zonas com necessidades energéticas globais (Ntc) inferiores, fazendo assim baixar as necessidades médias do edifício.

- De todas as configurações estudadas, conclui-se que a configuração que permite melhores comportamentos térmicos anuais é a banda. Ao comparar as zonas do edifício na configuração em banda com as zonas correspondentes dos edifícios de outras configurações, verifica-se que as necessidades para aquecimento são inferiores e as de arrefecimento superiores, mas o comportamento global é sempre melhor mesmo quando comparado com um edifício isolado de mais pisos. Isto permite concluir que a solução ideal será a configuração em banda, com 16 pisos e baixo I_u.

O estudo realizado permitiu estabelecer que são os cenários de edifícios isolados e em banda que apresentam os comportamentos mais díspares. Permitiu ainda compreender que há vantagens no aumento do número de pisos nos edifícios. Estas conclusões foram tidas em atenção no restante trabalho desenvolvimento.

Capítulo 5 Simulação térmica de edifícios em ambiente urbano

5.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o estudo do comportamento térmico de edifícios inseridos em malha urbana. Utilizando o programa TRNSYS, realizou-se a simulação térmica de um edifício-tipo, nas variantes de 4, 8 e 12 pisos, para os cenários de edifícios isolados e de edifícios em banda, para os quatro índices de utilização do solo mais frequentes, 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 e para sete climas diferentes. Foram ainda estudadas variantes a estes 168 casos.

5.2 Condições de realização da simulação térmica

5.2.1 Dados climáticos

Os dados climáticos utilizados para o estudo do comportamento térmico fazem parte da base de dados do programa SolTerm. Foi escolhido o clima do município mais populoso de cada combinação climática de acordo com o levantamento realizado no Capítulo 3. A Tabela 5-1 mostra o clima escolhido para cada combinação climática.

Tabela 5-1 Dados climáticos utilizados em cada combinação climática.

Combinação climática:	Dados climáticos:
I1V1	Coimbra
I1V2	Lisboa
I1V3	Almada
I2V1	Vila Nova de Gaia
I2V2	Braga
I2V3	Castelo Branco
I3V2	Vila Real

Com este conjunto de sete climas pretende-se criar uma amostra representativa do País e das suas zonas mais povoadas. Os dados utilizados para as simulações do comportamento térmico são a temperatura, a humidade relativa e a radiação solar global e difusa nas várias orientações.

Seguindo a metodologia utilizada no capítulo anterior, foi determinada a duração da estação de aquecimento para cada clima. A Tabela 5-2 mostra o período encontrado e utilizado na simulação.

Tabela 5-2: Duração da estação de aquecimento.

Clima:	Início:	Fim:
Coimbra	21 de Outubro	10 de Maio
Lisboa	1 de Novembro	10 de Maio
Almada	11 de Novembro	1 de Abril
Vila Nova de Gaia	11 de Outubro	10 de Maio
Braga	11 de Outubro	10 de Maio
Castelo Branco	21 de Outubro	10 de Maio
Vila Real	11 de Outubro	10 de Maio

A estação convencional de arrefecimento inclui os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, pelo que foi este o período considerado.

5.2.2 Índices de utilização do solo e malhas urbanas

Os valores dos índices de utilização do solo (I_u) considerados na caracterização da malha urbana envolvente do edifico em estudo foram 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0. Estes valores são os mais frequentes e representativos, tal como o verificado no Capítulo 3.

Foram estudadas as configurações de malha urbana que revelaram as necessidades de energia para condicionamento térmico do edifico, mais elevadas e mais baixas, de acordo com o estudo mais abrangente em termos de cenários urbanos descrito no capítulo anterior. As duas configurações que, por corresponderem

aos extremos, se tornaram as mais interessantes de estudar são as de edifícios isolados (4 frentes) e as de edifícios em banda (2 frentes), apresentadas na Figura 5-1. O edifício em estudo está no centro da malha, com o mesmo número de frentes que os restantes edifícios do cenário.

Tal como o considerado no capítulo anterior e com o objetivo de maximizar os ganhos solares e incorporar os princípios solares passivos nas malhas urbanas (Chrisomallidou, 2001), todos os edifícios estão dispostos considerando a fachada principal voltada a Sul.

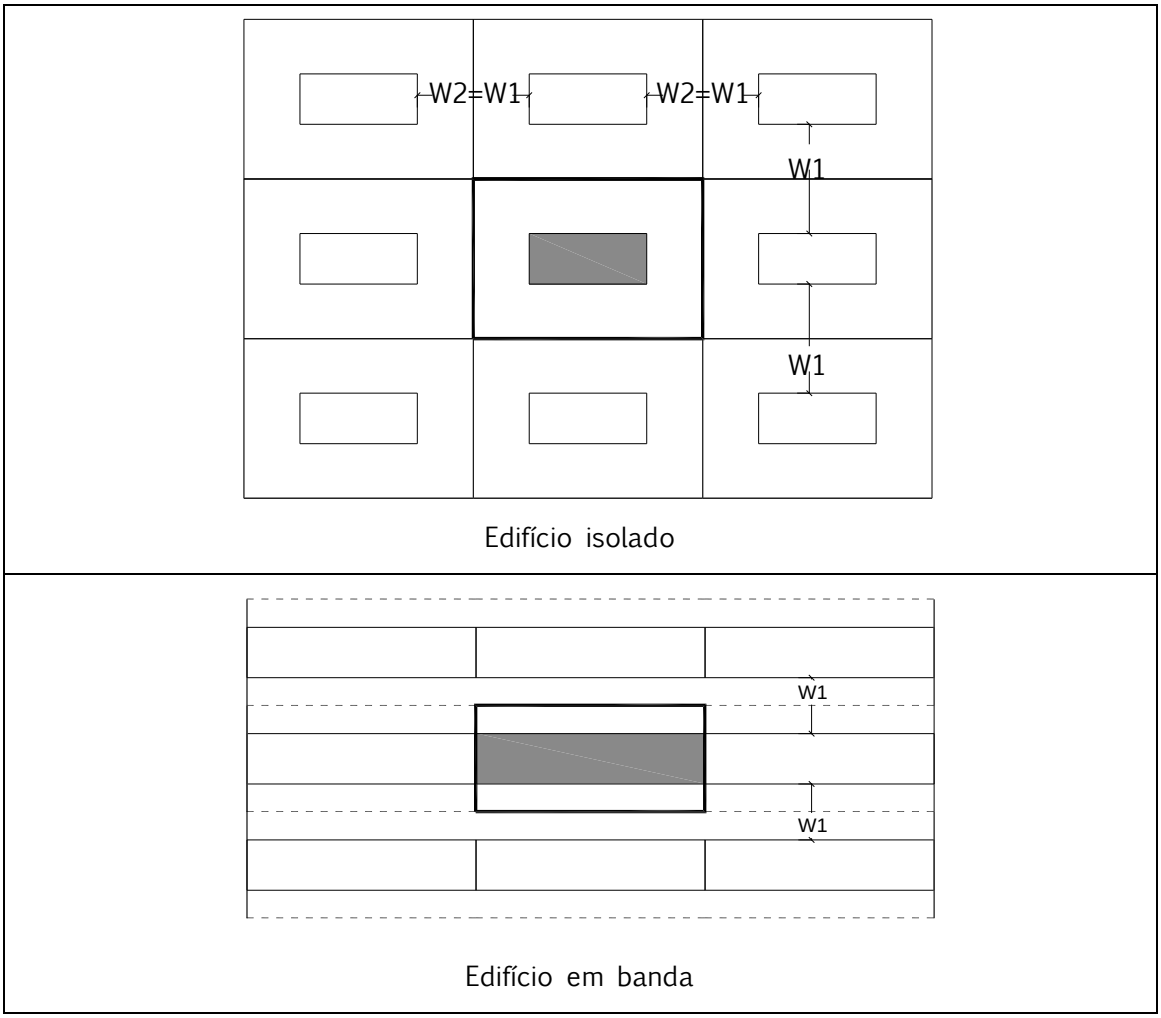


Figura 5-1: Cenários de malha urbana do edifício em estudo.

5.2.3 Edifício-tipo

As simulações foram realizadas para edifícios com 4, 8 e 12 pisos.

A solução construtiva adotada para a envolvente do edifício (paredes e lajes) em cada clima foi obtida ponderando os valores de referência para os coeficientes de transmissão térmica previstos para a revisão do RCCTE, o estudo sobre soluções construtivas de custo ótimo (Almeida, 2012) e a exequibilidade da solução construtiva.

Não tendo, à data da execução do estudo, sido realizada a transposição completa da Diretiva, que tem como meta que os edifícios em 2020 tenham muito baixas (quase nulas) necessidades de energia, utilizou-se a informação disponível[32] para os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica previstos. Posteriormente à execução do estudo e na fase final de preparação desta tese, foi publicada a revisão do RCCTE com a designação de Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Os valores de referência utilizados no REH são os que estavam previstos, tornando as considerações tomadas antes da revisão do RCCTE válidas após a sua revisão com a publicação do REH (2013).

Almeida (2012) realizou um estudo de otimização económica - ponderação do investimento face ao benefício para a reabilitação de edifícios o qual incluiu diversas opções para equipamentos e uma solução construtiva com isolamento térmico nas hipóteses de 4, 5, 6 e 8 cm. Neste estudo para o clima I2, o valor obtido para o coeficiente de transmissão térmica (U) que correspondente à solução de custo ótimo é de 0.44 $W/m^2ºC$ para as paredes exteriores (Almeida, 2012).

Por fim, é necessário encontrar uma solução construtiva exequível. A construção das paredes e dos outros elementos da envolvente dos edifícios é feita com alguns materiais que só são comercializados em dimensões pré definidas, como é o caso dos tijolos para a construção das alvenarias ou os isolamentos térmicos. Para estes últimos, as espessuras possíveis de encontrar são da ordem dos centímetros. Uma solução exequível tem de ter em conta este aspeto e considera valores inteiros em centímetros para o isolamento térmico.

[32] Pela Associação Nacional de Peritos Qualificados.

A Tabela 5-3 compara os diferentes valores de U da parede exterior para o clima I2, por ter sido o clima utilizado, tanto no estudo sobre custo ótimo, como no estudo do capítulo 4.

Tabela 5-3: Comparação dos valores para U.

Clima:	U (W/(m^{2}ºC)):	Considerando:
I2	0.60	RCCTE, 2006
	0.41	Utilizado no modelo (Capítulo 4)
	0.44	Custo ótimo (Almeida, 2012)
	0.40	Revisão do RCCTE – REH, 2013
	0.37	Valor utilizado para o estudo

Comparando os valores de U para a parede exterior, é possível observar a diminuição que o valor de referência sofreu na revisão regulamentar e a proximidade entre o resultado do estudo sobre soluções de custo ótimo e o atual valor de referência. A solução construtiva utilizada no Capítulo 4 teve um U superior ao do atual valor de referência mas já muito próximo deste e antecipava as revisões legislativas no espírito da EPBD.

As soluções construtivas utilizadas na envolvente são idênticas às utilizadas no Capítulo 4 e estão representadas na Figura 5-2.

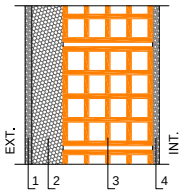
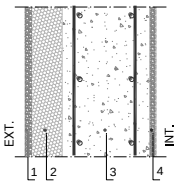
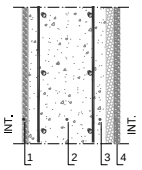
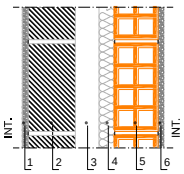
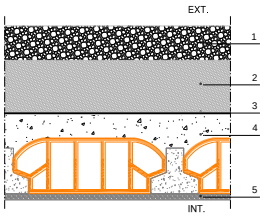
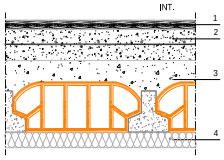
Parede exterior (PEXT)  1-reboco 2-poliestireno expandido moldado 3-alvenaria de tijolo furado 4-reboco	Ponte térmica plana (PBEXT)  1-reboco 2-poliestireno expandido moldado 3-betão armado 4-reboco
Parede de betão com isolamento (PMEBET)  1-reboco 2-betão armado 3-poliestireno expandido moldado 4-reboco	Parede de separação com zonas comuns e entre habitações (PMEA)  1-reboco 2-alvenaria de tijolo maciço 3-caixa de ar 4-lã mineral 5-alvenaria de tijolo furado 6-reboco
Laje de cobertura (LAJECOB)  1-Inertes 2-poliestireno expandido extrudido 3-impermeabilização 4-lage aligeirada 5-reboco	Laje aligeirada sobre a garagem (LAJEGARR)  1-madeira 2-betonilha 3-laje aligeirada 4-lã mineral

Figura 5-2: Desenho da solução construtiva da envolvente do edifício.

As soluções construtivas propostas para cada clima resultam do aumento da espessura do isolamento térmico, até que o coeficiente de transmissão térmica (U) atinga o valor próximo do valor de referência mas sem o ultrapassar. Esta opção criou uma envolvente ao edifício em estudo cujo U é, no máximo, igual ao valor de referência. A solução adotada é a que mais se aproxima da solução de referência, mas, ao manter o U abaixo desta, é ainda ligeiramente mais exigente, ou seja, tem melhor qualidade térmica.

A Tabela 5-4 apresenta os detalhes das soluções construtivas utilizadas para todos os elementos e para cada clima. As designações utilizadas são as apresentadas na Figura 5-2 bem como as dos elementos construtivos, as espessuras estão expressas em centímetros. A Tabela 5-4 compara ainda o U utilizado, em cada elemento construtivo, com o U de referência (U_{ref}).

Tabela 5-4 Solução construtiva, valores de U e de U_{ref} para cada zona climática.

Clima	Nome:	Descrição dos materiais e espessura em cm	U (W/m²C)	U_{ref} (W/m²C)
I1	PEXT	1.5(reboco)+20(tijofur)+6(eps)+1.5(reboco)	0.45	0.50
	PBEXT(ptp)	1.5(reboco)+20(betaon)+6(eps)+1.5(reboco)	0.56	-
	PMEBET	1.5(reboco)+18(betaon)+3(eps)+1.5(reboco)	0.89	1.00
	PMEA	1.5(reboco)+12(tijmac)+6(cxar)+1(lamw)+11(tijofur11)+1.5(reboco)	0.90	1.00
	LAJEGAR	0.3(madeira)+10(betaon)+23(lajecer)+3(lamw)	0.72	0.80
	LAJECOB	1.5(reboco)+23(lajecer)+10(betaon)+0.3(impermab)+8(xps)+10(inerte)	0.37	0.40
I2	PEXT	1.5(reboco)+20(tijofur)+8(eps)+1.5(reboco)	0.37	0.40
	PBEXT(ptp)	1.5(reboco)+20(betaon)+8(eps)+1.5(reboco)	0.44	-
	PMEBET	1.5(reboco)+18(betaon)+4(eps)+1.5(reboco)	0.73	0.80
	PMEA	1.5(reboco)+12(tijmac)+6(cxar)+2(lamw)+11(tijofur11)+1.5(reboco)	0.74	0.80
	LAJEGAR	0.3(madeira)+10(betaon)+23(lajecer)+4(lamw)	0.61	0.70
	LAJECOB	1.5(reboco)+23(lajecer)+10(betaon)+0.3(impermab)+9(xps)+10(inerte)	0.33	0.35
I3	PEXT	1.5(reboco)+20(tijofur)+9(eps)+1.5(reboco)	0.34	0.35
	PBEXT(ptp)	1.5(reboco)+20(betaon)+9(eps)+1.5(reboco)	0.39	-
	PMEBET	1.5(reboco)+18(betaon)+5(eps)+1.5(reboco)	0.62	0.70
	PMEA	1.5(reboco)+12(tijmac)+6(cxar)+3(lamw)+11(tijofur11)+1.5(reboco)	0.63	0.70
	LAJEGAR	0.3(madeira)+10(betaon)+23(lajecer)+5(lamw)	0.53	0.60
	LAJECOB	1.5(reboco)+23(lajecer)+10(betaon)+0.3(impermab)+11(xps)+10(inerte)	0.28	0.30

Para o clima I1, a parede exterior tem 6 cm de isolamento térmico. Este passa a 8 cm no clima I2 e a 9 cm no clima I3. A cobertura tem 8 cm de isolamento no clima I1, 9 cm no I2 e 11 cm no I3. Não existem valores de referência para as pontes térmicas planas, pelo que, para manter as características da envolvente, utilizou-se para as pontes térmicas planas a mesma espessura de isolamento da parede exterior.

Para todas as restantes características do edifício em estudo foram mantidas as opções descritas no Capítulo 4.

5.2.4 Temperatura interior do edifício na estação de arrefecimento.

A utilização de meios mecânicos para o arrefecimento das habitações não está generalizada no País. A matriz de consumos de eletricidade no setor doméstico mostra que apenas 1.6 % da energia elétrica consumida é utilizada para arrefecimento (INE/DGEG, 2011). Não é desejável um aumento da utilização de meios mecânicos para arrefecimento, pois leva ao aumento do consumo de energia e contraria o

objetivo previsto pela Diretiva EPBD de edifícios com baixas (quase nulas) necessidades de energia.

Durante o Verão, quando não são acionados meios mecânicos para arrefecimento, a temperatura no interior das habitações sobe e pode atingir valores indesejáveis. Na habitação é usual os ocupantes reduzirem a entrada da radiação solar pelas janelas, como forma de minimizar a subida da temperatura interior, acionando dispositivos como persianas, estores ou portadas. As persianas e os estores são reguláveis pelos ocupantes e podem ocultar a janela de forma parcial.

Para avaliar o efeito de redução da temperatura interior devido à utilização de sombreamento por parte dos ocupantes realizaram-se simulações do comportamento térmico, considerando a utilização de persianas exteriores e a não utilização de arrefecimento durante o Verão. Este estudo abrangeu o edifício isolado e em banda com 4 pisos, considerando quatro situações: janelas sem dispositivo de sombreamento e janelas com persianas exteriores a cobrir 25 %, 50 % ou 75 % da sua área. Para reproduzir estas situações foram introduzidos no programa TRNSYS fatores de sombreamento apropriados.

5.2.4.1 Determinação dos fatores de sombreamento

De acordo com as condições de funcionamento do programa TRNSYS, o fator de sombreamento pode variar entre 0, quando não existe qualquer proteção solar, e 1, caso a proteção seja total. O fator de sombreamento é relativo apenas ao sombreador, o programa considera sempre a janela previamente definida.

Para caracterizar o sombreamento das janelas, a regulamentação utiliza o fator solar[33]. O fator solar é relativo à totalidade da janela com dispositivo de sombreamento e calcula-se considerando a proporção que o dispositivo de sombreamento ocupa na janela. O fator solar de uma janela ($F_{solar\ janela}$) é dado pela expressão seguinte:

[33] Quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de proteção e a energia da radiação solar que nele incide.

$$F_{solar\ janela}=\sum n*F_{solar} \quad (5.1)$$

n – é parte da janela a que se refere o F_{solar} e varia entre 0 e 1.
F_{solar} – quociente entre a energia solar transmitida para o interior através do vão e a energia recebida. Os valores para as soluções mais comuns estão tabelados na regulamentação. Os valores limite são 0 quando a janela não permite qualquer entrada de energia solar e 1 quando não existe qualquer obstáculo.

A regulamentação prevê que o fator solar de uma janela (incluindo o vidro) com uma persiana exterior completamente fechada é de 0.04, para um vidro com um fator solar de 0.75.

De acordo com o exposto, foi determinado o fator de sombreamento ($F_{sombreamento}$) a introduzir no TRNSYS, da seguinte forma:

$$F_{sombreamento}= 1- F_{solar\ janela} \quad (5.2)$$

Considerando a possibilidade de utilização parcial da persiana exterior e retirando o fator solar do vidro (dado que o programa já o considera), a expressão final para a determinação do $F_{sombreamento}$, em função da posição da persina exterior é a seguinte:

$$F_{sombreamento}= 1- (n*(0.04/0.75)+(1-n)*1) \quad (5.3)$$

A Tabela 5-5 apresenta os valores obtidos para as situações estudadas.

Tabela 5-5: Fator de sombreamento utilizado no TRNSYS para as diferentes posições de persiana.

Percentagem da janela que a persiana oculta:	n	$F_{solar\ janela}$ (sem vidro)	$F_{sombreamento}$ (sem vidro)
25	0.25	0.77	0.23
50	0.50	0.53	0.47
75	0.75	0.29	0.71

5.2.4.2 Simulação do comportamento térmico durante o Verão

Foram realizadas simulações do comportamento térmico dos edifícios, para os climas de Vila Nova de Gaia (V1), Lisboa (V2) e Almada (V3) e para os índices de utilização do solo (I_u) de 0.3 e 0.8. Os valores de I_u foram escolhidos por razões diferentes: o valor de 0.3 foi escolhido por ser o mais baixo, logo, menos sujeito às sombras dos edifícios circundantes e o valor de 0.8 por ser o índice de ocupação do solo mais utilizado no País, de acordo com o levantamento apresentado no Capítulo 3.

O conforto térmico está definido, pela Norma 55 (2010) ASHRAE[34], como um estado do ser humano em que a mente expressa satisfação com o ambiente térmico que o circunda. A determinação da temperatura de conforto é feita pela determinação da percentagem de pessoas satisfeitas. Considera-se que, quando 80 % das pessoas estão satisfeitas com o ambiente, então, ocorre conforto térmico. Atualmente, a previsão da temperatura de conforto é feita por modelos adaptativos – modelos que relacionam a temperatura interior de conforto com a temperatura exterior, considerando que as pessoas têm a capacidade de se adaptar. A Norma 55 prevê que a temperatura de conforto se situe entre os 17 ºC e os 31 ºC, dependendo da temperatura média exterior.

A temperatura média exterior durante a estação de arrefecimento é de 21.6 ºC e 21.5 ºC em Lisboa e Almada respetivamente. Para estas temperaturas exteriores, de acordo com o modelo adaptativo da Norma 55 da ASHRAE, as temperaturas de conforto situam-se entre os 21 ºC e os 28 ºC. A regulamentação nacional considera que a temperatura interior de referência para o Verão é de 25 ºC.

Na Tabela 5-6 apresentam-se as percentagens de horas da estação de arrefecimento em que a temperatura média calculada para o interior do edifício é inferior a 25 ºC, está compreendida entre 25 ºC e 28 ºC e é superior a 28 ºC. A Tabela 5-7 apresenta a temperatura média interior durante a estação de arrefecimento. Os resultados estão divididos pelas quatro opções de sombreamento das janelas e são relativos ao I_u=0.3.

[34] American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers

Tabela 5-6: Distribuição percentual da temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.3.

Sem dispositivo de sombreamento:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	27 %	16 %	6 %	3 %	5 %	2 %
25<T≤28 ºC	67 %	68 %	30 %	22 %	45 %	34 %
T>28 ºC	6 %	16 %	64 %	75 %	50 %	65 %
Com persiana a ocultar 25 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	47 %	32 %	10 %	8 %	15 %	8 %
25<T≤28 ºC	52 %	66 %	50 %	36 %	48 %	44 %
T>28 ºC	1 %	2 %	40 %	56 %	37 %	48 %
Com persiana a ocultar 50 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	77 %	65 %	18 %	14 %	29 %	21 %
25<T≤28 ºC	23 %	35 %	68 %	55 %	49 %	51 %
T>28 ºC	0 %	0 %	14 %	32 %	22 %	28 %
Com persiana a ocultar 75 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	98 %	94 %	36 %	28 %	51 %	43 %
25<T≤28 ºC	2 %	6 %	63 %	68 %	40 %	45 %
T>28 ºC	0 %	0 %	1 %	4 %	9 %	12 %

Tabela 5-7: Temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.3.

Temperatura média interior:						
Dispositivo de sombreamento:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
0%	25.8	26.5	28.4	29.1	28.3	29.0
25%	24.9	25.5	27.4	28.0	27.3	27.9
50%	23.8	24.3	26.4	26.8	26.3	26.7
75%	22.8	23.1	25.4	25.8	25.2	25.5

A seguir apresentam-se as Tabelas 5-8 e 5-9, com os resultados equivalentes obtidos para I_u=0.8.

Tabela 5-8: Distribuição percentual da temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.8.

Sem dispositivo de sombreamento:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	28 %	16 %	6 %	3 %	5 %	2 %
25<T≤28 ºC	67 %	68 %	31 %	22 %	45 %	34 %
T>28 ºC	5 %	16 %	63 %	75 %	50 %	65 %
Com persiana a ocultar 25 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	48 %	32 %	11 %	8 %	15 %	8 %
25<T≤28 ºC	52 %	66 %	50 %	36 %	48 %	44 %
T>28 ºC	0 %	2 %	39 %	56 %	37 %	48 %
Com persiana a ocultar 50 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	78 %	65 %	19 %	14 %	29 %	21 %
25<T≤28 ºC	22 %	35 %	68 %	62 %	49 %	51 %
T>28 ºC	0 %	0 %	13 %	24 %	22 %	28 %
Com persiana a ocultar 75 % da janela:						
Clima:	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
Edifício:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
T≤25 ºC	98 %	94 %	37 %	28 %	52 %	43 %
25<T≤28 ºC	2 %	6 %	62 %	68 %	39 %	45 %
T>28 ºC	0 %	0 %	1 %	4 %	9 %	12 %

Tabela 5-9: Temperatura média interior do edifício isolado e em banda durante a estação de arrefecimento, para I_u=0.8.

Temperatura média interior:						
Dispositivo de	V N Gaia (V1)		Lisboa (V2)		Almada (V3)	
sombreamento:	Isolado	Banda	Isolado	Banda	Isolado	Banda
0%	25.8	26.5	28.3	29.1	27.9	29.0
25%	24.9	25.5	27.3	27.9	27.3	27.9
50%	23.8	24.3	26.3	26.8	26.2	26.7
75%	22.8	23.1	25.4	25.8	25.2	25.5

Nas tabelas anteriores, que resumem os resultados obtidos com janelas cuja área é igual a 15 % da área útil dos compartimentos, é possível verificar que as temperaturas médias calculadas para o interior dos edifícios (isolado e banda) e

distribuição percentual por intervalo de temperaturas durante a estação de arrefecimento são praticamente iguais para os dois índices de utilização do solo estudados.

Os Gráficos 5-1 e 5-2 comparam os valores obtidos para a temperatura média no interior dos edifícios em cada clima e para as diferentes opções de sombreamento.

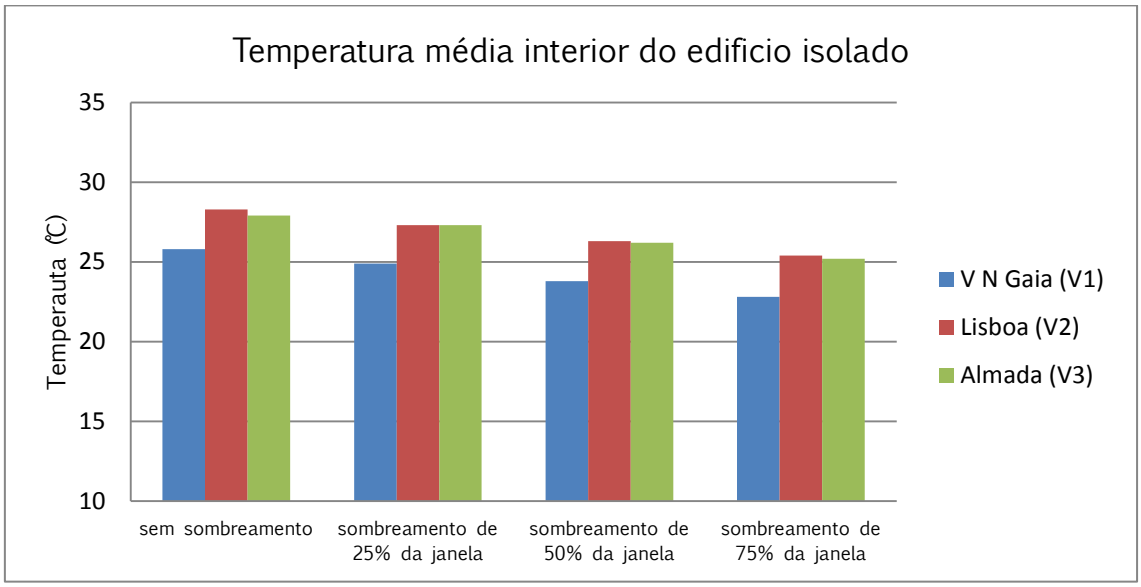


Gráfico 5-1:Temperatura média interior no edifício isolado durante a estação de arrefecimento.

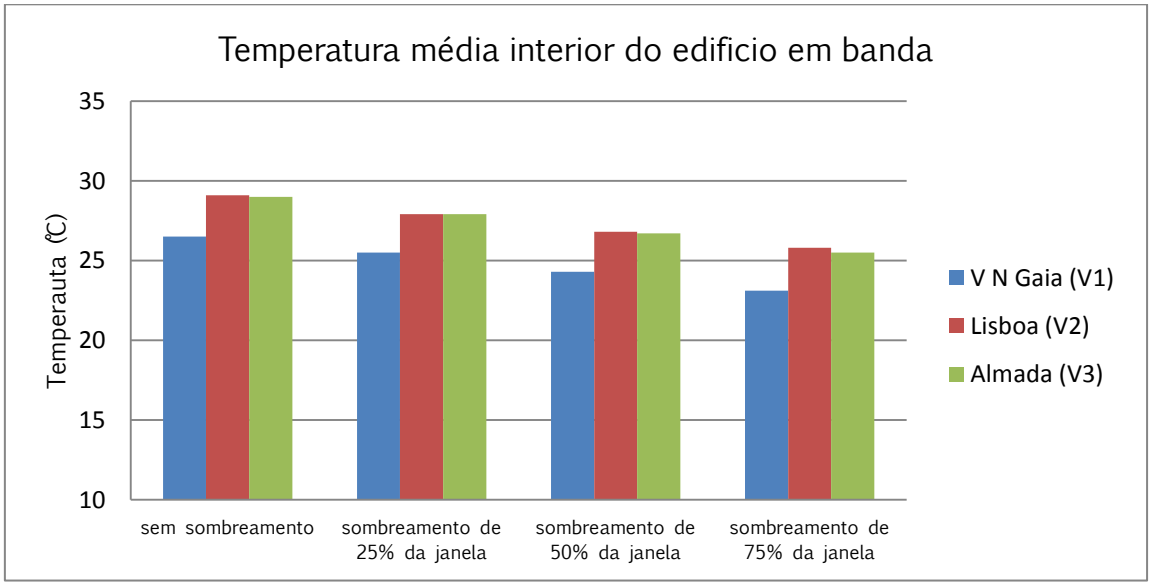


Gráfico 5-2: Temperatura média interior no edifício em banda durante a estação de arrefecimento.

Os Gráficos 5-3 e 5-4 ilustram a distribuição percentual das horas da estação de arrefecimento pelos três intervalos de temperatura, para o edifício em banda e para o edifício isolado, quando o sombreador está a ocultar 75 % da área da janela.

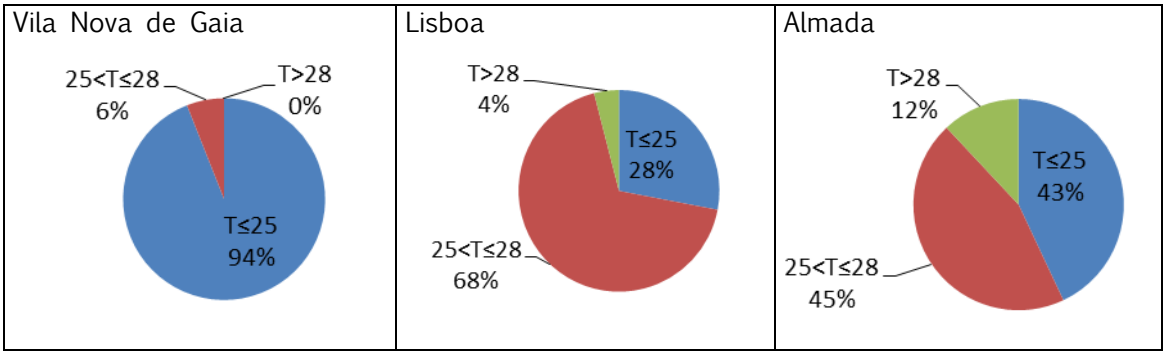


Gráfico 5-3: Distribuição por temperatura interior do edifício em banda do tempo da estação de arrefecimento com persiana a ocultar 75 % da janela.

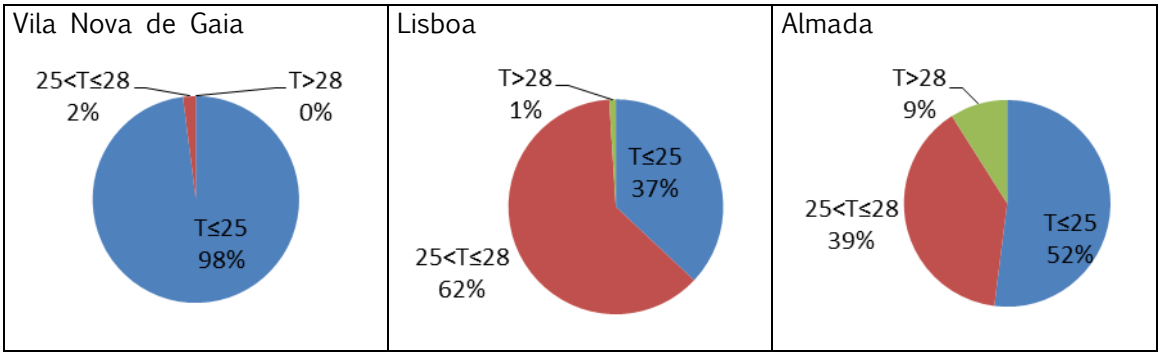


Gráfico 5-4: Distribuição por temperatura interior do edifício isolado do tempo da estação de arrefecimento com persiana a ocultar 75 % da janela.

A análise dos resultados obtidos nos estudos do comportamento térmico, do edifício isolado e em banda, sem recurso a arrefecimento e utilizando persiana exterior para reduzir os ganhos solares através das janelas durante o Verão, permite verificar o seguinte:

- Para ambos os cenários edifício isolado e edifício em banda, o comportamento térmico durante o Verão é independente do índice de utilização do solo.

- Para o mesmo clima e percentagem de sombreamento das janelas, o edifício em banda apresenta temperaturas interiores mais elevadas que o edifício isolado.

- A utilização de sombreamento exterior das janelas reduz obviamente a temperatura média no interior dos edifícios, sendo esta redução tanto maior quanto maior for a percentagem da área da janela sombreada.

- A utilização de persiana exterior para ocultar 75 % da área janela permite garantir, para o clima de Vila Nova de Gaia (V1), temperaturas interiores inferiores a 28 ºC no interior dos edifícios durante toda a estação.

- A utilização de persianas para ocultar 75 % da área janela nos climas de Lisboa (V2) e Almada (V3) permite que percentagem de horas durante a estação e arrefecimento, em que a temperatura interior é superior a 28 ºC seja muito baixa. O valor mais elevado é de 12 % das horas da estação de arrefecimento, para o edifício em banda e para o clima de Almada. Esta percentagem poderá ainda diminuir um pouco mais usando taxas de sombreamento superiores a 75 % sem comprometer a possibilidade de iluminação natural.

Verifica-se que quando a persiana oculta 75 % da área da janela, o número de horas com temperatura interior superior a 28 ºC está sempre abaixo dos 20 %. De acordo com os critérios de conforto da ASHRAE, pode considerar-se que está garantido um nível de conforto térmico aceitável durante um período superior a 80 % da estação.

Este estudo permite concluir que a utilização de sombreamento exterior nas janelas traduz-se em condições de conforto térmico no interior que dispensarão a utilização de meios mecânicos de arrefecimento. Com base nesta conclusão, os estudos do comportamento térmico foram, a partir daqui, realizados considerando que não existem meios de arrefecimento dos edifícios. Com base nesta conclusão, as necessidades de energia para condicionamento térmico do edifício limita-se às necessidades da estação de aquecimento.

5.3 Simulação térmica dos edifícios inseridos em malha urbana

Realizaram-se estudos do comportamento térmico do edifício com as características descritas, para os sete climas, utilizando o programa TRNSYS com as condições de sombra reais a que o edifício está sujeito devido aos edifícios circundantes. As condições de sombra utilizadas, para os cenários estudados, foram as apresentadas no Capítulo 3 e utilizadas no Capítulo 4.

A seguir apresentam-se os resultados obtidos para cada clima e por fim estabelecem-se comparações por tipo de edifício.

5.3.1 Resultados das simulações para o clima de Coimbra

Apresentam-se a seguir os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento (Nic), para o clima de Coimbra. Os resultados obtidos foram sistematizados em tabelas para cada uma das habitações (zona 1 e zona 2) por piso (Figura 4-2 e 4-4) e valor médio por edifício. As tabelas estão organizadas por tipo de edifício isolado e banda, e pelo índice de utilização do solo (I_u).

Tabela 5-10: Resultados para as Nic, por zona, e valores médios para os edificios isolado e em banda com 4 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra.

Nic isolado	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	
4ºpiso	31.1	31.1	31.3	31.3	31.7	31.7	32.1	32.1	
3ºpiso	15.7	15.8	16.1	16.2	17.2	17.3	18.4	18.4	
2ºpiso	16.3	16.3	16.8	16.8	19.3	19.4	23.9	23.8	
1ºpiso	32.0	32.0	33.4	33.7	40.8	40.6	44.3	44.1	
Nic médias	23.8		24.4		27.2		29.6		kWh/(m²ano)

Nic banda	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	
4ºpiso	22.2	22.2	22.3	22.3	22.6	22.6	22.8	22.8	
3ºpiso	10.2	10.3	10.4	10.4	11.1	11.1	11.4	11.4	
2ºpiso	10.3	10.4	10.8	10.9	11.5	11.5	12.4	12.4	
1ºpiso	22.5	22.5	23.4	23.4	24.8	24.9	26.2	26.2	
Nic médias	16.3		16.7		17.5		18.2		kWh/(m²ano)

Os resultados obtidos permitem observar o seguinte:

- Para o mesmo valor de I_u, o edifício em banda apresenta Nic mais baixas que o edifício isolado. Para o mesmo valor de I_u os edifícios em banda tem um maior afastamento entre si, permitindo uma melhor penetração solar, tornando-os melhor solução.

- O último piso tem um comportamento térmico pior que os pisos intermédios. As Nic do 4º piso são superiores às do 3º e 2º pisos, e constantes para os vários valores do índice de utilização do solo. Este comportamento não está associado às sombras dos edifícios circundantes, mas às perdas térmicas pela cobertura. A cobertura deveria ser mais isolada termicamente.

- As Nic dos pisos inferiores são mais elevadas do que as dos pisos intermédios. O valor das Nic do 1º e do 2º piso aumentam com o aumento do I_u, sendo que as Nic do 1º piso aumentam mais do que as do 2º piso. É a subida das Nic dos pisos inferiores que origina o aumento das Nic médias com o aumento do valor do I_u. Este comportamento está associado a dois fenómenos: o isolamento térmico insuficiente no pavimento do 1º piso e ainda diminuição de ganhos solares ocorrida devido ao aumento do I_u.

A seguir apresentam-se os resultados obtidos para os edifícios com 8 pisos.

Tabela 5-11: Resultados para as Nic, por zona e valores médios para os edificios isolado e em banda com 8 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra.

Nic isolado	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	
8ºpiso	30.6	30.6	30.6	30.7	31.1	31.0	31.1	31.2	
7ºpiso	15.0	15.1	15.2	15.3	15.8	15.8	15.9	15.9	
6ºpiso	13.9	13.9	14.4	14.4	15.0	15.0	15.3	15.4	
5ºpiso	14.1	14.0	14.5	14.5	15.2	15.1	16.4	16.6	
4ºpiso	14.3	14.2	14.7	14.7	15.8	16.2	18.7	19.1	
3ºpiso	14.6	14.5	15.1	15.2	18.0	18.5	20.8	21.1	
2ºpiso	15.9	15.9	17.0	17.1	20.7	21.2	23.2	23.6	
1ºpiso	31.6	31.7	34.3	34.3	38.3	38.8	40.9	41.2	
Nic médias	18.7		19.5		21.3		22.9		kWh/(m²ano)

Nic banda	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	
8ºpiso	21.6	21.7	21.8	21.8	21.9	22.0	22.0	22.1	
7ºpiso	9.7	9.8	9.8	9.9	9.9	10	10.1	10.1	
6ºpiso	8.7	8.7	8.8	8.8	9.1	9.1	9.4	9.5	
5ºpiso	8.5	8.6	8.7	8.7	9.3	9.3	9.6	9.6	
4ºpiso	8.6	8.6	9.0	9.0	9.5	9.6	9.8	9.8	
3ºpiso	8.8	8.8	9.4	9.5	9.9	9.9	10.4	10.4	
2ºpiso	9.9	10.0	10.7	10.8	11.2	11.2	12.2	12.3	
1ºpiso	22.2	22.3	23.1	23.2	24.4	24.5	25.7	25.7	
Nic médias	12.3		12.7		13.2		13.7		kWh/(m²ano)

A análise dos resultados obtidos para os edifícios com 8 pisos mostra que estes apresentam a mesma tendência de comportamento que os edifícios com 4 pisos. É ainda possível verificar o seguinte:

- O aumento do número de pisos faz baixar as Nic médias do edifício, situação novamente expectável uma vez que os pisos intermédios têm comportamentos térmicos melhores. Como consequência, para o mesmo valor de I_u, os edifícios com mais pisos têm Nic médias mais baixas.

- Tal como nos edifícios com 4 pisos, as Nic do piso superior (8º piso) são mais elevadas do que as dos pisos intermédios. Nota-se ainda que as Nic do 7º piso são ligeiramente superiores às dos restantes pisos intermédios. O 8º piso tem perdas térmicas superiores às dos pisos intermédios, o que origina, para além de maiores necessidades energéticas para aquecimento, um menor número de horas em que a temperatura interior é superior a 20 ºC. É este o

aspeto que conduz a que o 7º piso tenha as Nic superiores às dos restantes pisos intermédios e que está demonstrado na Tabela 5-12.

A Tabela 5-12 mostra o número de horas em que, durante a estação de aquecimento, a temperatura interior é superior a 20 ºC, para os índices de utilização do solo de 0.3 e 1.0.

Tabela 5-12: Número de horas com temperatura interior superior a 20 ºC durante a estação de aquecimento.

Edifício isolado			Edifício em banda	
I_u=0.3	I_u=1.0		I_u=0.3	I_u=1.0
1893	1868	8ºpiso	2427	2366
2837	2755	7ºpiso	3430	3278
2964	2819	6ºpiso	3581	3369
2957	2733	5ºpiso	3606	3363
2939	2491	4ºpiso	3601	3330
2904	2265	3ºpiso	3563	3249
2762	2026	2ºpiso	3399	3020
1855	1320	1ºpiso	2403	2090

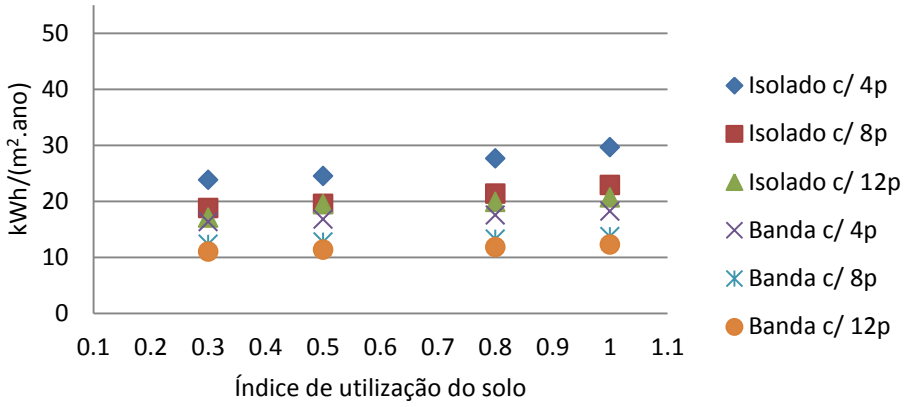
A seguir apresentam-se os resultados das necessidades energéticas para o conforto térmico dos edifícios com 12 pisos, em ambos os cenários e para os quatro índices de utilização do solo estudados.

Tabela 5-13: Resultados para as Nic, por zona e valores médios para os edificios isolado e em banda com 12 pisos e I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 no clima de Coimbra

Nic isolado	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2
12ºpiso	30.4	30.5	30.6	30.7	30.8	30.8	30.9	30.9
11ºpiso	14.9	14.9	15.2	15.3	15.3	15.4	15.4	15.6
10ºpiso	13.6	13.6	14.4	14.4	14.5	14.6	14.8	14.8
9ºpiso	13.5	13.5	14.5	14.5	14.7	14.7	14.9	14.9
8ºpiso	13.8	13.8	14.7	14.7	14.9	14.9	15.3	15.4
7ºpiso	13.9	13.9	14.9	15.0	15.2	15.4	16.3	16.5
6ºpiso	14.0	14.0	15.6	15.7	16.1	16.4	18.1	18.2
5ºpiso	14.1	14.1	17.0	17.1	17.6	17.9	19.1	19.2
4ºpiso	14.2	14.2	18.1	18.3	18.7	19.0	20.0	20.0
3ºpiso	14.4	14.6	18.8	19.2	19.4	19.9	20.7	20.7
2ºpiso	15.8	16.0	20.6	21.0	21.1	21.7	22.3	22.3
1ºpiso	31.5	31.5	37.6	38.1	38.2	38.9	39.5	39.5
Nic médias	17.0		19.4		19.8		20.7	kWh/(m²ano)

Nic banda	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
kWh/(m²ano)	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2	zona 1	zona 2
12ºpiso	21.5	21.6	21.7	21.7	21.8	21.8	21.8	21.9
11ºpiso	9.6	9.7	9.7	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9
10ºpiso	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9
9ºpiso	8.4	8.5	8.5	8.5	8.7	8.7	9.1	9.1
8ºpiso	8.4	8.4	8.5	8.5	9.0	9.0	9.3	9.3
7ºpiso	8.4	8.5	8.5	8.6	9.2	9.3	9.5	9.5
6ºpiso	8.4	8.5	8.7	8.7	9.4	9.4	9.6	9.6
5ºpiso	8.5	8.5	9.0	9.0	9.5	9.6	9.8	9.8
4ºpiso	8.5	8.6	9.2	9.3	9.6	9.7	10.1	10.1
3ºpiso	8.8	8.8	9.5	9.6	9.9	10.0	10.9	10.9
2ºpiso	10.0	10	10.7	10.8	11.2	11.2	12.4	12.4
1ºpiso	22.3	22.3	23.1	23.1	24.4	24.4	25.6	25.7
Nic médias	11.0		11.3		11.8		12.2	kWh/(m²ano)

O aumento do número de pisos de 8 para 12 teve um efeito semelhante ao verificado com o aumento 4 para 8 pisos: a diminuição das Nic médias dos edifícios. O Quadro 5-1 mostra os resultados obtidos, sob a forma de gráfico e tabela para as Nic médias dos edifícios em kWh/(m².ano) e ainda o aumento das Nic a que cada edifício está sujeito devido ao aumento do I_u de 0.3 para 1.0 e a diminuição das Nic entre a solução de edifício isolado com 4 pisos e em banda com 12 pisos em cada I_u.



Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	23.8	18.7	17.0	16.3	12.3	11.0	54
0.5	24.4	19.5	19.4	16.7	12.7	11.3	54
0.8	27.2	21.3	19.8	17.5	13.2	11.8	57
1.0	29.6	22.9	20.7	18.2	13.7	12.2	59
Subida	25	22	21	12	11	11	%

Quadro 5-1: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Coimbra.

A análise global dos resultados evidencia ainda o seguinte:

- O aumento do índice de utilização do solo tem mais impacto na subida das Nic nos edifícios isolados do que nos edifícios em banda.

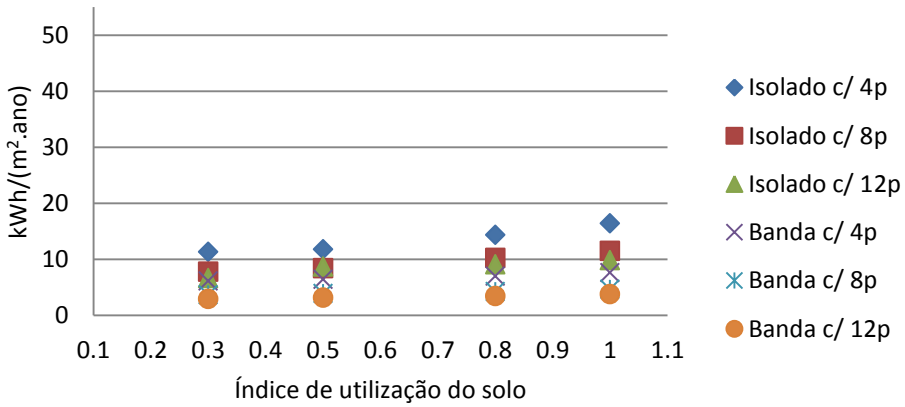
- Para o mesmo índice de utilização do solo, a melhor solução (edifício em banda com 12 pisos) tem metade das Nic da solução mais gravosa – edifício isolado com 4 pisos.

5.3.2 Resultados das simulações para o clima de Lisboa

Apresentam-se a seguir os resultados obtidos para as necessidades de aquecimento (Nic) relativos aos edifícios e cenários em estudo, para o clima de Lisboa.

Os valores detalhados das Nic por piso e zona/habitação dos diversos edifícios para cada índice de utilização do solo, apesar de diferentes, apresentam o mesmo padrão de comportamento que os resultados obtidos com o clima de Coimbra. Razão pela qual esses valores não são aqui apresentados de forma detalhada, encontrando-se no Anexo K.

O Quadro 5-2 mostra os resultados obtidos, sob a forma de gráfico e tabela, para as Nic médias dos edifícios em kWh/(m^2.ano) e ainda a variação das Nic.



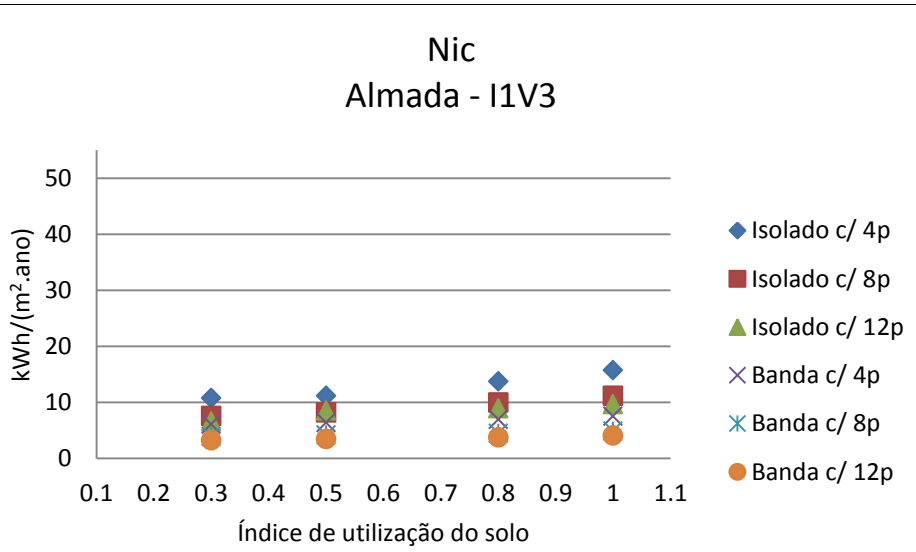
Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	11.3	7.8	6.7	6.1	3.6	2.9	74
0.5	11.8	8.7	8.4	6.4	3.9	3.1	73
0.8	14.4	10.2	9.1	7.0	4.3	3.4	76
1.0	16.4	11.5	9.8	7.6	4.6	3.8	77
Subida	45	48	48	25	27	29	%

Quadro 5-2: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Lisboa.

As Nic obtidas com o clima de Lisboa são, em valor absoluto, mais baixas que as encontradas com o clima de Coimbra, mas apresentam a mesma distribuição e conduzem às mesmas conclusões.

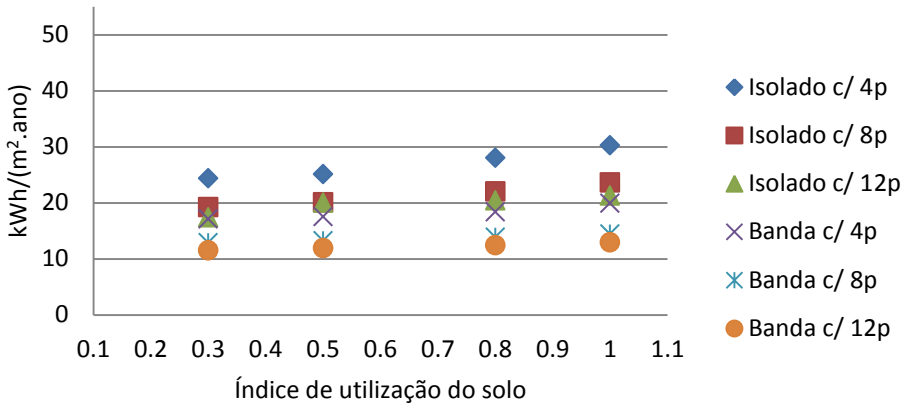
5.3.3 Resultados das simulações para os climas de Almada, Vila Nova de Gaia, Braga, Castelo Branco e Vila Real

Os restantes climas estudados, Almada, Vila Nova de Gaia, Braga, Castelo Branco e Vila Real, apresentam uma distribuição de resultados semelhante à dos já apresentados, variando apenas os valores. Os quadros seguintes contêm os valores obtidos para as necessidades de aquecimento (Nic) médias dos edifícios para cada um dos climas. Os valores detalhados estão organizados em tabelas no Anexo K.



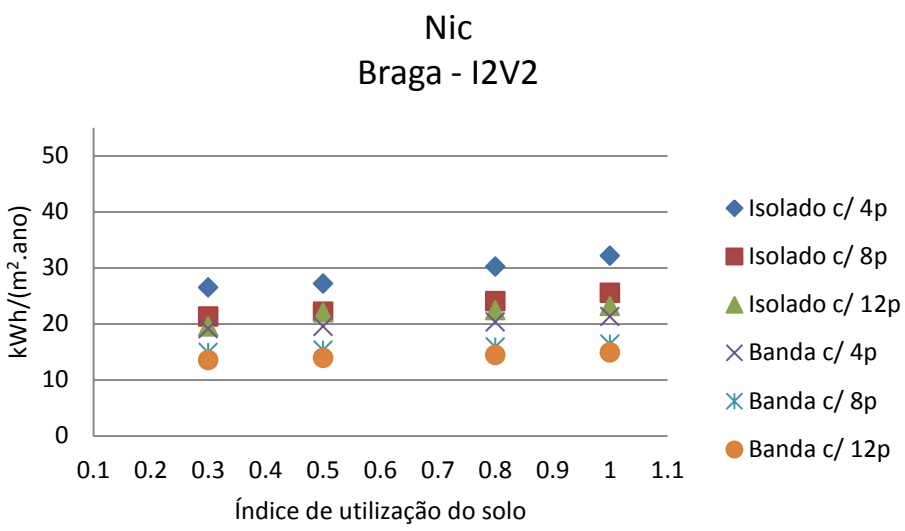
Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	10.7	7.5	6.6	6.0	3.9	3.2	70
0.5	11.2	8.2	8.5	6.4	4.2	3.5	69
0.8	13.7	10.0	8.9	6.9	4.5	3.7	73
1.0	15.7	11.1	9.7	7.5	4.9	4.1	74
Subida	47	48	47	24	25	26	%

Quadro 5-3: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Almada.



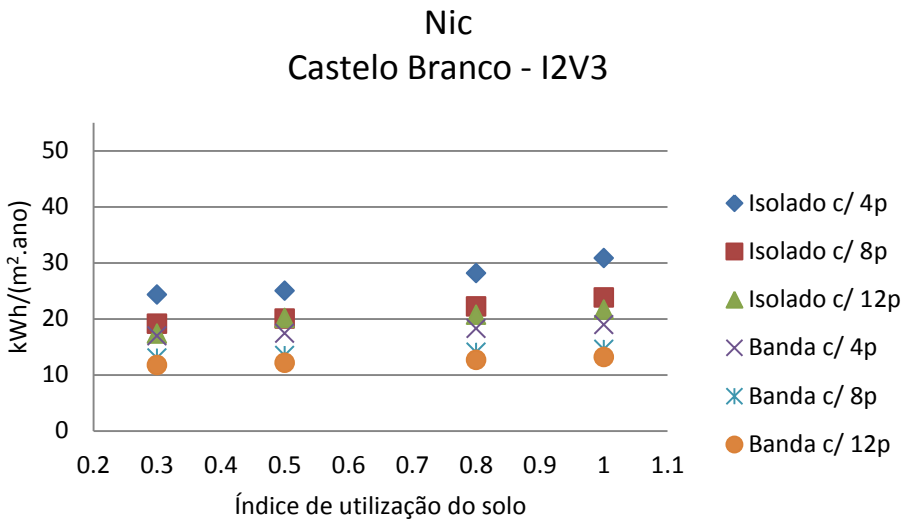
Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	24.4	19.2	17.4	17.1	12.9	11.5	53
0.5	25.1	20.1	20.0	17.5	13.2	11.9	53
0.8	28.0	22.0	20.4	18.4	13.9	12.4	56
1.0	30.2	23.6	21.3	19.2	14.4	12.9	57
Subida	24	23	22	17	12	12	%

Quadro 5-4: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Vila Nova de Gaia.



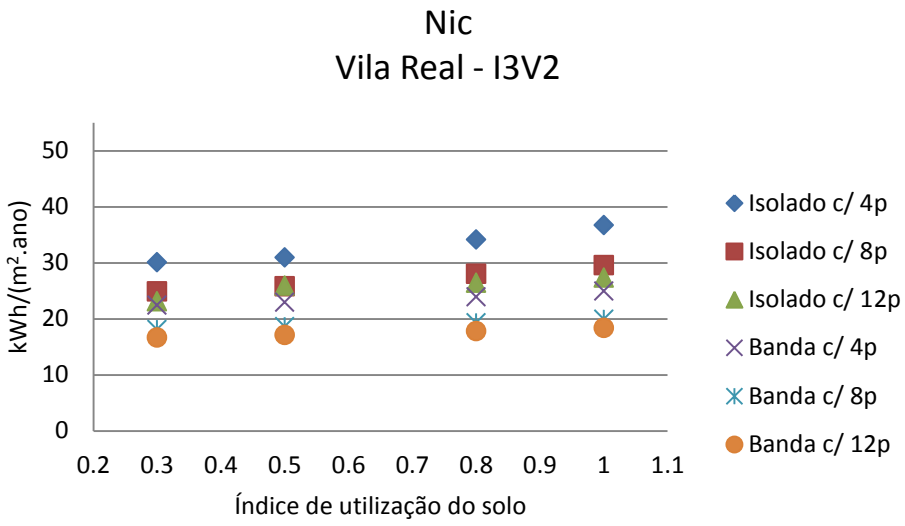
Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	26.5	21.3	19.5	19.1	14.9	13.5	49
0.5	27.2	22.1	22.0	19.5	15.3	13.9	49
0.8	30.2	24.0	22.4	20.3	15.8	14.4	52
1.0	32.1	25.5	23.1	21.2	16.4	14.9	54
Subida	21	20	19	11	10	10	%

Quadro 5-5: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Braga.



Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	24.3	19.1	17.4	16.9	13.0	11.7	52
0.5	25.0	20.0	20.1	17.4	13.4	12.1	51
0.8	28.1	22.2	20.7	18.2	14.0	12.7	55
1.0	30.8	23.8	21.6	19.0	14.5	13.2	57
Subida	27	25	24	12	12	12	%

Quadro 5-6: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Castelo Branco.



Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	30.1	24.8	23.1	22.4	18.1	16.6	45
0.5	30.9	25.8	25.9	22.9	18.6	17.1	45
0.8	34.1	28.0	26.4	23.9	19.3	17.8	48
1.0	36.7	29.6	27.3	24.9	19.9	18.3	50
Subida	22	19	18	11	10	10	%

Quadro 5-7: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Vila Real.

5.3.8 Comparação dos resultados obtidos por edifícios

A Tabela 5-14 mostra os gráficos obtidos com as Nic médias dos diferentes edifícios nos sete climas estudados.

Tabela 5-14: Comparação das Nic obtidas para os edifícios isolados para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados.

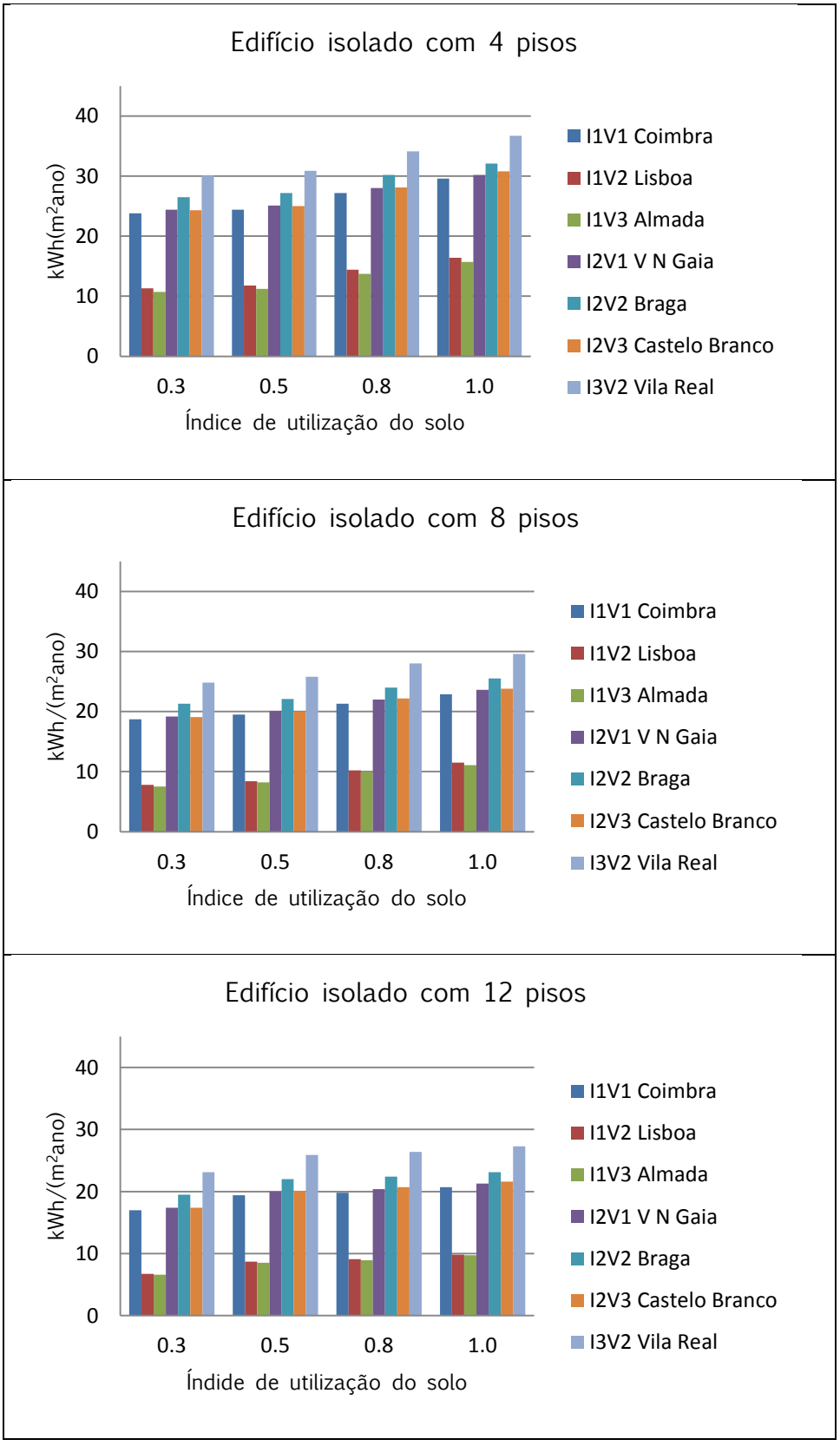
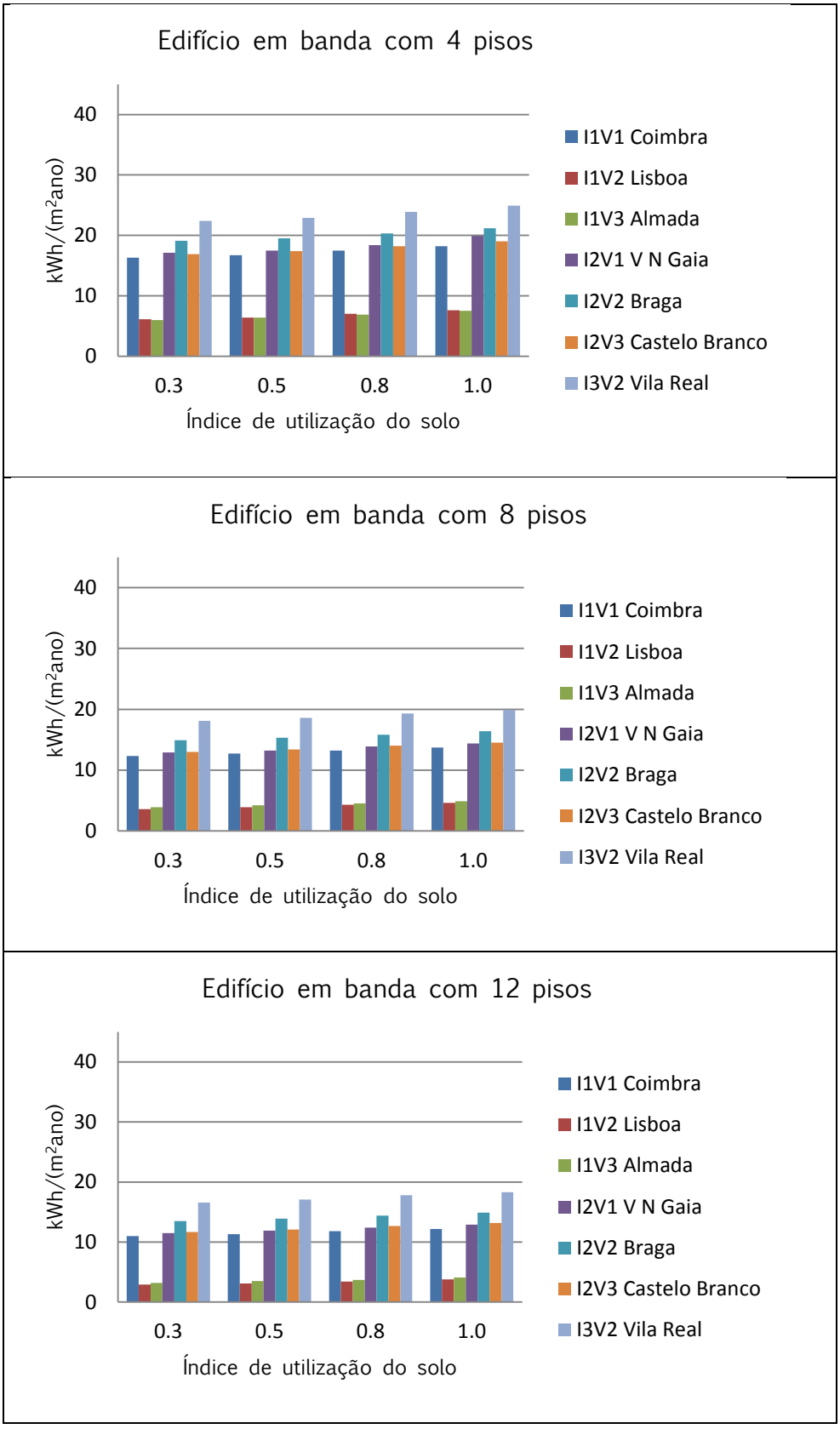


Tabela 5-15: Comparação das Nic obtidas para os edifícios em banda para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados.

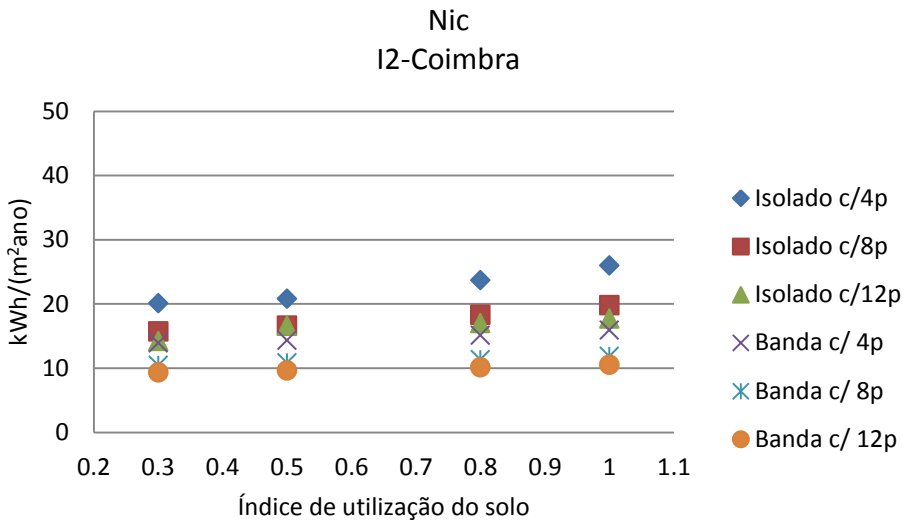


Esta comparação permite observar que o clima de Coimbra, classificado como I1 de acordo com estudo e levantamento realizado no Capítulo 3, tem Nic mais próximas de Vila Nova de Gaia (I2) ou Braga (I2) do que os restantes climas I1 como Lisboa ou Almada.

A classificação dos climas foi um dos aspetos que sofreu alteração com a revisão do RCCTE (2006) para o REH (2013). No caso de Coimbra, o REH alterou a sua classificação, passando esta para I2. De acordo com os resultados obtidos, a alteração da classificação do clima de Coimbra, realizada com a revisão regulamentar, parece adequada.

A variabilidade da classificação regulamentar dos climas não interfere diretamente com os resultados. Tal como foi descrito, os resultados foram obtidos recorrendo a séries anuais de dados horários os quais incluem a temperatura, a humidade relativa e a radiação solar. A única consequência da variação da classificação é que esta determina o coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{ref}) da envolvente. No caso de Coimbra, a passagem de I1 para I2 significa a diminuição do U_{ref} e portanto a diminuição dos valores de Nic.

Em face do exposto, repetiram-se as simulações do comportamento térmico para o clima de Coimbra, considerando agora o edifício com as características correspondentes à zona climática I2. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 5-8 e os valores detalhados no Anexo L.



Nic	Edifício:						Variação:
I_u	Isolado c/4p kwh/(m²ano)	Isolado c/8p kwh/(m²ano)	Isolado c/12p kwh/(m²ano)	Banda c/4p kwh/(m²ano)	Banda c/8p kwh/(m²ano)	Banda c/12p kwh/(m²ano)	Descida
0.3	20.1	15.7	14.2	13.9	10.4	9.3	54
0.5	20.8	16.6	16.6	14.3	10.8	9.6	54
0.8	23.7	18.3	17.0	15.1	11.3	10.1	57
1.0	26.0	19.8	17.7	15.9	11.8	10.5	60
Subida	29	26	25	14	13	13	%

Quadro 5-8: Nic do edifício inserido em malha urbana, nos cenários de isolado e em banda com 4, 8 e 12 pisos e para I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0, no clima de Coimbra.

Verificou-se o esperado: os valores das Nic médias baixaram ligeiramente em todos os cenários. A seguir apresentam-se os quadros comparativos globais com os novos valores para o clima de Coimbra.

Tabela 5-16: Comparação das Nic obtidas para os edifícios isolados para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados.

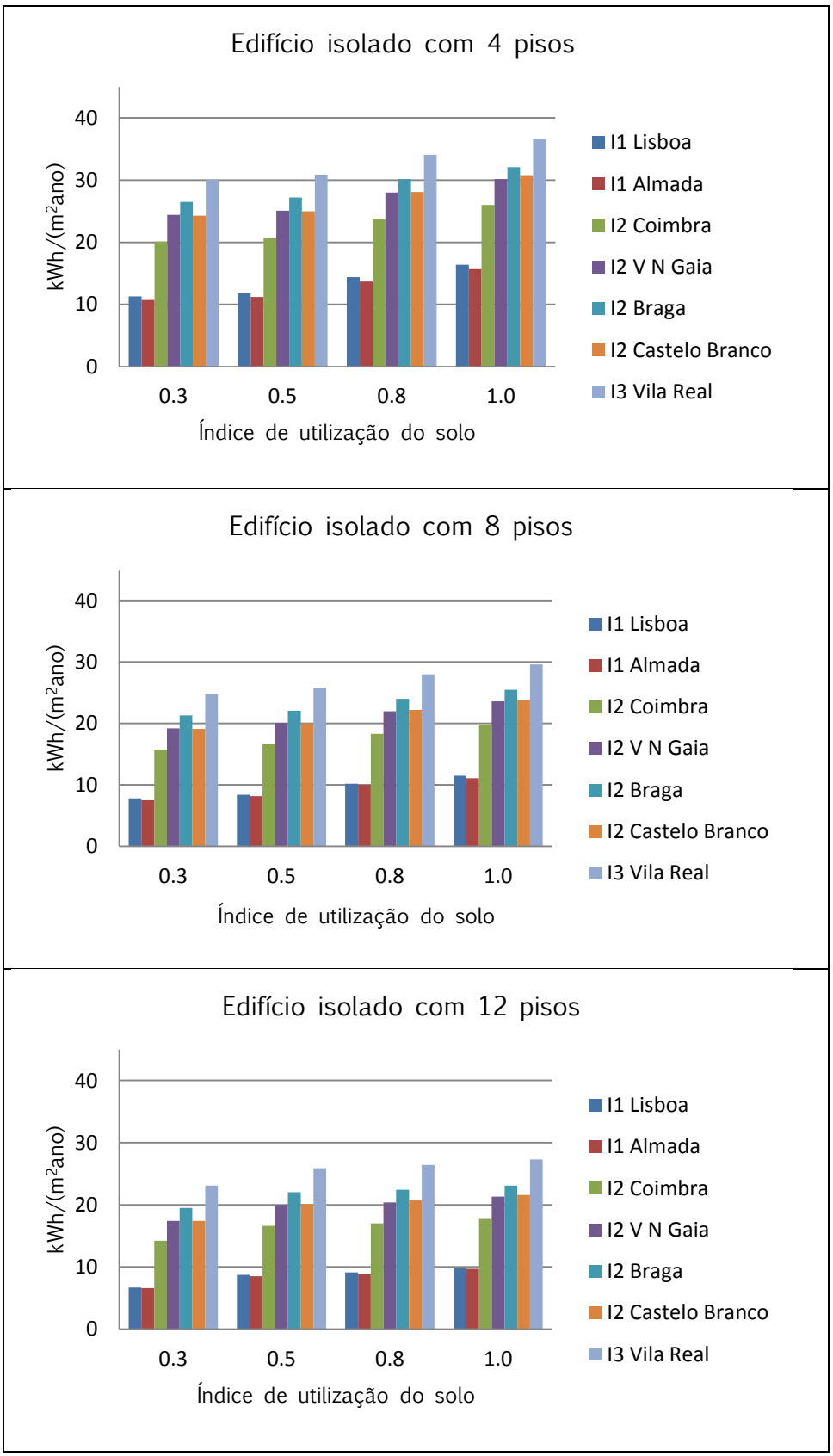
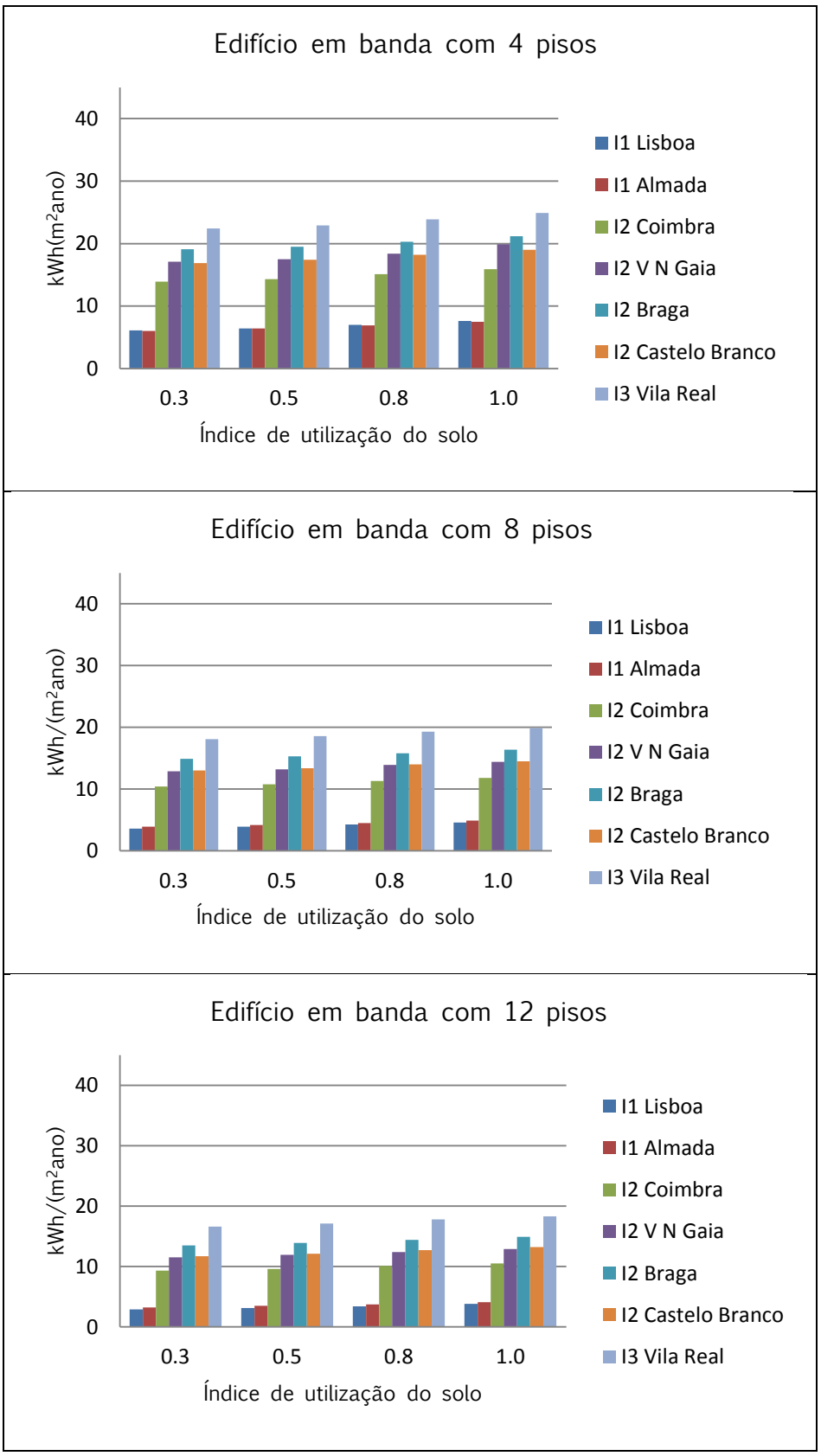


Tabela 5-17: Comparação das Nic obtidas para os edifícios em banda para os I_u de 0.3, 0.5, 0.8 e 1.0 nos sete climas estudados.



Os resultados obtidos e a comparação feita mostram que a atual classificação para o clima de Coimbra no REH está mais de coerente com as restantes classificações do que no RCCTE.

5.3.9 Síntese dos aspetos relevantes nos resultados obtidos

A partir dos resultados obtidos, para as necessidades energéticas para aquecimento, é possível sistematizar algumas características relativas ao comportamento térmico do edifício nos cenários estudados.

Apesar das características próprias de cada um dos sete climas e dos diferentes cenários estudados, o comportamento térmico do edifício durante a estação de aquecimento revelou algumas características comuns. A seguir apresenta-se uma síntese e análise dos aspetos comuns, e por isso relevantes, dos resultados obtidos:

- **Para todos os climas e cenários de malha urbana, as necessidades globais de energia para aquecimento (Nic) médias do edifício aumentam sempre que o índice de utilização do solo (I_u) aumenta**.

  Os valores encontrados mostram que, o aumento do I_u de 0.3 para 1.0 conduz às seguintes subidas das Nic médias:

  - Entre 24 % e 29 % nos edifícios em banda, para a zona climática I1.
  - Entre 45 % e 48 % nos edifícios isolados, para a zona climática I1.
  - Entre 10 % a 17 % nos edifícios em banda, para a zona climática I2.
  - Entre 19 % a 27 % nos edifícios isolados, para a zona climática I2.
  - Entre 10 % a 11 % nos edifícios em banda, para a zona climática I3.
  - Entre 18 % a 22 % nos edifícios isolados, para a zona climática I3.

  Este comportamento vai ao encontro do esperado já que, quanto maior é o I_u, menor é o afastamento entre os edifícios. A redução do afastamento entre edifícios tem como consequência a diminuição dos ganhos solares destes. O afastamento mínimo imposto pela legislação vigente, assunto analisado no Capítulo 3, não garante o acesso ao Sol durante todo o ano e em toda a altura da fachada.

- **Para todos os climas e cenários de malha urbana, as Nic médias do edifício diminuem com o aumento do número de pisos**.

  Os valores encontrados mostram que o amento do número de pisos faz diminuir as Nic médias do edifício da seguinte forma:

  - Entre 35 % a 51 % nos edifícios em banda na zona climática I1.
  - Entre 26 % a 41 % nos edifícios isolados na zona climática I1.
  - Entre 25 % a 34 % nos edifícios em banda na zona climática I2.
  - Entre 20 % a 30 % nos edifícios isolados na zona climática I2.
  - Entre 19 % a 26 % nos edifícios em banda na zona climática I3.
  - Entre 17 % a 26 % nos edifícios isolados na zona climática I3.

  As Nic dos pisos intermédios são sempre menores do que as dos pisos superiores e inferiores. Este aspeto deve-se ao facto de que os pisos intermédios têm uma envolvente ou área de contacto com o exterior menor que os pisos extremos e, portanto, as perdas de calor pela envolvente são menores.

- **Para todos os climas verifica-se que o edifício que origina as Nic médias mais baixas é o edifício em banda com o maior número de pisos**

  Os valores mostram que a troca de um edifício isolado por um edifício em banda, com o mesmo número de pisos, reduz as Nic médias entre:

  - 44 % e 62 % para a zona climática I1.
  - 28 % e 41 % para a zona climática I2.
  - 25 % e 34 % para a zona climática I3.

  Os valores mostram ainda que a troca de um edifício isolado com 4 pisos por um edifício em banda com 12 pisos, representa uma descida das Nic médias entre:

  - 69 % e 77 % para a zona climática I1.
  - 49 % e 60 % para a zona climática I2.
  - 45 % e 50 % para a zona climática I3.

  Existem duas razões que conduzem a estes resultados:

  -A primeira é devida ao facto de que, para o mesmo I_u, o cenário de edifícios em banda proporciona um maior afastamento entre os edifícios. Este facto, já explicado, conduz a maiores ganhos solares.

-A segunda, também já apresentada, deve-se à diminuição do impacto que as Nic dos pisos extremos, mais elevadas, têm nas Nic médias dos edifícios.

A análise das características do comportamento térmico do edifício, nos diferentes cenários, permite concluir que a organização urbana paradigmática é constituída por edifícios em banda, com maior número de pisos possível e um baixo índice de utilização do solo.

Para se perceber melhor o significado e a importância dos resultados obtidos, especialmente os resultados do melhor cenário, estabeleceu-se uma comparação que a seguir se apresenta.

5.3.10 Comparação dos resultados obtidos com uma *Passive House*

Uma *Passive House* é, de acordo com a Associação Passivhaus Portugal através da sua página na Internet, "*um conceito construtivo que define um padrão que é eficiente, sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e sustentável*".

Uma habitação, para ser considerada *Passive House,* não pode consumir mais do que 120 kWh/(m^2ano) de energia primária, para o total dos consumos energéticos, incluindo para além do condicionamento térmico, o aquecimento de água e a iluminação. Este valor não é comparável com os resultados obtidos, porque o estudo realizado não abrangeu a totalidade dos consumos, mas é possível estabelecer comparação a partir dos restantes requisitos estabelecidos na consideração de *Passive House*, que são, para além do consumo em energia primária, o de que uma *Passive House* não pode consumir mais do que 15 kWh/(m^2ano) em necessidades de aquecimento. Este valor deve assegurar que a temperatura interior não seja inferior a 20 ºC e que a taxa de renovação do ar seja de 0.6 RPH. Como foram estas as condições consideradas no presente estudo, é então possível estabelecer comparações.

O Gráfico 5-5 mostra a comparação entre o critério para *Passive House* e os resultados das Nic para edifícios em banda. Para esta comparação utilizaram-se os resultados de um clima de cada classificação climática e o I_u=1.0 por ser o mais gravoso dentro da gama estudada

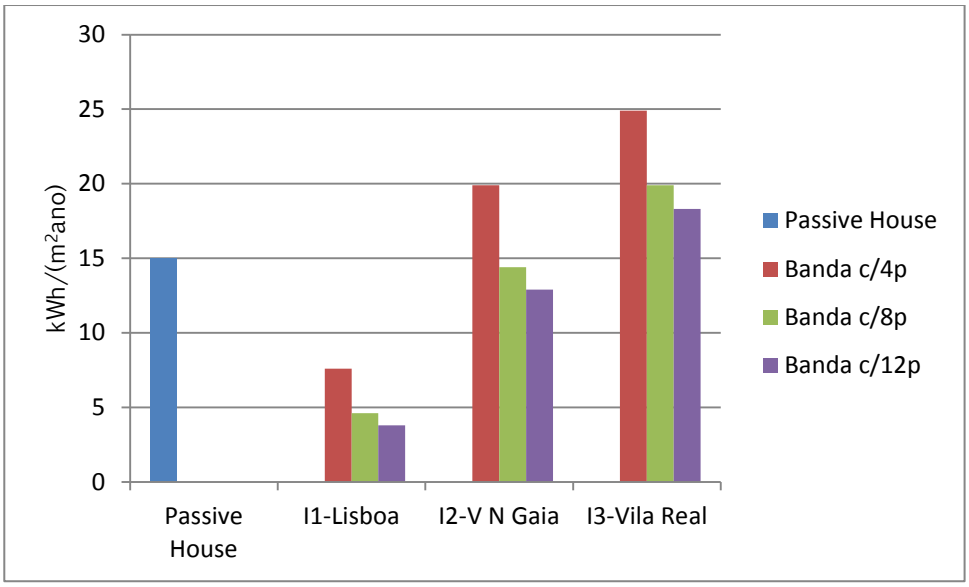


Gráfico 5-5: Comparação das Nic dos edifícios em banda, representativas de cada clima com o requisito para *Passive House*.

Pode então concluir-se que é possível obter a classificação de *Passive House* para a edificação em banda nos climas I1 adotando soluções construtivas com os coeficientes de transmissão térmica de referência e consideradas como economicamente viáveis. Nos climas I2 só os edifícios com 4 pisos não atingem este objetivo sem melhorias na envolvente. Para o clima I3 seria necessário proceder a melhorias na solução construtiva para conseguir obter a classificação de *Passive House* com qualquer número de pisos.

5.4 Estudo de uma alternativa ao edifício tipo

Os resultados obtidos revelaram que um dos fatores que contribuía para o aumento das necessidades globais para aquecimento (Nic) médias de um edifício era o facto das Nic dos pisos/habitações extremos (superiores e inferiores) serem mais elevadas que as dos pisos intermédios.

Estudou-se o comportamento térmico, durante a estação de aquecimento, dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para as três zonas climáticas quando se aumenta significativamente o isolamento térmico proposto na solução de referência para as lajes de cobertura e de piso sobre a garagem. A Tabela 5-18 mostra os coeficientes de transmissão térmica utilizados no estudo anterior (U) e os coeficientes alterados ($U_{alternativo}$) para este estudo. As soluções construtivas correspondem a utilizar 20 cm e 30 cm de isolamento térmico na laje da garagem e da cobertura respetivamente. Estas espessuras de isolamento térmico são superiores às habitualmente utilizadas e conduzem a valores de coeficiente de transmissão térmica muito mais baixos.

Tabela 5-18: Coeficientes de transmissão térmica das lajes de cobertura e piso para o edifício alternativo.

Clima:	I1	I2	I3	
Elemento construtivo:	U ($W/m^2ºC$)	U ($W/m^2ºC$)	U ($W/m^2ºC$)	$U_{alternativo}$ ($W/m^2ºC$)
LAJEGAR	0.72	0.61	0.53	0.18
LAJECOB	0.37	0.33	0.28	0.12

Todas as restantes soluções construtivas foram mantidas. Os climas utilizados foram Lisboa para a zona climática I1, Vila Nova de Gaia para I2 e Vila Real para I3. O valor para o índice de utilização do solo foi de 1.0.

5.4.1 Necessidades energéticas para conforto térmico

Realizam-se simulações do comportamento térmico para determinar as Nic médias dos edifícios em banda obtidas com a alteração dos coeficientes de transmissão térmica (edifício alternativo). As Tabelas 5-19 e 5-20 mostram e comparam os resultados obtidos por piso nos edifícios de 4 e 12 pisos para os climas estudados.

Tabela 5-19: Comparação das Nic entre o edifício de referência e o edifício alternativo com 4 pisos nos climas de Lisboa, Vila Nova de Gaia e Vila Real.

Clima:	I1 Lisboa				I2 V N Gaia				I3 Vila Real			
Nic	Ed referência		**Ed alternativo**		Ed referência		**Ed alternativo**		Ed referência		**Ed alternativo**	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	10.0	10.1	4.6	4.6	24.1	24.2	15.8	15.8	29.4	29.4	22.2	22.2
3ºpiso	3.5	3.5	2.8	2.8	12.0	12.0	11.0	11.1	17.4	17.4	16.5	16.6
2ºpiso	4.0	4.0	3.2	3.3	13.1	13.2	12.2	12.2	18.8	18.9	18.0	18.0
1ºpiso	12.8	12.9	6.6	6.6	27.6	27.6	19.1	19.2	34.0	34.0	26.2	26.3
Nicmédias	7.6		4.3		19.2		14.5		29.4		20.7	kwh/(m²ano)
Diminuição	43 %				24 %				29 %			

Tabela 5-20: Comparação das Nic entre o edifício de referência e o edifício alternativo com 12 pisos nos climas de Lisboa, Vila Nova de Gaia e Vila Real.

Clima:	I1 Lisboa				I2 V N Gaia				I3 Vila Real			
Nic	Ed referência		**Ed alternativo**		Ed referência		**Ed alternativo**		Ed referência		**Ed alternativo**	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	8.9	8.9	3.9	3.9	23.2	23.2	15.1	15.2	28.5	28.5	21.4	21.5
11ºpiso	2.3	2.4	1.9	1.9	10.3	10.3	9.6	9.6	15.4	15.5	14.7	14.8
10ºpiso	1.8	1.8	1.7	1.7	9.2	9.3	9.1	9.1	14.3	14.4	14.2	14.2
9ºpiso	1.8	1.8	1.7	1.8	9.5	9.6	9.5	9.5	14.7	14.7	14.6	14.7
8ºpiso	1.9	2.0	1.9	1.9	9.8	9.8	9.8	9.8	15.0	15.1	15.0	15.0
7ºpiso	2.1	2.1	2.0	2.1	10.0	10.0	9.9	10.0	15.3	15.3	15.2	15.3
6ºpiso	2.2	2.2	2.1	2.2	10.1	10.1	10.1	10.1	15.5	15.5	15.5	15.5
5ºpiso	2.3	2.3	2.2	2.3	10.3	10.3	10.2	10.3	15.8	15.8	15.7	15.8
4ºpiso	2.4	2.5	2.4	2.4	11.0	11.0	10.9	10.9	16.5	16.5	16.4	16.4
3ºpiso	2.9	2.9	2.7	2.8	11.6	11.6	11.4	11.5	17.2	17.3	17.1	17.1
2ºpiso	4.0	4.0	3.5	3.5	13.2	13.2	12.4	12.4	18.9	19.0	18.2	18.2
1ºpiso	12.4	12.9	6.4	6.5	26.7	26.8	18.4	18.5	32.9	32.9	25.1	25.2
Nicmédias	3.8		2.7		12.9		11.4		18.3		17.0	kwh/(m²ano)
Diminuição	29 %				12 %				7 %			

Os resultados obtidos mostram, tal como o esperado, uma diminuição das Nic dos pisos superiores (4º e 12º) e inferiores (1º) e também uma diminuição, não tão significativa, dos pisos adjacentes aos extremos (11º e 2º). Os Gráficos 5-6, 5-7 e 5-8, comparam as Nic médias para cada clima.

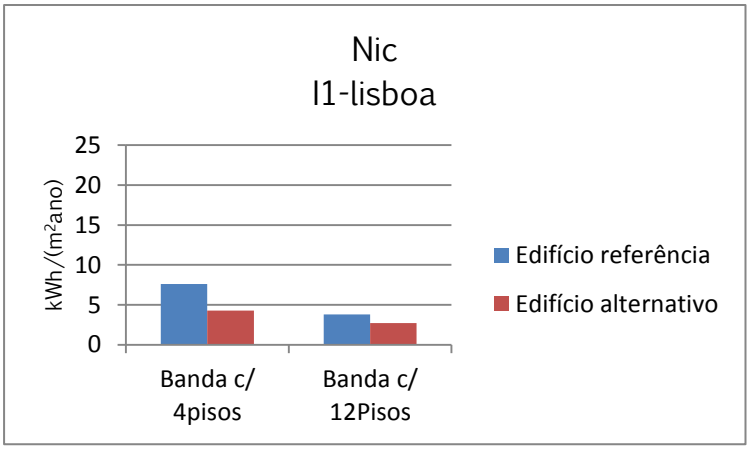


Gráfico 5-6: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Lisboa.

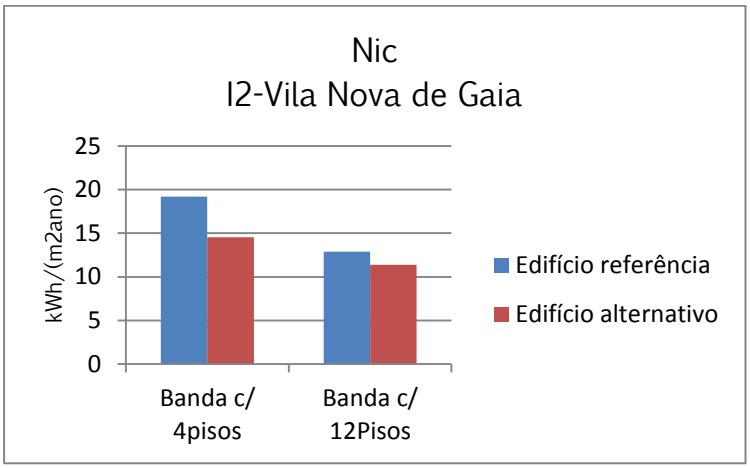


Gráfico 5-7: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Vila Nova de Gaia.

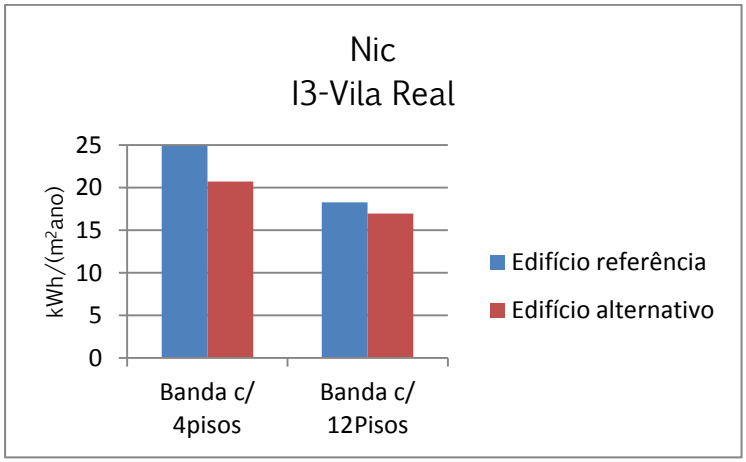


Gráfico 5-8: Comparação das Nic médias dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos para a solução construtiva de referência e alternativa, para o clima de Vila Real.

O aumento do isolamento térmico nas lajes exteriores do edifício em banda teve os seguintes efeitos:

- A diminuição das Nic médias dos edifícios. Esta é mais significativa nos edifícios com menor número de pisos.

- O edifício alternativo com 4 pisos aproxima-se do edifício de referência com 12 pisos, sendo esta aproximação mais significativa quanto menor é a severidade do clima.

Os edifícios alternativos em banda com 12 pisos constituem a solução que conduz a menores Nic. Resta perceber se as temperaturas que se atingiriam no seu interior caso não disponham de aquecimento durante o Inverno são aceitáveis do ponto de vista do conforto térmico dos utilizadores.

5.4.2 Perfil de temperaturas obtido sem condicionamento térmico durante o Inverno

Realizaram-se simulações do comportamento térmico do edifício em banda alternativo com 12 pisos sem aquecimento. Os Gráficos 5-9, 5-10 e 5-11 mostram a distribuição das temperaturas interiores médias registadas durante a estação de aquecimento.

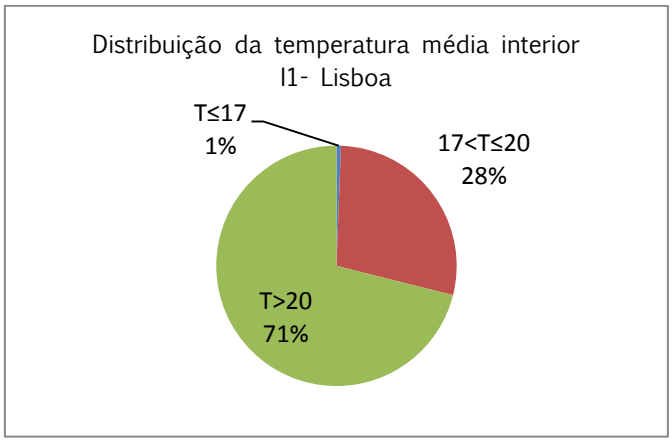


Gráfico 5-9: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Lisboa.

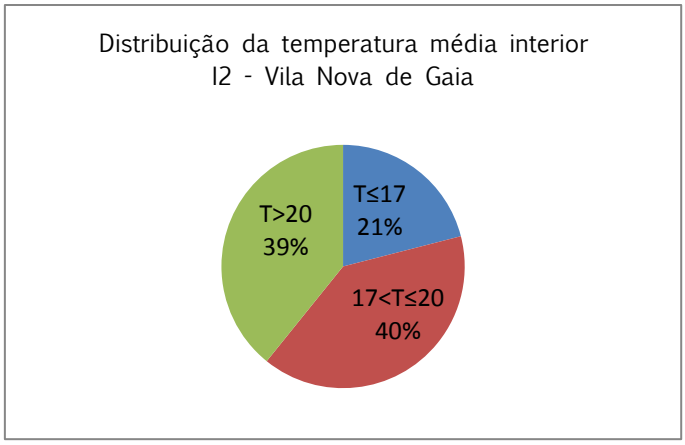


Gráfico 5-10: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Vila Nova de Gaia.

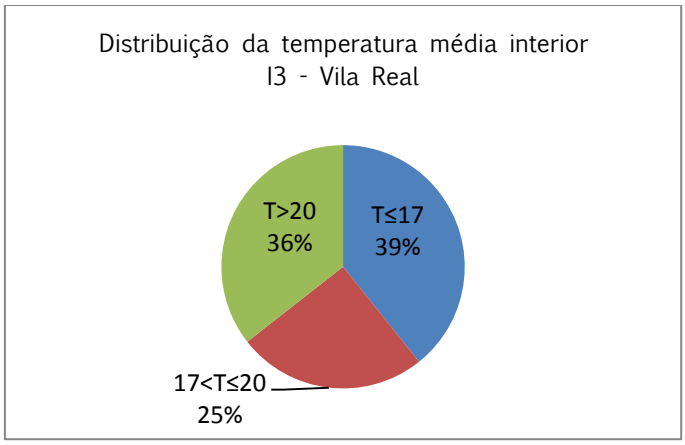


Gráfico 5-11: Distribuição da temperatura média no interior do edifício alternativo em banda com 12 pisos durante a estação de aquecimento, para o clima de Vila Real.

Os edifícios em banda de 12 pisos, com reforço do isolamento térmico na cobertura e no piso, para I_u=1 na zona climática I1, têm uma percentagem de horas com temperatura inferior a 17 ºC muito inferior a 20 %, o que, de acordo com Norma 55 da ASHRAE está dentro das condições térmicas aceitáveis para conforto térmico dos ocupantes. Será aceitável admitir que com estas condições bastará algum apoio para o aquecimento mas sem a necessidade de um sistema de aquecimento.

Para as zonas climáticas I2 e I3, a percentagem de horas ultrapassa os 20 %, ou seja, o número de pessoas insatisfeitas com a temperatura no edifício quando este não está aquecido será superior ao desejável. De notar, no entanto, que no clima I2 o valor é de apenas 21 % mas a temperatura mínima atingida no interior é de 13.5 ºC.

No clima I3 a temperatura mínima atingida no interior é de 11.7 ºC. Nestas zonas climáticas justifica-se um sistema de aquecimento no interior das habitações.

5.5 Aspetos a considerar na urbanização

O estudo desenvolvido teve como objetivo encontrar aspetos característicos do comportamento térmico dos edifícios inseridos em cenários de malha urbana que permitissem a elaboração de linhas orientadoras para uma ocupação do solo salvaguardando a possibilidade de melhorar a eficiência energética em novas urbanizações, sejam estas resultantes da ampliação do perímetro urbano ou da reconversão de zonas urbanas existentes.

Para a realização deste estudo reuniram-se os conhecimentos existentes sobre os aspetos e as características que conduzem à eficiência energética no condicionamento térmico dos edifícios. Foram ainda consideradas soluções construtivas que aliam a regulamentação e o proposto pelos estudos disponíveis sobre a relação de custo benefício. Todas as opções tomadas foram descritas e justificadas. A seguir apresenta-se uma síntese das opções de base mais significativas.

- Os edifícios têm as maiores fachadas e janelas voltadas a Sul, independentemente da sua relação com os arruamentos.

- Para cada zona climática foram utilizadas soluções construtivas diferentes em função dos respetivos valores de referência para os coeficientes de transmissão térmica. Estes valores de referência são os previstos na regulamentação que tem como meta edifícios de balanço energético quase zero em 2020.

A análise dos resultados obtidos com as simulações do comportamento térmico utilizando o programa TRNSYS permite recomendar que, para além dos aspetos já considerados, deve ser atendido ao seguinte:

- O índice de ocupação do solo a utilizar deve ser, de acordo com as necessidades de área de construção, o mais baixo possível.

- A área de construção deve ser utilizada em edifícios dispostos em banda e com o máximo possível de pisos sobrepostos.

- É essencial que os envidraçados dos edifícios devam ser sempre dotados de dispositivos de sombreamento exteriores, do tipo persiana, manipuláveis pelos seus ocupantes.

O estudo revelou que uma implantação dos edifícios que atenda ao exposto conduz a edifícios cuja eficiência do seu comportamento térmico vai ao encontro do preconizado pela Diretiva Europeia EPBD de que, em 2020, os edifícios tenham um balanço energético quase zero.

Capítulo 6 Conclusões

6.1 Síntese do estudo realizado

Nas cidades e aglomerados urbanos, os edifícios estão rodeados por outros formando conjuntos que podem ter diferentes configurações em cenários mais ou menos ocupados. O presente trabalho estudou o impacto que diferentes cenários de malha urbana e diferentes índices de utilização do solo têm nas necessidades energéticas associadas à garantia de conforto térmico dos edifícios de habitação coletiva. Em seguida resume-se o estudo desenvolvido.

A edificação e a urbanização são reguladas por instrumentos de planeamento territorial. O plano diretor municipal (PDM) é o instrumento de planeamento territorial obrigatório que estabelece os parâmetros que regulam a ocupação do solo e a edificação. O índice de utilização do solo (I_u) é o parâmetro utilizado no PDM para relacionar a área de construção com a área de terreno. Fez-se um levamento aos PDM em vigor e os valores mais utilizados para o I_u são 0.3, 0.5, 0.8 e o 1.0.

Neste estudo sistematizaram-se oito configurações possíveis para malhas urbanas. Consideram-se configurações de edifícios isolados (quatro frentes), edifícios agrupados ou geminados (três frentes) e edifícios em banda (duas frentes). Os edifícios isolados são os que permitem mais alternativas para a sua organização no espaço e na sua relação entre si, tendo-se definido seis malhas diferentes de edifícios isolados. Os edifícios agrupados e os edifícios em banda geraram uma malha urbana cada. As malhas consideradas são compostas por edifícios todos iguais, em que os afastamentos entre os edifícios variam em função do I_u da malha. Na caracterização das malhas foi considerada a legislação que afeta o espaçamento mínimo entre os edifícios.

Foi estudado o comportamento térmico de um edifício inserido em cada uma das malhas urbanas que servem de cenário e provocam sombras. O edifício estudado tem a sua fachada principal, ou seja a fachada com mais aberturas, voltada para Sul.

Existem várias ferramentas para a determinação das necessidades energéticas para condicionamento térmico de um edifício. Realizou-se um estudo de comparação entre dois métodos distintos, o programa TRNSYS e a metodologia prevista pelo RCCTE, na determinação das necessidades energéticas para um edifício-tipo, tendo-se mostrado a equivalência entre ambos. A utilização de dois métodos distintos permitiu obter um modelo para utilizar à escala urbana.

Utilizando o programa TRNSYS, determinaram-se as necessidades energéticas para condicionamento térmico, para o edifício-tipo inserido nos oito cenários diferentes de malha urbana e para os valores de índice de utilização do solo mais representativos, num total de 97 casos de estudo para o clima do Porto. Deste estudo conclui-se que o cenário de edifícios isolados é o que apresenta maiores necessidades e o de edifícios em banda o que apresenta menores necessidades energéticas.

Em seguida o estudo das necessidades energéticas para condicionamento térmico, utilizando o programa TRNSYS, foi alargado para sete climas, para os quatro valores do índice de utilização do solo referidos, dois cenários de malha e três variantes em altura do edifício, num total de 168 casos de estudo. Os sete climas escolhidos (Coimbra, Lisboa, Almada, Vila Nova de Gaia, Braga, Castelo Branco e Vila Real) representam simultaneamente combinações climáticas desfavoráveis e municípios populosos do território nacional. As duas configurações de malha urbana utilizadas, para cenário do edifício, foram de edifícios isolados e em banda, as configurações limite identificadas na fase anterior do estudo.

No edifício de habitação simulado foram utilizadas soluções construtivas que atendem aos valores de referência previstos na revisão regulamentar para os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e à relação custo benefício (Almeida, 2012).

6.2 Síntese das conclusões obtidas com o estudo realizado

No estudo realizado para comparar as duas metodologias diferentes na determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de um edifício de habitação foi possível concluir que:

- É possível garantir que cada termo do balanço energético para aquecimento e arrefecimento seja calculado em condições idênticas utilizando duas ferramentas tão distintas como a metodologia prevista pelo RCCTE e o programa TRNSYS.
- As duas ferramentas utilizadas possuem metodologias diversas e não utilizam o mesmo modelo de cálculo para a determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Enquanto que o RCCTE calcula cada termo e depois os soma e afeta o total por um fator empírico (o fator de utilização dos ganhos), o TRNSYS calcula os termos para cada instante e calcula depois as necessidades através de um modelo dinâmico mais preciso. A metodologia do RCCTE é muito simplificada no tratamento da inércia térmica, respondendo às relações de massa para interpretar os efeitos da inércia térmica nas necessidades energéticas. O programa TRNSYS é menos sensível a este fator mas interpreta corretamente a inercia ao desagravar as necessidades energéticas quando, tal como acontece na realidade, se permite que a temperatura varie acima ou abaixo do mínimo ou máximo, respetivamente.
- As necessidades globais de energia para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc), quando calculadas pelas duas metodologias, são diferentes. A variação de resultados entre as duas metodologias é menor quando o edifício tem inercia térmica média e a temperatura interior é mantida fixa na simulação do TRNSYS, reproduzindo assim o princípio de cálculo do RCCTE. As diferenças encontradas na determinação das Nic e Nvc para as habitações variam entre 1 kWh/(m^2ano) a 5 kWh/(m^2ano) e são, portanto, baixas em valor absoluto. Mas, dependendo do piso, podem representar variações entre 1 % a 20 %.

Os resultados da simulação do comportamento térmico do edifício, utilizando o programa TRNSYS, revelaram que, quando o edifício é inserido numa malha urbana e sujeito às sombras provocadas pelos edifícios circundantes, as suas necessidades de

energia para condicionamento térmico sobem, devido à diminuição dos ganhos solares provocados pelos sombreamentos na estação de aquecimento.

As simulações do comportamento térmico, para o clima do Porto em oito cenários diferentes, mostraram que as Nic médias do edifício são superiores às Nvc médias em todos os cenários de malha estudados. Para o mesmo I_u, as Nic médias mais baixas são as do edifício em banda, sendo as dos restantes próximas entre si. As Nvc médias do edifício não variam com o aumento do I_u, sendo que as relativas ao edifício em banda são ligeiramente superiores às dos restantes edifícios. Relativamente às necessidades anuais de energia primária (Ntc) médias do edifício foi possível concluir o seguinte:

- Para cada I_u, o edifício com Ntc médias mais baixas é o edifício em banda. Todos os restantes têm Ntc médias mais elevadas e próximas entre si. Para I_u de 0.3, a configuração em banda apresenta Ntc médias 23 % inferiores às restantes configurações e 35 % inferiores quando o I_u é de 1.0.
- A configuração em banda, além de permitir atingir valores I_u mais elevados (sendo 1.7 o máximo), possibilita que as Ntc desses índices sejam próximas das Ntc obtidas com o índice mais baixo (0.3) de qualquer outra configuração. Ou seja, é possível aumentar a área de construção num terreno em 5.6 vezes, sem aumentar as necessidades energéticas globais anuais médias por metro quadrado dessa construção, bastando para isso mudar a configuração de edifício isolado para edifício em banda.

O estudo do comportamento térmico do edifício, em oito cenários de malha urbana, permitiu concluir que as situações extremas são os edifícios isolados e os edifícios em banda. Este fenómeno deve-se ao facto de que, para o mesmo I_u, o afastamento entre edifícios é maior nos edifícios em banda do que nos edifícios isolados, permitindo assim que os edifícios em banda tenham ganhos solares superiores.

O estudo do comportamento térmico dos dois cenários mais díspares, edifícios isolados e em banda, com aumento do número de pisos conduziu às seguintes conclusões:

- O aumento do número de pisos faz reduzir as Ntc médias do edifício de forma idêntica em ambos os cenários. A redução das Ntc médias é de 8 % quando o edifício passa de 4 para 6 pisos e chega aos 15 % quando o edifício passa de 4 para 12 pisos.
- Nos edifícios isolados, o aumento do I_u de 0.3 para 1.1, que corresponde a um aumento de 3.6 vezes a área de construção, agrava as Ntc em 16 % para qualquer número de pisos.
- Nos edifícios em banda, o aumento do I_u de 0.3 para 1.2, que corresponde a um aumento de 4 vezes a área de construção, representa um agravamento das Ntc médias em 13 % no edifício com 4 pisos e em 9 % no edifício com 16 pisos.

O estudo do comportamento térmico de edifícios isolados e em banda sem recurso a arrefecimento durante o Verão, para três zonas climáticas e com janelas cuja área é igual a 15 % da área útil do compartimento, mostrou o seguinte:

- Para ambos os cenários, o comportamento térmico durante o Verão é independente do índice de utilização do solo.
- A utilização de persianas para ocultar 75 % da área das janelas proporciona o conforto térmico necessário para dispensar a utilização de meios mecânicos de arrefecimento em todo o país (um pouco mais de 75 % pode ser desejável nos dias mais quentes).

O estudo do comportamento térmico dos edifícios isolados e em banda durante a estação de aquecimento, para os oito climas escolhidos, revelou o seguinte:

- As necessidades globais de energia para aquecimento (Nic) médias de um edifício aumentam sempre que o índice de utilização do solo aumenta. Os resultados obtidos mostram que a subida das Nic médias pode variar entre 10 % e 29 % para os edifícios em banda e entre 18 % e 48 % para os edifícios isolados, dependendo da zona climática.
- As Nic médias de um edifício diminuem com o aumento do número de pisos. A descida das Nic varia entre os 19 % e os 51 % para os edifícios em banda e entre os 17 % e os 41 % para os edifícios isolados, dependendo da zona climática.

- Para o mesmo valor de índice de utilização do solo e o mesmo número de pisos, o edifício em banda tem as Nic médias mais baixas entre 25 % e 62 % que o edifício isolado, dependendo da zona climática.
- O edifício que tem as Nic médias mais baixas é o edifício em banda com o maior número de pisos. Dependendo do clima e para o mesmo índice de utilização do solo, a troca da pior solução pela melhor produz uma redução de 45 % a 77 % nas Nic médias.

O estudo do comportamento térmico dos edifícios em banda com 4 e 12 pisos recorrendo a um reforço do isolamento térmico para além do proposto na solução de referência, na laje de cobertura e na laje de piso sobre a garagem, mostra o seguinte:

- As Nic médias do edifício diminuem entre 24 % e 43 % no edifício com 4 pisos e entre 7 % e 29 % no edifício com 12 pisos, dependendo da zona climática.
- O comportamento térmico do edifício com reforço do isolamento térmico com 4 pisos aproxima-se do do edifício de referência com 12 pisos (a melhor solução). Esta aproximação é mais significativa quanto menor é a severidade do clima.
- A solução de referência com reforço do isolamento térmico nas lajes das extremidades (cobertura e piso sobre a garagem) não garante temperaturas interiores de conforto que permitam dispensar o aquecimento, tal como na solução de referência, apesar de melhorar o nível médio de conforto no interior das habitações mais criticas (primeiro e ultimo pisos).

6.3 Recomendações para instrumentos de planeamento urbano

A seguir apresentam-se recomendações para os instrumentos de planeamento urbano, em especial para os planos diretores municipais (PDM), no sentido de promover edifícios cujo comportamento térmico vá no sentido do preconizado na Diretiva Europeia para que em 2020 os edifícios tenham um balanço energético quase nulo. Os PDM deverão:

- **Definir o índice de utilização do solo mais baixo possível, de acordo com as necessidades de edificação da população.** Uma forma de melhor aplicar esta orientação poderá ser a de seccionar o território e utilizar para cada setor o índice mais adequado, quando existam necessidades de edificação diferentes.

- **Juntar linhas de orientação ou regras sobre a disposição da área de construção permitida, que definam que os edifícios devem ser dispostos em banda com o máximo de pisos sobrepostos e voltados a Sul.** A configuração a dar à área de construção deve ser clara. Por exemplo, uma das formas de o fazer poderá ser a definição de manchas de implantação. Pode ainda conjugar-se o índice de utilização do solo com o índice de ocupação do solo como forma de assegurar a configuração desejada.

- **Estabelecer regras para o afastamento entre edifícios que determinem que estes devem ficar dispostos o mais afastados possível entre si.** O afastamento entre edifícios depende do índice de utilização do solo e do tipo de edifício. O afastamento a impor deve ser mais exigente que o imposto pela legislação vigente e determinado a partir da linha dos 45º. Deve ficar definido um ângulo inferior a 45º e o mais próximo possível da altura solar no solstício de Inverno. Se o ângulo a definir baixar para os 40º, então tornam-se viáveis os cenários de edifícios isolados com I_u até 0.8. Se baixar para os 35º ainda assim são viáveis os cenários de edifícios isolados com I_u até 0.5. A imposição de um afastamento mínimo entre edifícios, pode conduzir à escolha de edifícios dispostos em banda e/ou com mais pisos, reforçando assim a regra anterior.

- **Identificar algumas das características que os edifícios devem ter**. Nos edifícios os compartimentos principais devem ser contíguos à fachada com a maior área de janelas a qual deve ficar voltada a Sul. As janelas devem ser dotadas de dispositivos de sombreamento exteriores, do tipo persiana (ou outro que garanta sombreamento igualmente eficaz), manipuláveis pelos ocupantes. Estabelecer cores claras para as fachadas dos edifícios.

6.4 Perspetivas de desenvolvimento

Qualquer estudo não se esgota nele próprio, existem sempre assuntos aos quais se pode dar continuidade. A seguir, sugerem-se alguns:

- Os edifícios mais altos mostram-se os mais eficientes para conforto térmico, mas a construção e a utilização de edifícios altos levanta alguns problemas. A estrutura e as infraestruturas (sistemas de abastecimento, sistemas de drenagem e meios mecânicos para deslocação vertical) de um edifício alto, podem ser significativamente diferentes das de um edifício corrente com quatro pisos. Um assunto a estudar será então a variação no custo da construção e o impacto no consumo energético durante a utilização de um edifício alto face a um edifício corrente numa ótica de custo global de ciclo de vida.

- O Sol é a principal fonte de ganhos térmicos nos edifícios, mas existem outros fatores climatéricos passiveis de influenciar o comportamento térmico. Um assunto a estudar é a influência do vento no comportamento dos edifícios em banda, para garantia de ventilação natural mediante dispositivos adequados nas fachadas Norte e Sul.

- Neste estudo verificou-se que o desempenho energético dos pisos extremos (superior e inferior) é pior do que os restantes e que este comportamento tem influência nos pisos que lhe estão adjacentes (acima e abaixo respetivamente). Um assunto a estudar será como melhorar ainda mais, de forma economicamente viável, o desempenho dos pisos extremos e a viabilidade de os isolar dos pisos que lhe estão adjacentes.

- O objetivo de que todos os novos edifícios tenham um balanço energético quase nulo ainda não está traduzido em soluções concretas nem o peso que deve ter a integração de fontes de energia renovável face às necessidades. Este pode também ser um assunto a desenvolver.

Bibliografia

AKBARI, H., POMERANTZ, M. & TAHA, H. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy,* 70**,** 295-310.

ALCOFORADO, M.-J. 2006. Planning procedures towards high climatic quality cities. *Finisterra***,** 49-64.

ALCOFORADO, M.-J. & ANDRADE, H. 2006. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modeling attempts. *Theor. Appl. Climatol.,* 84**,** 151-159.

ALCOFORADO, M.-J., ANDRADE, H., LOPES, A. & VASCONCELOS, J. 2009. Application of climatic guidelines to urban planning The example of Lisbon. *Landscape and Urban Planning,* 90**,** 56-65.

ALEXANDRI, E. & JONES, P. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment,* 43**,** 480-493.

ALMEIDA, M. 2012. A prespectiva da engenharia civil. *12ª Jornadas de Climatização.* OE.

ALMEIDA, M., BRAGANÇA, L., MENDES, J. & SILVA, S. 2004. Layout urbano em função da eficiência energética dos edifícios. *In:* MENDES, J., SILVA, A., SOUZA, L. & RAMOS, R. (eds.) *Contribuições para o desenvolvimento sustentavél em cidades portuguesas e brasileiras.*

AMADO, M. P. 2005. *Planeamento Urbano Sustentavél*, Caleidoscópio.

ARELLANO, J., IRASTORZA, L., RODRÍGUEZ, F. & ROMERO, A. 2008. Energy efficiency compared studies at master paln stage for a new development in Madird. *PLEA2008.* Dublin.

ASHRAE 1977. *Handbook of Fundamentals,* USA.

ATHIENITIS, A. K. 1999. Thermal analysis of buildings in a mathematical programming environment and aplications. *Building and Environment,* 34**,** 401-415.

BECCALI, G., CELLURA, M. & BRANO, V. L. 2001. A data base of Z-Transform coeficients for Mediterranean building typologies. *Seventh Internacional IBPSA Conference.* Rio de Janeiro.

BECCALI, G., CELLURA, M., BRANO, V. L. & ORIOLI, A. 2005a. Is the transfer function method reliable in a European building context? A theoretical and a case study in the south of Italy. *Applied Thermal Engineering,* 25**,** 341-357.

BECCALI, G., CELLURA, M., BRANO, V. L. & ORIOLI, A. 2005b. Single thermal zone balance solved by Transfer Function Method. *Energy and Buildings,* 2005**,** 1268-1277.

BRAGANÇA-LOPES, L. 1995. *Caracterização das cargas térmicas de arrefecimento em edifícios pesados.* Dissertação de doutoramento, FEUP.

BRAZÃO-FARINHA, J. & CORREIA-DOS-REIS, A. 1992. *Tabelas técnicas*.

CHAN, A., SO, E. & SAMAD, S. 2001. Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality. *Atmospheric Environment,* 35**,** 5681-5691.

CHRISOMALLIDOU, N. 2001. Guidelines for integrating energy conservation techniques in urban buildings. *In:* SANTAMOURIS (ed.) *Energy and Climate in the Urban Built Environment.* James & James.

CHVATAL, K. 2007. *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão.* PhD, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CODESSO, F. R. 2006. Fundamentos Conceptuais do Ordenamneto e da Planificação do Territorio e o ETE. Universidade Tecnica de lisboa.

COM11 2008. Avançar em conjunto na promoção da eficiência energética Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas 23.1.2008.

COM35 2005. Ganhar a batalha contra as alterações climáticas globais. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.

COM545 2006. Plano de Acção para a Eficiência Energética: Contretizar o Potencial Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas 19.10.2006

CONCL1 2007. CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA Conclusões da Presidência. Bruxelas. 7224/07

DGOTDU 1988. Carta Europeia do Ordenamento do Território. DGOTDU

DGOTDU 1996. Indicadores e parametros urbanísticos. DGOTDU

ELNAHAS, M. & WILLIAMSON, T. 1996. An improvement of the CTTC model for predicting urban air temperatures. *Energy and Buildings,* 25**,** 41-49.

ENGELMAN, R. 2009. *The State of World Population 2009*, United Nations Population Fund.

ERELL, E. 2008. The Aplication of Urban Climate Reserach in the Design of Cities. *In:* SANTAMOURIS, M. (ed.) *Advances in Building Energy Research*

ERELL, E. & WILLIAMSON, T. 2006a. Comments on the correct specification of the analytical CTTC model for predicting the urban canopy layer temperature. *Energy and Buildings,* 38**,** 1015-1021.

ERELL, E. & WILLIAMSON, T. 2006b. Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meterological station. *Int. J. Climatology,* 26**,** 1671-1694.

GADSDEN, S., RYLATT, M., LOMAS, K. & ROBINSON, D. 2003. Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS. *Energy and Buildings,* 32**,** 37-48.

GHIAUS, C., ALLARD, F., SANTAMOURIS, M., GEORGAKIS, C. & NicOL, F. 2006. Urban environment influence on natural ventilation potencial *Building and Environment,* 41**,** 395-406.

GIACONIA, C. & ORIOLI, A. 2000. On the reliability of ASHRAE condution transfer function coefficients of walls. *Applied Thermal Engineering,* 20**,** 21-47.

GOLANY, G. 1996. Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment,* 30**,** 445-465.

GOLDEN, J., CARLSON, J., KALOUSH, K. & PHELAN, P. 2007. A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures. *Solar Energy*.

GOMEZ, F., GAJA, E. & REIG, A. 1998. Vegetation and climatic changes in a city. *Ecological Engineering,* 10**,** 335-360.

GONÇALVES, H., OLIVEIRA-PANÃO, M., CAMELO, S., RAMALHO, Á., GRAÇA, J. M. & AGUIAR, R. 2004. *Ambiente construido clima urbano utilização racional da energia*.

HAMDY, M., HANSAN, A. & SIREN, K. 2013. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nerly-zero-energy building solutions in line with de EPBD-recast 2010. *Energy and Buildings,* 56.

HOLDEN, E. 2004. Ecological footprints and sustainble urban form. *Jornal of Housing and the Built Environment,* 19**,** 91-109.

HONG, T., CHOU, S. K. & BONG, T. Y. 2000. Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment,* 35**,** 347-361.

INCROPERA, F. & DEWITT, D. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 5ª Edição ed.

INE 2011. Censos 2011-Resultados Provisórios.

INE/DGEG 2011. *Inquerito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico* Lisboa.

IU, I. & FISHER, D. E. 2004. Application of CondutionTransfer Functions and Periodic Response Factores in Cooling load Calculation Procedures. *ASHRAE Transations***,** 829-839.

JIMÉNEZ-HORRNERO, F. J., GIRÁLDEZ, J. V., RAVÉ, E. G. D. & MORAL, F. J. 2007. Description of pollutant dispersion in an urban streer canyon using a two-dimensional lattice model. *Atmospheric Environment,* 41**,** 221-226.

JUDKOFF, R. & NEYMARK, J. 2006. Model Validation and Testing: The methodological foundation of ASHRAE Santdard 140 *ASHRAE 2006 Annual Meeting*. Quebec.

KAMPF, J. & ROBINSON, D. 2010. Optimisation of building form for solar energy utilisation using constrained evolutionary algorithms. *Energy and Buildings,* 42**,** 807-814.

KANDA, M., KAWAI, T., KANEGA, M., MORIWAKI, R., NARITA, K. & HAGISHIMA, A. 2005a. A simple energy balance model for regular builing arrays. *Boundary-Layer Meteorology,* 116**,** 423-443.

KANDA, M., KAWAI, T. & NAKAGAWA, K. 2005b. A simple theoretical radiation scheme for regular building arrays. *Boundary-Layer Meteorology,* 114**,** 71-90.

KAPSALAKI, M., LEAL, V. & SANTAMOURIS, M. 2012. A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings,* 55.

KARATASOU, S., SANTAMOURIS, M. & GEROS, V. 2006. Urban building climatology. *In:* SANTAMOURIS, M. (ed.) *Environmental design of urban buildings.* Earthscan.

KAWAI, T., KANDA, M., NARITA, K. & HAGISHIMA, A. 2007. Validation of a numerical model for urban energy-eschange using outdoor scale-model measurements. *Int. J. Climatology,* 27**,** 1931-1942.

KJELGREN, R. & MONtcAGUE, T. 1998. Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. *Atmospheric Environment,* 32**,** 35-41.

KLEEREPER, L., ESCH, M. V. & SALCEDO, T. B. 2012. How to made a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling,* 64**,** 30-38.

KLEIN, BECKMAN, MITCHELL & DUFFIE 2000. TRNSYS 15 Reference Manual. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin.

KNOWLES, R. 2003. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and Buildings,* 35**,** 15-25.

KONDO, A., UENO, M. & KAGA, A. 2001. The influence of urban canopy configuration on urban albedo. *Boundary-Layer Meteorology,* 100**,** 225-242.

KONDO, H., GENCHI, Y., KIKEGAWA, Y., OHASHI, Y., YOSHIKADO, H. & KOMIYAMA, H. 2005. Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consuption in a big city: structure of the urban canopy model and its basic performance. *Boundary-Layer Meteorology,* 116**,** 395-421.

KURNITSKI, J., SAARI, A., KALAMEES, T., VUOLLE, M., NIEMELA, J. & TARK, T. 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA defenition for NZEB national implementation. *Energy and Buildings,* 43.

KUSAKA, H., KONDO, H., KIKEGAWA, Y. & KIMURA, F. 2001. A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison wlth multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorology,* 101**,** 329-358.

LIAO, H. 2004. The Green Olympics, Sydney 2000, Australia. *In:* PITTS, A. (ed.) *Planning and design strategies for sustainability and profit.* Elsevier.

LITTLEFAIR, P. 1998. Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2**,** 303-326.

LIU, X. & SWEENEY, J. 2012. Modelling the impact of urban form on household energy demand and related CO2 emissions in the Greater Dublin Region. *Energy Policy,* 46**,** 359-369.

LOMAS, K. J., EPPEL, H., MARTIN, C. J. & BLOOMFIELD, D. P. 1997. Empirical validation of building energy simulations programs. *Energy and Buildings,* 26**,** 253-275.

LUN, I., MOCHIDA, A. & OOKA, R. 2009. Progress in Numerical Modelling for Urban Thermal Environment Studies. *In:* SANtcAMOURIS, M. (ed.) *Advances in Building Energy Research*

MARQUES, B., BRANDÃO-ALVES, F. & CORVACHO, H. Bioclimatic Approach in Municipal Master Plan. XXXIII IAHS World Congress on Housing, 2005 Pretoria, South Africa.

MARTILLI, A., CLAPPIER, A. & ROTACH, M. 2002. An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology,* 104**,** 261-304.

MASSON, V. 2000. A physically-based scheme for the urban energy budget atmospheric models *Boundary-Layer Meteorology,* 94**,** 357-397.

MCQUISTON, F. & PARKER, J. (eds.) 1988. *Heating, Ventilating and Air Conditioning,* Oklahoma: Wiley.

MERONEY, R., PAVAGEAU, M., RAFAILIDIS, S. & SCHATZMANN, M. 1996. Study of line source characteristics for 2-D physical modelling of pollutant dispersion in street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* 62**,** 37-56.

MILLS, G. 1997. An urban canopy-layer climate model. *Theor. Appl. Climatol.,* 57**,** 229-244.

MILLS, G. 2006. Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theor. Appl. Climatol.,* 84**,** 69-76.

MILLS, G. 2008. Luke Howard and The Climate of London. *Royal Meteorological Society,* 63.

MITALAS, G. 1972. Transfer function method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature. *ASHRAE Journal,* 14**,** 54-56.

MOITA, F. 2010. *Energia Solar Passiva*. Argumentum.

NAESS, P. 2001. Urban Planning and Sustainable Development. *Europan Planning Studies,* Vol. 9.

NEYMARK, J., JUDKOFF, R., KNABE, G., LE, H.-T., DURIG, M., GLASS, A. & ZWEIFEL, G. 2002. Appling the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. *Energy and Buildings,* 34**,** 917-931.

NEYMARK, J., JUDKOFF, R., LE, H. T., DURIG, M., GLASS, A. & ZWEIFEL, G. HVAC BESTEST: A procedure for testing the ability of whole-building energy simulation programs to model space conditioning equipment. Building Simulation Seventh International IBPSA Conference, 2001 Rio de Janeiro.

OKE, T. R. 1987. *Boundary Layer Climates*, Routlege.

OKE, T. R. 2006. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology,* 84**,** 179-190.

OKE, T. R., JOHNSON, G. T., STEYN, D. G. & WATSON, I. D. 1991. Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night Part2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology,* 56**,** 339-358.

OLIVEIRA-FERNANDES, E., ALMEIDA, F. D. & CARDOSO, P. Energy and environment at Expo98 Lisbon. *In:* MALDONADO, E. & YANNAS, S., eds. PLEA98 Environmental Friendly Cities 1998 Lisboa.

OLIVEIRA-PANÃO, M., GONÇALVES, H. & FERRÃO, P. 2006a. Air flow exchange velocity of urban canyon cavities due to thermal spatial differences. *PLEA.* Geneva.

OLIVEIRA-PANÃO, M., GONÇALVES, H. & FERRÃO, P. Eficiência energética na cidade: estratégias para a promoção da capacidade natural de aquecimento e arrefecimento dos edifícios Congresso Ibero-Americano de Energia Solar, 2006b Lisboa.

OLIVEIRA-PANÃO, M., GONÇALVES, H. & FERRÃO, P. 2008. Optimization of the urban building efficiency potencial for mid-latitude climates using a genetic algorithm approach. *Renewable Energy,* 33**,** 887-896.

OLIVEIRA-PANÃO, M., GONÇALVES, H. & FERRÃO, P. 2009. Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate. *Building and Environment,* 44**,** 177-187.

OLIVEIRA-PANÃO, M., REBELO, M. & CAMELO, S. 2013. How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building?The load/generation energy balance of Mediterranean housing. *Energy and Buildings,* 61.

PÉTI, M. 2012. A territorial understanding of sustainability in public development. *Environmental Impact Assessment Review,* 32**,** 61-73.

PINSON, D. 2004. Urban planning: an "undisciplined" discipline? . *Science Direct,* 36**,** 503-513.

PITTS, A. 2004. *Planning and Design Strategies for Sustainability and Profit* Elsevier.

RADOVIC, D. Energy and environment at Expo98 Lisbon. *In:* MALDONADO, E. & YANNAS, S., eds. PLEA98 Environmental Friendly Cities 1998 Lisboa.

RATTI, C., BAKER, N. & STEEMERS, K. 2005. Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings,* 37**,** 762-776.

RATTI, C., RAYDAN, D. & STEEMERS, K. 2003. Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings,* 35**,** 49-59.

RAYDAN, D. & STEEMERS, K. 2006. Environmental Urban Design. *In:* SANtcAMOURIS (ed.) *Environmental Design of Urban Buildings.* Earthscan.

RCCTE 2006. Regulamento das caracteristicas de comportamento térmico dos edifícios. *Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril.*

RICCIARDELLI, F. & POLIMENO, S. 2006. Some characteristics of the wind flow in the lower Urban Boundary Layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* 94**,** 815-832.

ROAF, S. 2010. Sustainability of High Density. *In:* EARTHSCAN (ed.) *Designing High-Density Cities.*

ROBINSON, D., CAMPBELL, N., GAISER, W., KABEL, K., LE-MOUEL, A., MOREL, N., PAGE, J., STANKOVIC, S. & STONE, A. 2007. SUNtool-A new modelling paradigm for simulation and optimising urban sustainability. *Solar Energy,* 81**,** 1196-1211.

ROBINSON, D. & STONE, A. 2004. Solar radiation modelling in the urban context. *Solar Energy,* 77**,** 295-309.

SALAMANCA, F., KRPO, A., MARTILLI, A. & CLAPPIER, A. 2010. A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations- part I. Formulation, verification and sensitivity analysis of the model. *Theor. Appl. Climatol.,* 99**,** 331-344.

SALAMANCA, F. & MARTILLI, A. 2010. A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations- part II. Validation with one dimensin off-line simulations. *Theor. Appl. Climatol.,* 99**,** 345-356.

SANTAMOURIS, M. (ed.) 2001. *Energy and climate in the urban built environment*.

SANTAMOURIS, M. 2007. Heat Island Research in Europe: The State of the Art. *In:* SANtcAMOURIS, M. (ed.) *Advances in Building Energy Research.*

SANTAMOURIS, M., PAPANIKOLAOU, N., LIVADA, I., KORONAKIS, I., GEORGAKIS, C., ARGIRIOU, A. & ASSIMAKOPOULOS, D. N. 2001. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy,* 70**,** 201-216.

SANTOS, C. P. & MATIAS, L. 2006. *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, LNEC.

SEIXAS, F. Highlighting relationships with the ladscape along with prevailing wind and solar possibilities in high-impact large-scale urban architectural construction. *In:* MALDONADO, E. & YANNAS, S., eds. Energy and environment at Expo98 Lisbon, 1998 Lisboa.

SHARIFI, A. & MURAYAMA, A. 2013. A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. *Environmental Impact assessment Review,* 38**,** 73-87.

SHASHUA-BAR, L. & HOFFMAN, M. 2000. Vegetation as a climatic component in the design of as urban street An empirical model for prediting the cooling effect of urban green areas with trees *Energy and Buildings,* 31**,** 221-235.

SHASHUA-BAR, L. & HOFFMAN, M. 2003. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings,* 35**,** 61-68.

SHASHUA-BAR, L., HOFFMAN, M. & TZAMIR, Y. 2006. Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate. *Building and Environment,* 41**,** 343-354.

SHASHUA-BAR, L., SWAID, H. & HOFFMAN, M. 2004. On the correct spcification of the analytical CTTC model for predicting the urban canopy layer temperature. *Energy and Buildings,* 36**,** 975-978.

SINI, J.-F., ANQUETIN, S. & MESTAYER, P. 1996. Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmospheric Environment,* 30**,** 2659-2677.

SKOTE, M., SANDBERG, M., WESTERBERG, U., CLAESSOM, L. & JOHANSSON, A. 2005. Numerical and experimental studies of wind environment in an urban morphology. *Atmospheric Environment,* 39**,** 6147-6158.

STEEMERS, K. 2003. Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings,* 35**,** 3-14.

SWAID, H. & HOFFMAN, M. 1990. Predition of urban air temperature variations using the analytical CTTC model. *Energy and Buildings,* 14**,** 313-324.

TIAN, W., WANG, Y., XIE, Y., WU, D., ZHU, L. & REN, J. 2007. Effect of building integrated photovoltaics on microclimate of urban canopy layer. *Building and Environment,* 42**,** 1891-1901.

TORRES, S., BARBIRATO, G., LEAL, T. & CANDIDO, C. 2006. A influencia da configuração urbana na qualidade térmica de espaços exteriores internos: um estudo em conjuntos habitacionais verticais no trópico úmido. *Pluris2006.* Braga.

TSOLAKI, A., TROMBADORE, A. & SANTAMOURIS, M. 2007. Sustainable master planning and urban design for the "buffer zone" of Nicosia. *2nd PALENC Coference and 28th AIVC Conference.* Creta

VEKEN, J., SAELENS, D., VERBEECK, G. & HENS, H. 2004. Comparison of Steady-State and Dynamic Building Energy Simulation Programs. Buildings IX.

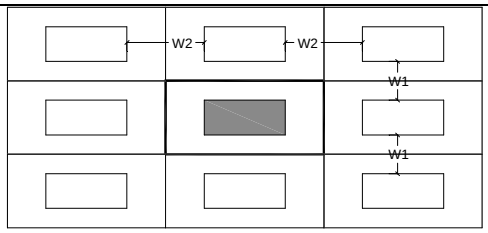
WANG, L., GWILIAM, J. & JONES, P. 2009. Case study of zero energy house design in UK *Energy and Buildings*.

XIANGKUAN, W. & SHAN, H. 2011. Exploratory post-evaluation of the current situation of sustainable urban development. *In:* ELSEVIER (ed.) *2011 International Conference of the current situation of sustainable urban development*

XIAOMIN, X., ZHEN, H. & JIASONG, W. 2006. The impact of urban street layout on local atmospheric environment. *Building and Environment,* 41**,** 1352-1363.

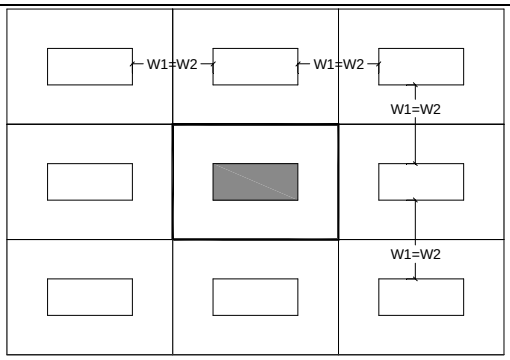
Anexo A
Afastamentos entre edifícios em função do índice de utilização do solo e da configuração da malha

Isolados A



I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios			
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)	W_2 (m)	Ângulo (º)
0.01	4	81408.0	423.2	192.4	182.8	3.8	182.8	1.7

Isolados B



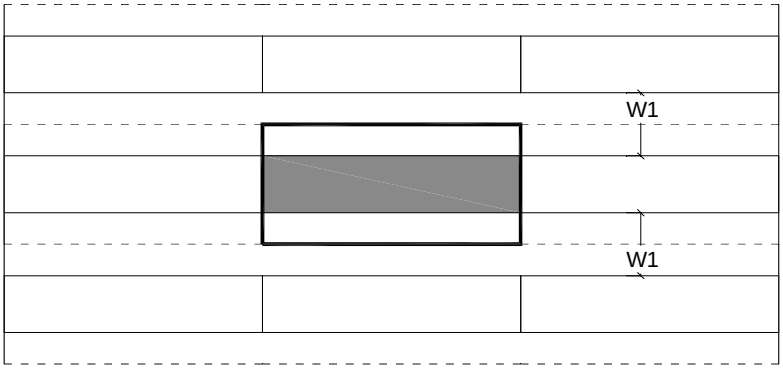
I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1=W_2 (m)	Ângulo (º)
0.3	6	4070.4	69.9	58.3	48.7	20.3
0.5	6	2442.2	55.6	44.0	34.4	27.6
0.6	6	2035.2	51.3	39.7	30.1	30.9
0.8	6	1526.4	45.3	33.7	24.1	36.8
1.0	6	1221.1	41.2	29.6	20.0	42.0
1.1	6	1110.1	39.6	28.0	18.4	44.3

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	$W_1=W_2$ (m)	Ângulo (º)
0.3	8	5427.2	79.7	68.1	58.5	22.3
0.5	8	3256.3	63.2	51.6	42.0	29.8
0.6	8	2713.6	58.2	46.6	37.0	33.0
0.8	8	2035.2	51.3	39.1	30.1	38.6
1.0	8	1628.2	46.6	35.0	25.4	43.4
1.1	8	1480.2	44.7	33.1	23.5	45.6

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	$W_1=W_2$ (m)	Ângulo (º)
0.3	10	6784.0	88.4	76.8	67.2	24.1
0.5	10	4070.4	69.9	58.3	48.7	31.7
0.8	10	2544.0	56.6	45.0	35.4	40.3
1.0	10	2035.2	51.3	39.7	30.1	44.9

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	$W_1=W_2$ (m)	Ângulo (º)
0.3	12	8140.8	96.2	84.6	75.0	25.6
0.5	12	4884.5	75.9	64.3	54.7	33.3
0.8	12	3052.8	61.4	49.8	40.2	41.9
1.0	12	2442.2	55.6	44.0	34.4	46.3

Banda



I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	6	4070.4	21.2	192.0	182.4	5.6
0.5	6	2442.2	21.2	115.2	105.6	9.4
0.8	6	1526.4	21.2	72.0	62.4	16.1
1.0	6	1221.1	21.2	57.6	48.0	20.6
1.2	6	1017.6	21.2	48.0	38.4	25.1
1.6	6	763.2	21.2	36.0	26.4	34.3
2.0	6	610.6	21.2	28.8	19.2	43.2

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	8	5427.2	21.2	256.0	246.4	5.6
0.5	8	3256.3	21.2	153.6	144.0	9.5
0.8	8	2035.2	21.2	96.0	86.4	15.5
1.0	8	1628.2	21.2	76.8	67.2	19.7
1.2	8	1356.8	21.2	64.0	54.4	23.8
1.6	8	1017.6	21.2	48.0	38.4	32.0
2.0	8	814.1	21.2	38.4	28.8	39.8
2.2	8	740.1	21.2	34.9	25.3	43.5

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	10	6784.0	21.2	320.0	310.4	5.5
0.5	10	4070.4	21.2	192.0	182.4	9.3
0.8	10	2544.0	21.2	120.0	110.4	15.2
1.2	10	1696.0	21.2	80.0	70.4	23.1
1.6	10	1272.0	21.2	60.0	50.4	30.8
2.0	10	1017.6	21.2	48.0	38.4	38.0
2.4	10	848.0	21.2	40.0	30.4	44.6

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	12	8140.8	21.2	384.0	374.4	5.5
0.5	12	4884.5	21.2	230.4	220.8	9.3
0.8	12	3052.8	21.2	144.0	134.4	15.0
1.0	12	2112.2	21.2	115.6	105.6	18.8
1.2	12	2035.2	21.2	96.0	86.4	22.6
1.6	12	1526.4	21.2	72.0	62.4	30.0
2.0	12	1221.1	21.2	57.6	48.0	36.9
2.5	12	976.9	21.2	46.1	36.5	44.6

I_u	Pisos	Terreno			Relação entre edifícios	
		Área (m^2)	Largura (m)	Comprimento (m)	W_1 (m)	Ângulo (º)
0.3	16	10854.4	21.2	512.0	502.4	5.5
0.5	16	6512.6	21.2	307.2	297.6	9.2
0.8	16	4070.4	21.2	192.0	182.4	14.7
1.2	16	2713.6	21.2	128.0	118.4	22.1

Anexo B
Ângulos formados pelos edifícios

Edifícios isolados A

lu= 0.01
w1= 182.80 m
w2= 402.00 m

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF1	Azimute	inicial		358	355	0	0	0	0
			final		5	2	0	0	0	0
distN=	182.8	Zénite	nivel1		87	87	0	0	0	0
	(m)		nivel2		88	88	0	0	0	0
			nivel3		89	89	0	0	0	0
			nivel4		90	90	0	0	0	0
	EDF2	Azimute	inicial		65	65	64	0	0	0
			final		67	67	66	0	0	0
distE=	443.6	Zénite	nivel1		89	89	89	0	0	0
distNz1=	456.1		nivel2		89	89	89	0	0	0
distNz2=	446.4		nivel3		89	89	89	0	0	0
	(m)		nivel4		90	90	90	0	0	0
	EDF3	Azimute	inicial		0	0	89	0	0	0
			final		0	0	91	0	0	0
distE=	402.0	Zénite	nivel1		0	0	89	0	0	0
	(m)		nivel2		0	0	89	0	0	0
			nivel3		0	0	89	0	0	0
			nivel4		0	0	90	0	0	0
	EDF4	Azimute	inicial		0	0	114	113	113	0
			final		0	0	116	115	115	0
distE=	443.6	Zénite	nivel1		0	0	89	89	89	0
distSz1=	456.1		nivel2		0	0	89	89	89	0
distSz2=	446.4		nivel3		0	0	89	89	89	0
	(m)		nivel4		0	0	90	90	90	0
	EDF5	Azimute	inicial		0	0	0	175	178	0
			final		0	0	0	182	185	0
distS=	182.8	Zénite	nivel1		0	0	0	87	87	0
	(m)		nivel2		0	0	0	88	88	0
			nivel3		0	0	0	89	89	0
			nivel4		0	0	0	90	90	0
	EDF6	Azimute	inicial		0	0	0	245	245	244
			final		0	0	0	247	247	246
distSz1=	446.4	Zénite	nivel1		0	0	0	89	89	89
distSz2=	456.1		nivel2		0	0	0	89	89	89
distO=	443.6		nivel3		0	0	0	89	89	89
	(m)		nivel4		0	0	0	90	90	90
	EDF7	Azimute	inicial		0	0	0	0	0	269
			final		0	0	0	0	0	271
distO=	402.0	Zénite	nivel1		0	0	0	0	0	89
	(m)		nivel2		0	0	0	0	0	89
			nivel3		0	0	0	0	0	89
			nivel4		0	0	0	0	0	90
	EDF8	Azimute	inicial		293	293	0	0	0	294
			final		295	295	0	0	0	296
distNz1=	446.4	Zénite	nivel1		89	89	0	0	0	89
distNz2=	456.1		nivel2		89	89	0	0	0	89
distO=	443.6		nivel3		89	89	0	0	0	89
	(m)		nivel4		90	90	0	0	0	90

Edifícios isolados A

lu= 0.30

w1= 25.50 m

w2= 56.10 m

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
		EDF1	Azimute	inicial	348	328				
				final	32	12				
distN=	25.5		Zénite	nível1	68	68				
	(m)			nível2	74	74				
				nível3	80	80				
				nível4	87	87				
		EDF2	Azimute	inicial	64	60	55			
				final	75	73	69			
distE=	63.8		Zénite	nível1	82	81	81			
distNz1=	76.4			nível2	84	84	83			
distNz2=	66.5			nível3	87	86	86			
	(m)			nível4	89	89	89			
		EDF3	Azimute	inicial			85			
				final			95			
distE=	56.1		Zénite	nível1			79			
				nível2			82			
				nível3			85			
				nível4			88			
		EDF4	Azimute	inicial			111	105	107	
				final			125	116	120	
distE=	63.8		Zénite	nível1			81	82	81	
distSz1=	76.4			nível2			83	84	84	
distSz2=	66.5			nível3			86	87	86	
	(m)			nível4			89	89	89	
		EDF5	Azimute	inicial				148	168	
				final				192	212	
distS=	25.5		Zénite	nível1				68	68	
	(m)			nível2				74	74	
				nível3				80	80	
				nível4				87	87	
		EDF6	Azimute	inicial				240	244	235
				final				253	255	249
distSz1=	66.5		Zénite	nível1				81	82	81
distSz2=	76.4			nível2				84	84	83
distO=	63.8			nível3				86	87	86
	(m)			nível4				89	89	89
		EDF7	Azimute	inicial						265
				final						275
distO=	56.1		Zénite	nível1						79
	(m)			nível2						82
				nível3						85
				nível4						88
		EDF8	Azimute	inicial	287	285				291
				final	300	296				305
distNz1=	66.5		Zénite	nível1	81	82				81
distNz2=	76.4			nível2	84	84				83
distO=	63.8			nível3	86	87				86
	(m)			nível4	89	89				89

Edifícios isolados A

lu= 0.40

w1= 20.80 m

w2= 45.70 m

distN= 20.8 (m)

distE= 52.4

distNz1= 65.0

distNz2= 55.1 (m)

distE= 45.7 (m)

distE= 52.4

distSz1= 65.0

distSz2= 55.1 (m)

distS= 20.8 (m)

distSz1= 55.1

distSz2= 65.0

distO= 52.4 (m)

distO= 45.7 (m)

distNz1= 55.1

distNz2= 65.0

distO= 52.4 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	346	323				
		final	37	14				
	Zénite	nível1	63	63				
		nível2	70	70				
		nível3	78	78				
		nível4	86	86				
EDF2	Azimute	inicial	64	59	52			
		final	76	74	69			
	Zénite	nível1	81	79	79			
		nível2	83	82	82			
		nível3	86	85	85			
		nível4	89	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			84			
		final			96			
	Zénite	nível1			77			
		nível2			81			
		nível3			84			
		nível4			88			
EDF4	Azimute	inicial			111	104	106	
		final			128	116	121	
	Zénite	nível1			79	81	79	
		nível2			82	83	82	
		nível3			85	86	85	
		nível4			88	89	88	
EDF5	Azimute	inicial				143	166	
		final				194	217	
	Zénite	nível1				63	63	
		nível2				70	70	
		nível3				78	78	
		nível4				86	86	
EDF6	Azimute	inicial				239	244	232
		final				254	256	249
	Zénite	nível1				79	81	79
		nível2				82	83	82
		nível3				85	86	85
		nível4				88	89	88
EDF7	Azimute	inicial						264
		final						276
	Zénite	nível1						77
		nível2						81
		nível3						84
		nível4						88
EDF8	Azimute	inicial	286	284				291
		final	301	296				308
	Zénite	nível1	79	81				79
		nível2	82	83				82
		nível3	85	86				85
		nível4	88	89				88

Edifícios isolados A

lu= 0.50

w1= 17.60 m

w2= 38.60 m

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
		EDF1	Azimute	inicial	343	318				
				final	42	17				
distN=	17.6		Zénite	nível1	59	59				
	(m)			nível2	67	67				
				nível3	76	76				
				nível4	85	85				
		EDF2	Azimute	inicial	63	58	50			
				final	77	75	69			
distE=	44.6		Zénite	nível1	80	77	77			
distNz1=	57.3			nível2	83	81	80			
distNz2=	47.3			nível3	86	85	84			
	(m)			nível4	88	88	88			
		EDF3	Azimute	inicial			83			
				final			97			
distE=	38.6		Zénite	nível1			75			
	(m)			nível2			79			
				nível3			83			
				nível4			88			
		EDF4	Azimute	inicial			111	103	105	
				final			130	117	122	
distE=	44.6		Zénite	nível1			77	80	77	
distSz1=	57.3			nível2			80	83	81	
distSz2=	47.3			nível3			84	86	85	
	(m)			nível4			88	88	88	
		EDF5	Azimute	inicial				138	163	
				final				197	222	
distS=	17.6		Zénite	nível1				59	59	
	(m)			nível2				67	67	
				nível3				76	76	
				nível4				85	85	
		EDF6	Azimute	inicial				238	243	230
				final				255	257	249
distSz1=	47.3		Zénite	nível1				77	80	77
distSz2=	57.3			nível2				81	83	80
distO=	44.6			nível3				85	86	84
	(m)			nível4				88	88	88
		EDF7	Azimute	inicial						263
				final						277
distO=	38.6		Zénite	nível1						75
	(m)			nível2						79
				nível3						83
				nível4						88
		EDF8	Azimute	inicial	285	283				291
				final	302	297				310
distNz1=	47.3		Zénite	nível1	77	80				77
distNz2=	57.3			nível2	81	83				80
distO=	44.6			nível3	85	86				84
	(m)			nível4	88	88				88

Edifícios isolados A

lu= 0.80

w1= 11.90 m

w2= 26.10 m

distN= 11.9 (m)

distE= 31.0

distNz1= 43.7

distNz2= 33.6 (m)

distE= 26.1 (m)

distE= 31.0

distSz1= 43.7

distSz2= 33.6 (m)

distS= 11.9 (m)

distSz1= 33.6

distSz2= 43.7

distO= 31.0 (m)

distO= 26.1 (m)

distNz1= 33.6

distNz2= 43.7

distO= 31.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	336	307				
		final	53	24				
	Zénite	nível1	49	49				
		nível2	58	58				
		nível3	69	69				
		nível4	83	83				
EDF2	Azimute	inicial	63	56	45			
		final	79	77	71			
	Zénite	nível1	76	73	71			
		nível2	80	77	76			
		nível3	84	82	82			
		nível4	88	87	87			
EDF3	Azimute	inicial			80			
		final			100			
	Zénite	nível1			68			
		nível2			74			
		nível3			80			
		nível4			87			
EDF4	Azimute	inicial			109	101	103	
		final			135	117	124	
	Zénite	nível1			71	76	73	
		nível2			76	80	77	
		nível3			82	84	82	
		nível4			87	88	87	
EDF5	Azimute	inicial				127	156	
		final				204	233	
	Zénite	nível1				49	49	
		nível2				58	58	
		nível3				69	69	
		nível4				83	83	
EDF6	Azimute	inicial				236	243	225
		final				257	259	251
	Zénite	nível1				73	76	71
		nível2				77	80	76
		nível3				82	84	82
		nível4				87	88	87
EDF7	Azimute	inicial						260
		final						280
	Zénite	nível1						68
		nível2						74
		nível3						80
		nível4						87
EDF8	Azimute	inicial	283	281				289
		final	304	297				315
	Zénite	nível1	73	76				71
		nível2	77	80				76
		nível3	82	84				82
		nível4	87	88				87

Edifícios isolados B

lu= 0.3

w1= 37.01 m

w2= 37.01 m

distN= 37.0 (m)

distE= 55.8

distNz1= 64.6

distNz2= 56.2

distE= 37.0 (m)

distE= 55.8

distSz1= 64.6

distSz2= 56.2

distS= 37.0 (m)

distSz1= 56.2

distSz2= 64.6

distO= 55.8 (m)

distO= 37.0 (m)

distNz1= 56.2

distNz2= 64.6

distO= 55.8 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	352	337				
		final	23	8				
	Zénite	nível1	74	74				
		nível2	79	79				
		nível3	83	83				
		nível4	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	36			
		final	63	60	54			
	Zénite	nível1	81	79	79			
		nível2	83	82	82			
		nível3	86	85	85			
		nível4	89	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			83			
		final			97			
	Zénite	nível1			74			
		nível2			79			
		nível3			83			
		nível4			88			
EDF4	Azimute	inicial			126	117	120	
		final			144	131	138	
	Zénite	nível1			79	81	79	
		nível2			82	83	82	
		nível3			85	86	85	
		nível4			88	89	88	
EDF5	Azimute	inicial				157	172	
		final				188	203	
	Zénite	nível1				74	74	
		nível2				79	79	
		nível3				83	83	
		nível4				88	88	
EDF6	Azimute	inicial				222	229	216
		final				240	243	234
	Zénite	nível1				79	81	79
		nível2				82	83	82
		nível3				85	86	85
		nível4				88	89	88
EDF7	Azimute	inicial						263
		final						277
	Zénite	nível1						74
		nível2						79
		nível3						83
		nível4						88
EDF8	Azimute	inicial	300	297				306
		final	318	311				324
	Zénite	nível1	79	81				79
		nível2	82	83				82
		nível3	85	86				85
		nível4	88	89				88

Edifícios isolados B

lu= 0.4

w1= 30.08 m

w2= 30.08 m

distN= 30.1 (m)

distE= 46.1

distNz1= 54.9

distNz2= 46.4 (m)

distE= 30.1 (m)

distSz1= 54.9

distSz2= 46.4 (m)

distS= 30.1 (m)

distSz1= 46.4

distSz2= 54.9

distO= 46.1 (m)

distO= 30.1 (m)

distNz1= 46.4

distNz2= 54.9

distO= 46.1 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	350	332				
		final	28	10				
	Zénite	nível1	71	71				
		nível2	76	76				
		nível3	81	81				
		nível4	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	34			
		final	66	62	56			
	Zénite	nível1	79	77	77			
		nível2	82	81	81			
		nível3	85	84	84			
		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			81			
		final			99			
	Zénite	nível1			71			
		nível2			76			
		nível3			81			
		nível4			87			
EDF4	Azimute	inicial			124	114	118	0
		final			146	131	138	0
	Zénite	nível1			77	79	77	0
		nível2			81	82	81	0
		nível3			84	85	84	0
		nível4			88	88	88	0
EDF5	Azimute	inicial				152	170	0
		final				190	208	0
	Zénite	nível1				71	71	0
		nível2				76	76	0
		nível3				81	81	0
		nível4				87	87	0
EDF6	Azimute	inicial				222	229	214
		final				242	246	236
	Zénite	nível1				77	79	77
		nível2				81	82	81
		nível3				84	85	84
		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						261
		final						279
	Zénite	nível1						71
		nível2						76
		nível3						81
		nível4						87
EDF8	Azimute	inicial	298	294				304
		final	318	311				326
	Zénite	nível1	77	79				77
		nível2	81	82				81
		nível3	84	85				84
		nível4	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 0.5

w1= 25.37 m

w2= 25.37 m

distN= 25.4 (m)

distE= 39.4

distNz1= 48.4

distNz2= 39.8

(m)

distE= 25.4 (m)

distS= 25.4 (m)

distSz1= 39.8

distSz2= 48.4

distO= 39.4 (m)

distO= 25.4 (m)

distNz1= 39.8

distNz2= 48.4

distO= 39.4 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	348	328				
		final	32	12				
	Zénite	nível1	68	68				
		nível2	74	74				
		nível3	80	80				
		nível4	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	50	41	33			
		final	68	64	57			
	Zénite	nível1	78	75	75			
		nível2	81	79	79			
		nível3	85	84	83			
		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			79			
		final			101			
	Zénite	nível1			68			
		nível2			74			
		nível3			80			
		nível4			87			
EDF4	Azimute	inicial			123	112	116	0
		final			147	130	139	0
	Zénite	nível1			75	78	75	0
		nível2			79	81	79	0
		nível3			83	85	84	0
		nível4			88	88	88	0
EDF5	Azimute	inicial				148	168	0
		final				192	212	0
	Zénite	nível1				68	68	0
		nível2				74	74	0
		nível3				80	80	0
		nível4				87	87	0
EDF6	Azimute	inicial				221	230	213
		final				244	248	237
	Zénite	nível1				75	78	75
		nível2				79	81	79
		nível3				84	85	83
		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						259
		final						281
	Zénite	nível1						68
		nível2						74
		nível3						80
		nível4						87
EDF8	Azimute	inicial	296	292				303
		final	319	310				327
	Zénite	nível1	75	78				75
		nível2	79	81				79
		nível3	84	85				83
		nível4	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 0.8

w1= 17.02 m

w2= 17.02 m

distN= 17.0 (m)

distE= 27.7

distNz1= 37.1

distNz2= 28.1 (m)

distE= 17.0 (m)

distSz1= 37.1

distSz2= 28.1 (m)

distS= 17.0 (m)

distSz1= 28.1

distSz2= 37.1

distO= 27.7 (m)

distO= 17.0 (m)

distNz1= 28.1

distNz2= 37.1

distO= 27.7 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	343	317				
		final	43	17				
	Zénite	nível1	58	58				
		nível2	66	66				
		nível3	75	75				
		nível4	85	85				
EDF2	Azimute	inicial	51	40	28			
		final	73	69	60			
	Zénite	nível1	74	69	69			
		nível2	79	75	75			
		nível3	83	81	81			
		nível4	88	87	87			
EDF3	Azimute	inicial			74			
		final			106			
	Zénite	nível1			58			
		nível2			66			
		nível3			75			
		nível4			85			
EDF4	Azimute	inicial			120	107	111	
		final			152	129	140	
	Zénite	nível1			69	74	69	
		nível2			75	79	75	
		nível3			81	83	81	
		nível4			87	88	87	
EDF5	Azimute	inicial				137	163	
		final				197	223	
	Zénite	nível1				58	58	
		nível2				66	66	
		nível3				75	75	
		nível4				85	85	
EDF6	Azimute	inicial				220	231	208
		final				249	253	240
	Zénite	nível1				69	74	69
		nível2				75	79	75
		nível3				81	83	81
		nível4				87	88	87
EDF7	Azimute	inicial						254
		final						286
	Zénite	nível1						58
		nível2						66
		nível3						75
		nível4						85
EDF8	Azimute	inicial	291	287				300
		final	320	309				332
	Zénite	nível1	69	74				69
		nível2	75	79				75
		nível3	81	83				81
		nível4	87	88				87

Edifícios isolados B

lu= 1.0

w1= 13.72 m

w2= 13.72 m

distN= 13.7 (m)

distE= 23.0

distNz1= 32.6

distNz2= 23.5 (m)

distE= 13.7 (m)

distSz1= 32.6

distSz2= 23.5 (m)

distS= 13.7 (m)

distSz1= 23.5

distSz2= 32.6

distO= 23.0 (m)

distO= 13.7 (m)

distNz1= 23.5

distNz2= 32.6

distO= 23.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	339	311				
		final	49	21				
	Zénite	nível1	53	53				
		nível2	61	61				
		nível3	72	72				
		nível4	84	84				
EDF2	Azimute	inicial	52	39	26			
		final	75	71	62			
	Zénite	nível1	72	66	66			
		nível2	77	72	72			
		nível3	82	79	79			
		nível4	87	86	86			
EDF3	Azimute	inicial			71			
		final			109			
	Zénite	nível1			53			
		nível2			61			
		nível3			72			
		nível4			84			
EDF4	Azimute	inicial			118	105	109	
		final			154	128	141	
	Zénite	nível1			66	72	66	
		nível2			72	77	72	
		nível3			79	82	79	
		nível4			86	87	86	
EDF5	Azimute	inicial				131	159	
		final				201	229	
	Zénite	nível1				53	53	
		nível2				61	61	
		nível3				72	72	
		nível4				84	84	
EDF6	Azimute	inicial				219	232	206
		final				251	255	242
	Zénite	nível1				66	72	66
		nível2				72	77	72
		nível3				79	82	79
		nível4				86	87	86
EDF7	Azimute	inicial						251
		final						289
	Zénite	nível1						53
		nível2						61
		nível3						72
		nível4						84
EDF8	Azimute	inicial	289	285				298
		final	321	308				334
	Zénite	nível1	66	72				66
		nível2	72	77				72
		nível3	79	82				79
		nível4	86	87				86

Edifícios isolados B

lu= 1.1
w1= 12.42 m
w2= 12.42 m
distN= 12.4 (m)
distE= 21.2
distNz1= 30.9
distNz2= 21.6
distE= 12.4 (m)
distE= 21.2
distSz1= 30.9
distSz2= 21.6
distS= 12.4 (m)
distSz1= 21.6
distSz2= 30.9
distO= 21.2 (m)
distO= 12.4 (m)
distNz1= 21.6
distNz2= 30.9
distO= 21.2 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	337	308				
		final	52	23				
	Zénite	nível1	50	50				
		nível2	59	59				
		nível3	70	70				
		nível4	83	83				
EDF2	Azimute	inicial	52	39	25			
		final	76	72	63			
	Zénite	nível1	71	64	64			
		nível2	76	71	71			
		nível3	82	78	78			
		nível4	87	86	86			
EDF3	Azimute	inicial			69			
		final			111			
	Zénite	nível1			50			
		nível2			59			
		nível3			70			
		nível4			83			
EDF4	Azimute	inicial			117	104	108	
		final			155	128	141	
	Zénite	nível1			64	71	64	
		nível2			71	76	71	
		nível3			78	82	78	
		nível4			86	87	86	
EDF5	Azimute	inicial				128	157	
		final				203	232	
	Zénite	nível1				50	50	
		nível2				59	59	
		nível3				70	70	
		nível4				83	83	
EDF6	Azimute	inicial				219	232	205
		final				252	256	243
	Zénite	nível1				64	71	64
		nível2				71	76	71
		nível3				78	82	78
		nível4				86	87	86
EDF7	Azimute	inicial						249
		final						291
	Zénite	nível1						50
		nível2						59
		nível3						70
		nível4						83
EDF8	Azimute	inicial	288	284				297
		final	321	308				335
	Zénite	nível1	64	71				64
		nível2	71	76				71
		nível3	78	82				78
		nível4	86	87				86

Edifícios isolados C

lu= 0.4

w1= 44.03 m

w2= 10.00 m

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	340				
		final	20	7				
distN= 44.0 (m)	Zénite	nível1	77	77				
		nível2	80	80				
		nível3	84	84				
		nível4	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	26	16	10			
		final	47	40	33			
distE= 49.8	Zénite	nível1	78	77	78			
distNz1= 51.1		nível2	82	81	81			
distNz2= 46.6		nível3	85	84	85			
(m)		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			64			
		final			116			
distE= 10.0 (m)	Zénite	nível1			44			
		nível2			53			
		nível3			66			
		nível4			81			
EDF4	Azimute	inicial			147	133	140	
		final			170	154	164	
distE= 49.8	Zénite	nível1			78	78	77	
distSz1= 51.1		nível2			81	82	81	
distSz2= 46.6		nível3			85	85	84	
(m)		nível4			88	88	88	
EDF5	Azimute	inicial				160	173	
		final				187	200	
distS= 44.0 (m)	Zénite	nível1				77	77	
		nível2				80	80	
		nível3				84	84	
		nível4				88	88	
EDF6	Azimute	inicial				196	206	190
		final				220	227	213
distSz1= 46.6	Zénite	nível1				77	78	78
distSz2= 51.1		nível2				81	82	81
distO= 49.8		nível3				84	85	85
(m)		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						244
		final						296
distO= 10.0 (m)	Zénite	nível1						44
		nível2						53
		nível3						66
		nível4						81
EDF8	Azimute	inicial	320	313				327
		final	344	334				350
distNz1= 46.6	Zénite	nível1	77	78				78
distNz2= 51.1		nível2	81	82				81
distO= 49.8		nível3	84	85				85
(m)		nível4	88	88				88

Edifícios isolados C

lu= 0.5

w1= 30.98 m

w2= 10.00 m

distN= 31.0 (m)

distE= 37.2

distNz1= 40.4

distNz2= 34.6 (m)

distE= 10.0 (m)

distSz1= 40.4

distSz2= 34.6 (m)

distS= 31.0 (m)

distSz1= 34.6

distSz2= 40.4

distO= 37.2 (m)

distO= 10.0 (m)

distNz1= 34.6

distNz2= 40.4

distO= 37.2 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	350	333				
		final	27	10				
	Zénite	nível1	71	71				
		nível2	76	76				
		nível3	82	82				
		nível4	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	33	21	12			
		final	57	50	41			
	Zénite	nível1	75	73	74			
		nível2	79	78	79			
		nível3	84	83	83			
		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			64			
		final			116			
	Zénite	nível1			44			
		nível2			53			
		nível3			66			
		nível4			81			
EDF4	Azimute	inicial			139	123	130	
		final			168	147	159	
	Zénite	nível1			74	75	73	
		nível2			79	79	78	
		nível3			83	84	83	
		nível4			88	88	88	
EDF5	Azimute	inicial				153	170	
		final				190	207	
	Zénite	nível1				71	71	
		nível2				76	76	
		nível3				82	82	
		nível4				87	87	
EDF6	Azimute	inicial				201	213	192
		final				230	237	221
	Zénite	nível1				73	75	74
		nível2				78	79	79
		nível3				83	84	83
		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						244
		final						296
	Zénite	nível1						44
		nível2						53
		nível3						66
		nível4						81
EDF8	Azimute	inicial	310	303				319
		final	339	327				348
	Zénite	nível1	73	75				74
		nível2	78	79				79
		nível3	83	84				83
		nível4	88	88				88

Edifícios isolados C

lu= 0.7

w1= 16.07 m

w2= 10.00 m

distN= 16.1 (m)

distE= 23.1

distNz1= 30.5

distNz2= 22.2 (m)

distE= 10.0 (m)

distE= 23.1

distSz1= 30.5

distSz2= 22.2 (m)

distS= 16.1 (m)

distSz1= 22.2

distSz2= 30.5

distO= 23.1 (m)

distO= 10.0 (m)

distNz1= 22.2

distNz2= 30.5

distO= 23.1 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	342	315				
		final	45	18				
	Zénite	nível1	57	57				
		nível2	65	65				
		nível3	74	74				
		nível4	85	85				
EDF2	Azimute	inicial	45	31	18			
		final	71	66	56			
	Zénite	nível1	71	65	66			
		nível2	76	71	72			
		nível3	82	79	79			
		nível4	87	86	86			
EDF3	Azimute	inicial			64			
		final			116			
	Zénite	nível1			44			
		nível2			53			
		nível3			66			
		nível4			81			
EDF4	Azimute	inicial			124	109	114	
		final			162	135	149	
	Zénite	nível1			66	71	65	
		nível2			72	76	71	
		nível3			79	82	79	
		nível4			86	87	86	
EDF5	Azimute	inicial				135	162	
		final				198	225	
	Zénite	nível1				57	57	
		nível2				65	65	
		nível3				74	74	
		nível4				85	85	
EDF6	Azimute	inicial				211	225	198
		final				246	251	236
	Zénite	nível1				65	71	66
		nível2				71	76	72
		nível3				79	82	79
		nível4				86	87	86
EDF7	Azimute	inicial						244
		final						296
	Zénite	nível1						44
		nível2						53
		nível3						66
		nível4						81
EDF8	Azimute	inicial	294	289				304
		final	329	315				342
	Zénite	nível1	65	71				66
		nível2	71	76				72
		nível3	79	82				79
		nível4	86	87				86

Edifícios isolados D

lu= 0.5

w1= 40.94 m

w2= 5.00 m

distN= 40.9 (m)

distE= 46.0

distNz1= 46.0

distNz2= 42.2 (m)

distE= 5.0 (m)

distE= 46.0

distSz1= 46.0

distSz2= 42.2 (m)

distS= 40.9 (m)

distSz1= 42.2

distSz2= 46.0

distO= 46.0 (m)

distO= 5.0 (m)

distNz1= 42.2

distNz2= 46.0

distO= 46.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	339				
		final	21	7				
	Zénite	nível1	76	76				
		nível2	80	80				
		nível3	84	84				
		nível4	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	22	12	5			
		final	46	38	30			
	Zénite	nível1	77	76	77			
		nível2	81	80	81			
		nível3	84	84	84			
		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			46			
		final			134			
	Zénite	nível1			25			
		nível2			34			
		nível3			48			
		nível4			73			
EDF4	Azimute	inicial			150	134	142	
		final			175	158	168	
	Zénite	nível1			77	77	76	
		nível2			81	81	80	
		nível3			84	84	84	
		nível4			88	88	88	
EDF5	Azimute	inicial				159	173	
		final				187	201	
	Zénite	nível1				76	76	
		nível2				80	80	
		nível3				84	84	
		nível4				88	88	
EDF6	Azimute	inicial				192	202	185
		final				218	226	210
	Zénite	nível1				76	77	77
		nível2				80	81	81
		nível3				84	84	84
		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						226
		final						314
	Zénite	nível1						25
		nível2						34
		nível3						48
		nível4						73
EDF8	Azimute	inicial	322	314				330
		final	348	338				355
	Zénite	nível1	76	77				77
		nível2	80	81				81
		nível3	84	84				84
		nível4	88	88				88

Edifícios isolados D

lu= 0.8

w1= 17.64 m

w2= 5.00 m

distN= 17.6 (m)

distE= 23.0

distNz1= 27.3

distNz2= 20.4

distS= 17.6

distSz1= 20.4

distSz2= 27.3

distO= 23.0

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial		343	318				
		final		42	17				
	Zénite	nível1		59	59				
		nível2		67	67				
		nível3		76	76				
		nível4		85	85				
EDF2	Azimute	inicial		37	21	9			
		final		67	61	49			
	Zénite	nível1		69	63	65			
		nível2		75	70	72			
		nível3		81	78	79			
		nível4		87	86	86			
EDF3	Azimute	inicial				46			
		final				134			
	Zénite	nível1				25			
		nível2				34			
		nível3				48			
		nível4				73			
EDF4	Azimute	inicial				131	113	119	
		final				171	143	159	
	Zénite	nível1				65	69	63	
		nível2				72	75	70	
		nível3				79	81	78	
		nível4				86	87	86	
EDF5	Azimute	inicial					138	163	
		final					197	222	
	Zénite	nível1					59	59	
		nível2					67	67	
		nível3					76	76	
		nível4					85	85	
EDF6	Azimute	inicial					201	217	189
		final					241	247	229
	Zénite	nível1					63	69	65
		nível2					70	75	72
		nível3					78	81	79
		nível4					86	87	86
EDF7	Azimute	inicial							226
		final							314
	Zénite	nível1							25
		nível2							34
		nível3							48
		nível4							73
EDF8	Azimute	inicial		299	293				311
		final		339	323				351
	Zénite	nível1		63	69				65
		nível2		70	75				72
		nível3		78	81				79
		nível4		86	87				86

Edifícios isolados D

lu= 0.9

w1= 13.32 m

w2= 5.00 m

distN= 13.3 (m)

distE= 18.8

distNz1= 24.8

distNz2= 16.8 (m)

distE= 5.0 (m)

distSz1= 24.8

distSz2= 16.8 (m)

distS= 13.3 (m)

distSz1= 16.8

distSz2= 24.8

distO= 18.8 (m)

distO= 5.0 (m)

distNz1= 16.8

distNz2= 24.8

distO= 18.8 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	338	310				
		final	50	22				
	Zénite	nível1	52	52				
		nível2	61	61				
		nível3	71	71				
		nível4	84	84				
EDF2	Azimute	inicial	42	24	10			
		final	72	67	55			
	Zénite	nível1	67	58	61			
		nível2	73	66	68			
		nível3	80	75	77			
		nível4	87	85	85			
EDF3	Azimute	inicial			46			
		final			134			
	Zénite	nível1			25			
		nível2			34			
		nível3			48			
		nível4			73			
EDF4	Azimute	inicial			125	108	113	
		final			170	138	156	
	Zénite	nível1			61	67	58	
		nível2			68	73	66	
		nível3			77	80	75	
		nível4			85	87	85	
EDF5	Azimute	inicial				130	158	
		final				202	230	
	Zénite	nível1				52	52	
		nível2				61	61	
		nível3				71	71	
		nível4				84	84	
EDF6	Azimute	inicial				204	222	190
		final				247	252	235
	Zénite	nível1				58	67	61
		nível2				66	73	68
		nível3				75	80	77
		nível4				85	87	85
EDF7	Azimute	inicial						226
		final						314
	Zénite	nível1						25
		nível2						34
		nível3						48
		nível4						73
EDF8	Azimute	inicial	293	288				305
		final	336	318				350
	Zénite	nível1	58	67				61
		nível2	66	73				68
		nível3	75	80				77
		nível4	85	87				85

Edifícios isolados E

lu= 0.5

w1= 46.08 m

w2= 3.00 m

distN= 46.1 (m)

distE= 51.0

distNz1= 49.8

distNz2= 46.8 (m)

distE= 3.0 (m)

distE= 51.0

distSz1= 49.8

distSz2= 46.8 (m)

distS= 46.1 (m)

distSz1= 46.8

distSz2= 49.8

distO= 51.0 (m)

distO= 3.0 (m)

distNz1= 46.8

distNz2= 49.8

distO= 51.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	341				
		final	19	7				
	Zénite	nível1	77	77				
		nível2	81	81				
		nível3	84	84				
		nível4	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	19	8	3			
		final	41	33	25			
	Zénite	nível1	78	77	78			
		nível2	81	81	82			
		nível3	85	85	85			
		nível4	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			32			
		final			148			
	Zénite	nível1			16			
		nível2			22			
		nível3			34			
		nível4			63			
EDF4	Azimute	inicial			155	139	147	
		final			177	161	172	
	Zénite	nível1			78	78	77	
		nível2			82	81	81	
		nível3			85	85	85	
		nível4			88	88	88	
EDF5	Azimute	inicial				161	173	
		final				187	199	
	Zénite	nível1				77	77	
		nível2				81	81	
		nível3				84	84	
		nível4				88	88	
EDF6	Azimute	inicial				188	199	183
		final				213	221	205
	Zénite	nível1				77	78	78
		nível2				81	81	82
		nível3				85	85	85
		nível4				88	88	88
EDF7	Azimute	inicial						212
		final						328
	Zénite	nível1						16
		nível2						22
		nível3						34
		nível4						63
EDF8	Azimute	inicial	327	319				335
		final	352	341				357
	Zénite	nível1	77	78				78
		nível2	81	81				82
		nível3	85	85				85
		nível4	88	88				88

Edifícios isolados E

lu= 0.8

w1= 20.85 m

w2= 3.00 m

distN= 20.9 (m)

distE= 25.8

distNz1= 28.1

distNz2= 22.4 (m)

distE= 3.0 (m)

distE= 25.8

distSz1= 28.1

distSz2= 22.4 (m)

distS= 20.9 (m)

distSz1= 22.4

distSz2= 28.1

distO= 25.8 (m)

distO= 3.0 (m)

distNz1= 22.4

distNz2= 28.1

distO= 25.8 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	346	323				
		final	37	14				
	Zénite	nível1	63	63				
		nível2	70	70				
		nível3	78	78				
		nível4	86	86				
EDF2	Azimute	inicial	32	15	5			
		final	63	55	43			
	Zénite	nível1	70	65	68			
		nível2	75	72	74			
		nível3	81	79	80			
		nível4	87	86	87			
EDF3	Azimute	inicial			32			
		final			148			
	Zénite	nível1			16			
		nível2			22			
		nível3			34			
		nível4			63			
EDF4	Azimute	inicial			137	117	125	
		final			175	148	165	
	Zénite	nível1			68	70	65	
		nível2			74	75	72	
		nível3			80	81	79	
		nível4			87	87	86	
EDF5	Azimute	inicial				143	166	
		final				194	217	
	Zénite	nível1				63	63	
		nível2				70	70	
		nível3				78	78	
		nível4				86	86	
EDF6	Azimute	inicial				195	212	185
		final				235	243	223
	Zénite	nível1				65	70	68
		nível2				72	75	74
		nível3				79	81	80
		nível4				86	87	87
EDF7	Azimute	inicial						212
		final						328
	Zénite	nível1						16
		nível2						22
		nível3						34
		nível4						63
EDF8	Azimute	inicial	305	297				317
		final	345	328				355
	Zénite	nível1	65	70				68
		nível2	72	75				74
		nível3	79	81				80
		nível4	86	87				87

Edifícios isolados E

lu= 1.0

w1= 12.44 m

w2= 3.00 m

distN= 12.4 (m)

distE= 17.5

distNz1= 22.6

distNz2= 15.0 (m)

distE= 3.0 (m)

distE= 17.5

distSz1= 22.6

distSz2= 15.0 (m)

distS= 12.4 (m)

distSz1= 15.0

distSz2= 22.6

distO= 17.5 (m)

distO= 3.0 (m)

distNz1= 15.0

distNz2= 22.6

distO= 17.5 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	337	308				
		final	52	23				
	Zénite	nível1	50	50				
		nível2	59	59				
		nível3	70	70				
		nível4	83	83				
EDF2	Azimute	inicial	41	21	6			
		final	73	67	55			
	Zénite	nível1	65	55	59			
		nível2	72	63	67			
		nível3	79	73	76			
		nível4	86	84	85			
EDF3	Azimute	inicial			32			
		final			148			
	Zénite	nível1			16			
		nível2			22			
		nível3			34			
		nível4			63			
EDF4	Azimute	inicial			125	107	113	
		final			174	139	159	
	Zénite	nível1			59	65	55	
		nível2			67	72	63	
		nível3			76	79	73	
		nível4			85	86	84	
EDF5	Azimute	inicial				128	157	
		final				203	232	
	Zénite	nível1				50	50	
		nível2				59	59	
		nível3				70	70	
		nível4				83	83	
EDF6	Azimute	inicial				201	221	186
		final				247	253	235
	Zénite	nível1				55	65	59
		nível2				63	72	67
		nível3				73	79	76
		nível4				84	86	85
EDF7	Azimute	inicial						212
		final						328
	Zénite	nível1						16
		nível2						22
		nível3						34
		nível4						63
EDF8	Azimute	inicial	293	287				305
		final	339	319				354
	Zénite	nível1	55	65				59
		nível2	63	72				67
		nível3	73	79				76
		nível4	84	86				85

Edifícios isolados alternados

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu=	0.4		**EDF1**	Azimute	inicial	354	343			
w1=	20.8	m			final	17	6			
w2=	45.7	distN= 51.2		Zénite	nível1	78	78			
		(m)			nível2	82	82			
					nível3	85	85			
					nível4	88	88			
			EDF2	Azimute	inicial	43	30	19		
					final	67	62	52		
		distE= 28.4		Zénite	nível1	73	69	70		
		distNz1= 35.0			nível2	78	75	75		
		distNz2= 27.2			nível3	83	81	81		
		(m)			nível4	88	87	87		
			EDF3	Azimute	inicial			84		
					final			96		
		distE= 45.7		Zénite	nível1			77		
		(m)			nível2			81		
					nível3			84		
					nível4			88		
			EDF4	Azimute	inicial			128	113	118
					final			161	137	150
		distE= 28.4		Zénite	nível1			70	73	69
		distSz1= 35.0			nível2			75	78	75
		distSz2= 27.2			nível3			81	83	81
		(m)			nível4			87	88	87
			EDF5	Azimute	inicial				163	174
					final				186	197
		distS= 51.2		Zénite	nível1				78	78
		(m)			nível2				82	82
					nível3				85	85
					nível4				88	88
			EDF6	Azimute	inicial				210	223
					final				242	247
		distSz1= 27.2		Zénite	nível1				69	73
		distSz2= 35.0			nível2				75	78
		distO= 28.4			nível3				81	83
		(m)			nível4				87	88
			EDF7	Azimute	inicial					
					final					
		distO= 45.7		Zénite	nível1					
		(m)			nível2					
					nível3					
					nível4					
			EDF8	Azimute	inicial	298	293			
					final	330	317			
		distNz1= 27.2		Zénite	nível1	69	73			
		distNz2= 35.0			nível2	75	78			
		distO= 28.4			nível3	81	83			
					nível4	87	88			

Edifícios isolados alternados

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu=	0.5		**EDF1**	Azimute	inicial	353	340			
w1=	17.6	m			final	20	7			
w2=	38.6	distN= 44.8		Zénite	nível1	77	77			
		(m)			nível2	80	80			
					nível3	84	84			
					nível4	88	88			
			EDF2	Azimute	inicial	42	27	15		
					final	69	63	53		
		distE= 24.0		Zénite	nível1	71	65	66		
		distNz1= 30.2			nível2	76	72	73		
		distNz2= 22.5			nível3	82	79	79		
		(m)			nível4	87	86	86		
			EDF3	Azimute	inicial			83		
					final			97		
		distE= 38.6		Zénite	nível1			75		
		(m)			nível2			79		
					nível3			83		
					nível4			88		
			EDF4	Azimute	inicial			127	111	117
					final			165	138	153
		distE= 24.0		Zénite	nível1			66	71	65
		distSz1= 30.2			nível2			73	76	72
		distSz2= 22.5			nível3			79	82	79
		(m)			nível4			86	87	86
			EDF5	Azimute	inicial				160	173
					final				187	200
		distS= 44.8		Zénite	nível1				77	77
		(m)			nível2				80	80
					nível3				84	84
					nível4				88	88
			EDF6	Azimute	inicial				207	222
					final				243	249
		distSz1= 22.5		Zénite	nível1				65	71
		distSz2= 30.2			nível2				72	76
		distO= 24.0			nível3				79	82
		(m)			nível4				86	87
			EDF7	Azimute	inicial					
					final					
		distO= 38.6		Zénite	nível1					
		(m)			nível2					
					nível3					
					nível4					
			EDF8	Azimute	inicial	297	291			
					final	333	318			
		distNz1= 22.5		Zénite	nível1	65	71			
		distNz2= 30.2			nível2	72	76			
		distO= 24.0			nível3	79	82			
		(m)			nível4	86	87			

				Fachadas:	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1

Edifícios isolados alternados

				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu=	0.8		**EDF1**	Azimute	inicial	351	335			
w1=	11.9	m			final	25	9			
w2=	26.1	distN= 33.4		Zénite	nível1	73	73			
		(m)			nível2	77	77			
					nível3	82	82			
					nível4	87	87			
			EDF2	Azimute	inicial	40	20	5		
					final	73	68	55		
		distE= 16.9		Zénite	nível1	64	54	58		
		distNz1= 21.9			nível2	71	62	66		
		distNz2= 14.2			nível3	78	72	75		
		(m)			nível4	86	84	85		
			EDF3	Azimute	inicial			80		
					final			100		
		distE= 26.1		Zénite	nível1			68		
		(m)			nível2			74		
					nível3			80		
					nível4			87		
			EDF4	Azimute	inicial			125	107	112
					final			175	140	160
		distE= 16.9		Zénite	nível1			58	64	54
		distSz1= 21.9			nível2			66	71	62
		distSz2= 14.2			nível3			75	78	72
		(m)			nível4			85	86	84
			EDF5	Azimute	inicial				155	171
					final				189	205
		distS= 33.4		Zénite	nível1				73	73
		(m)			nível2				77	77
					nível3				82	82
					nível4				87	87
			EDF6	Azimute	inicial				200	220
					final				248	253
		distSz1= 14.2		Zénite	nível1				54	64
		distSz2= 21.9			nível2				62	71
		distO= 16.9			nível3				72	78
		(m)			nível4				84	86
			EDF7	Azimute	inicial					260
					final					280
		distO= 26.1		Zénite	nível1					68
					nível2					74
					nível3					80
					nível4					87
			EDF8	Azimute	inicial	292	287			305
					final	340	320			355
		distNz1= 14.2		Zénite	nível1	54	64			58
		distNz2= 21.9			nível2	62	71			66
		distO= 16.9			nível3	72	78			75
		(m)			nível4	84	86			85

Edifícios isolados alternados

					Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu=	0.9			**EDF1**	Azimute	inicial	350	333			
w1=	10.7	m				final	27	10			
w2=	23.4	distN=	31.0		Zénite	nível1	71	71			
			(m)			nível2	76	76			
						nível3	82	82			
						nível4	87	87			
				EDF2	Azimute	inicial	40	17	3		
						final	74	69	55		
		distE=	15.5		Zénite	nível1	62	50	56		
		distNz1=	20.1			nível2	70	59	64		
		distNz2=	12.5			nível3	77	70	74		
			(m)			nível4	86	83	84		
				EDF3	Azimute	inicial			78		
						final			102		
		distE=	23.4		Zénite	nível1			66		
			(m)			nível2			72		
						nível3			79		
						nível4			86		
				EDF4	Azimute	inicial			125	106	111
						final			177	140	163
		distE=	15.5		Zénite	nível1			56	62	50
		distSz1=	20.1			nível2			64	70	59
		distSz2=	12.5			nível3			74	77	70
			(m)			nível4			84	86	83
				EDF5	Azimute	inicial				153	170
						final				190	207
		distS=	31.0		Zénite	nível1				71	71
			(m)			nível2				76	76
						nível3				82	82
						nível4				87	87
				EDF6	Azimute	inicial				197	220
						final				249	254
		distSz1=	12.5		Zénite	nível1				50	62
		distSz2=	20.1			nível2				59	70
		distO=	15.5			nível3				70	77
			(m)			nível4				83	86
				EDF7	Azimute	inicial					258
						final					282
		distO=	23.4		Zénite	nível1					66
			(m)			nível2					72
						nível3					79
						nível4					86
				EDF8	Azimute	inicial	291	286			305
						final	343	320			357
		distNz1=	12.5		Zénite	nível1	50	62			56
		distNz2=	20.1			nível2	59	70			64
		distO=	15.5			nível3	70	77			74
			(m)			nível4	83	86			84

Edifícios agrupados

lu= 0.4

w1= 20.80 m

w2= 91.40 m

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2
EDF1	Azimute	inicial	346	323			
		final	37	14			
distN= 20.8 (m)	Zénite	nível1	63	63			
		nível2	70	70			
		nível3	78	78			
		nível4	86	86			
EDF2	Azimute	inicial	74	73	69		
		final	81	80	77		
distE= 94.9 distNz1= 109.3 distNz2= 98.9 (m)	Zénite	nível1	85	84	84		
		nível2	86	86	85		
		nível3	88	87	87		
		nível4	89	89	89		
EDF3	Azimute	inicial			87		
		final			93		
distE= 91.4 (m)	Zénite	nível1			83		
		nível2			85		
		nível3			87		
		nível4			89		
EDF4	Azimute	inicial			103	99	100
		final			111	106	107
distE= 94.9 distSz1= 109.3 distSz2= 98.9 (m)	Zénite	nível1			84	85	84
		nível2			85	86	86
		nível3			87	88	87
		nível4			89	89	89
EDF5	Azimute	inicial				143	166
		final				232	241
distS= 20.8 (m)	Zénite	nível1				63	63
		nível2				70	70
		nível3				78	78
		nível4				86	86
EDF6	Azimute	inicial				256	257
		final				263	263
distSz1= 119.7 distSz2= 130.2 (m)	Zénite	nível1				85	85
		nível2				86	87
		nível3				88	88
		nível4				89	89
EDF7	Azimute	inicial					
		final					
	Zénite	nível1					
		nível2					
		nível3					
		nível4					
EDF8	Azimute	inicial	277	277			
		final	284	283			
distNz1= 119.7 distNz2= 130.2 (m)	Zénite	nível1	85	85			
		nível2	86	87			
		nível3	88	88			
		nível4	89	89			

Edifícios agrupados

lu= 0.5

w1= 17.60 m

w2= 77.30 m

distN= 17.6 (m)

distE= 80.5

distNz1= 94.8

distNz2= 84.5 (m)

distE= 77.3 (m)

distE= 80.5

distSz1= 94.8

distSz2= 84.5 (m)

distS= 17.6 (m)

distSz1= 105.3

distSz2= 115.7 (m)

distNz1= 105.3

distNz2= 115.7 (m)

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2
EDF1	Azimute	inicial		343	318			
		final		42	17			
	Zénite	nível1		59	59			
		nível2		67	67			
		nível3		76	76			
		nível4		85	85			
EDF2	Azimute	inicial		74	72	68		
		final		81	80	77		
	Zénite	nível1		84	83	83		
		nível2		85	85	85		
		nível3		87	87	87		
		nível4		89	89	89		
EDF3	Azimute	inicial				86		
		final				94		
	Zénite	nível1				82		
		nível2				84		
		nível3				87		
		nível4				89		
EDF4	Azimute	inicial				103	99	100
		final				112	106	108
	Zénite	nível1				83	84	83
		nível2				85	85	85
		nível3				87	87	87
		nível4				89	89	89
EDF5	Azimute	inicial					138	163
		final					236	245
	Zénite	nível1					59	59
		nível2					67	67
		nível3					76	76
		nível4					85	85
EDF6	Azimute	inicial					255	257
		final					263	264
	Zénite	nível1					84	85
		nível2					86	86
		nível3					88	88
		nível4					89	89
EDF7	Azimute	inicial						
		final						
	Zénite	nível1						
		nível2						
		nível3						
		nível4						
EDF8	Azimute	inicial		277	276			
		final		285	283			
	Zénite	nível1		84	85			
		nível2		86	86			
		nível3		88	88			
		nível4		89	89			

Edifícios agrupados

lu= 0.8

w1= 11.90 m

w2= 52.20 m

distN= 11.9 (m)

distE= 54.8

distNz1= 69.1

distNz2= 58.7 (m)

distE= 52.2 (m)

distE= 54.8

distSz1= 69.1

distSz2= 58.7 (m)

distS= 11.9 (m)

distSz1= 79.6

distSz2= 90.1 (m)

distNz1= 79.6

distNz2= 90.1 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2
EDF1	Azimute	inicial	336	307			
		final	53	24			
	Zénite	nível1	49	49			
		nível2	58	58			
		nível3	69	69			
		nível4	83	83			
EDF2	Azimute	inicial	72	69	63		
		final	82	81	77		
	Zénite	nível1	81	80	79		
		nível2	84	83	82		
		nível3	86	86	85		
		nível4	89	89	88		
EDF3	Azimute	inicial			85		
		final			95		
	Zénite	nível1			79		
		nível2			82		
		nível3			85		
		nível4			88		
EDF4	Azimute	inicial			103	98	99
		final			117	108	111
	Zénite	nível1			79	81	80
		nível2			82	84	83
		nível3			85	86	86
		nível4			88	89	89
EDF5	Azimute	inicial				127	156
		final				246	252
	Zénite	nível1				49	49
		nível2				58	58
		nível3				69	69
		nível4				83	83
EDF6	Azimute	inicial				255	256
		final				264	265
	Zénite	nível1				82	83
		nível2				85	85
		nível3				87	87
		nível4				89	89
EDF7	Azimute	inicial					
		final					
	Zénite	nível1					
		nível2					
		nível3					
		nível4					
EDF8	Azimute	inicial	276	275			
		final	285	284			
	Zénite	nível1	82	83			
		nível2	85	85			
		nível3	87	87			
		nível4	89	89			

Edifícios isolados B

lu= 0.30

w1= 48.66 m

w2= 48.66 m

distN= 48.7 (m)

distE= 72.3

distNz1= 80.8

distNz2= 72.7 (m)

distE= 48.7 (m)

distSz1= 80.8

distSz2= 72.7 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	354	342				
		final	18	6				
	Zénite	nivel1	71	71				
		nivel2	74	74				
		nivel3	78	78				
		nivel4	81	81				
		nivel5	85	85				
		nivel6	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	48	43	38			
		final	60	57	53			
	Zénite	nivel1	78	77	77			
		nivel2	81	79	79			
		nivel3	83	82	82			
		nivel4	85	84	84			
		nivel5	87	86	86			
		nivel6	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			84			
		final			96			
	Zénite	nivel1			71			
		nivel2			74			
		nivel3			78			
		nivel4			81			
		nivel5			85			
		nivel6			88			
EDF4	Azimute	inicial			127	120	123	
		final			142	132	137	
	Zénite	nivel1			77	78	77	
		nivel2			79	81	79	
		nivel3			82	83	82	
		nivel4			84	85	84	
		nivel5			86	87	86	
		nivel6			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				162	174	
			final				186	198	
distS=	48.7	Zénite	nivel1				71	71	
	(m)		nivel2				74	74	
			nivel3				78	78	
			nivel4				81	81	
			nivel5				85	85	
			nivel6				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				223	228	218
			final				237	240	233
distSz1=	72.7	Zénite	nivel1				77	78	77
distSz2=	80.8		nivel2				79	81	79
distO=	72.3		nivel3				82	83	82
	(m)		nivel4				84	85	84
			nivel5				86	87	86
			nivel6				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						264
			final						276
distO=	48.7	Zénite	nivel1						71
	(m)		nivel2						74
			nivel3						78
			nivel4						81
			nivel5						85
			nivel6						88
	EDF8	Azimute	inicial	303	300				307
			final	317	312				322
distNz1=	72.7	Zénite	nivel1	77	78				77
distNz2=	80.8		nivel2	79	81				79
distO=	72.3		nivel3	82	83				82
	(m)		nivel4	84	85				84
			nivel5	86	87				86
			nivel6	89	89				89

Edifícios isolados B

lu= 0.50

w1= 34.36 m

w2= 34.36 m

distN= 34.4 (m)

distE= 52.1

distNz1= 60.9

distNz2= 52.5 (m)

distE= 34.4 (m)

distSz1= 60.9

distSz2= 52.5 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	351	335				
		final	25	9				
	Zénite	nivel1	64	64				
		nivel2	69	69				
		nivel3	73	73				
		nivel4	78	78				
		nivel5	83	83				
		nivel6	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	35			
		final	64	61	55			
	Zénite	nivel1	75	73	72			
		nivel2	77	76	75			
		nivel3	80	79	79			
		nivel4	83	82	82			
		nivel5	86	85	85			
		nivel6	89	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			82			
		final			98			
	Zénite	nivel1			64			
		nivel2			69			
		nivel3			73			
		nivel4			78			
		nivel5			83			
		nivel6			88			
EDF4	Azimute	inicial			125	116	119	
		final			145	131	138	
	Zénite	nivel1			72	75	73	
		nivel2			75	77	76	
		nivel3			79	80	79	
		nivel4			82	83	82	
		nivel5			85	86	85	
		nivel6			88	89	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				155	171	
			final				189	205	
distS=	34.4	Zénite	nivel1				64	64	
	(m)		nivel2				69	69	
			nivel3				73	73	
			nivel4				78	78	
			nivel5				83	83	
			nivel6				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				222	229	215
			final				241	244	235
distSz1=	52.5	Zénite	nivel1				73	75	72
distSz2=	60.9		nivel2				76	77	75
distO=	52.1		nivel3				79	80	79
	(m)		nivel4				82	83	82
			nivel5				85	86	85
			nivel6				88	89	88
	EDF7	Azimute	inicial						262
			final						278
distO=	34.4	Zénite	nivel1						64
	(m)		nivel2						69
			nivel3						73
			nivel4						78
			nivel5						83
			nivel6						88
	EDF8	Azimute	inicial	299	296				305
			final	318	311				325
distNz1=	52.5	Zénite	nivel1	73	75				72
distNz2=	60.9		nivel2	76	77				75
distO=	52.1		nivel3	79	80				79
	(m)		nivel4	82	83				82
			nivel5	85	86				85
			nivel6	88	89				88

Edifícios isolados B

lu= 0.80

w1= 24.10 m

w2= 24.10 m

distN= 24.1 (m)

distE= 37.6

distNz1= 46.7

distNz2= 38.0 (m)

distE= 24.1 (m)

distSz1= 46.7

distSz2= 38.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	348	327				
		final	33	12				
	Zénite	nivel1	56	56				
		nivel2	61	61				
		nivel3	66	66				
		nivel4	73	73				
		nivel5	79	79				
		nivel6	86	86				
EDF2	Azimute	inicial	50	41	32			
		final	69	65	57			
	Zénite	nivel1	71	67	66			
		nivel2	74	70	70			
		nivel3	77	75	74			
		nivel4	81	79	79			
		nivel5	84	83	83			
		nivel6	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			79			
		final			101			
	Zénite	nivel1			56			
		nivel2			61			
		nivel3			66			
		nivel4			73			
		nivel5			79			
		nivel6			86			
EDF4	Azimute	inicial			123	111	115	
		final			148	130	139	
	Zénite	nivel1			66	71	67	
		nivel2			70	74	70	
		nivel3			74	77	75	
		nivel4			79	81	79	
		nivel5			83	84	83	
		nivel6			88	88	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				147	168	
			final				192	213	
distS=	24.1	Zénite	nivel1				56	56	
	(m)		nivel2				61	61	
			nivel3				66	66	
			nivel4				73	73	
			nivel5				79	79	
			nivel6				86	86	
	EDF6	Azimute	inicial				221	230	212
			final				245	249	237
distSz1=	38.0	Zénite	nivel1				67	71	66
distSz2=	46.7		nivel2				70	74	70
distO=	37.6		nivel3				75	77	74
	(m)		nivel4				79	81	79
			nivel5				83	84	83
			nivel6				88	88	88
	EDF7	Azimute	inicial						259
			final						281
distO=	24.1	Zénite	nivel1						56
	(m)		nivel2						61
			nivel3						66
			nivel4						73
			nivel5						79
			nivel6						86
	EDF8	Azimute	inicial	295	291				303
			final	319	310				328
distNz1=	38.0	Zénite	nivel1	67	71				66
distNz2=	46.7		nivel2	70	74				70
distO=	37.6		nivel3	75	77				74
	(m)		nivel4	79	81				79
			nivel5	83	84				83
			nivel6	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 1.00

w1= 20.02 m

w2= 20.02 m

distN= 20.0 (m)

distE= 31.9

distNz1= 41.1

distNz2= 32.3 (m)

distE= 20.0 (m)

distSz1= 41.1

distSz2= 32.3 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	345	322				
		final	38	15				
	Zénite	nivel1	51	51				
		nivel2	56	56				
		nivel3	62	62				
		nivel4	69	69				
		nivel5	77	77				
		nivel6	86	86				
EDF2	Azimute	inicial	50	41	30			
		final	71	67	59			
	Zénite	nivel1	68	63	63			
		nivel2	72	67	67			
		nivel3	76	72	72			
		nivel4	80	77	77			
		nivel5	84	82	82			
		nivel6	88	87	87			
EDF3	Azimute	inicial			77			
		final			103			
	Zénite	nivel1			51			
		nivel2			56			
		nivel3			62			
		nivel4			69			
		nivel5			77			
		nivel6			86			
EDF4	Azimute	inicial			121	109	113	
		final			150	130	139	
	Zénite	nivel1			63	68	63	
		nivel2			67	72	67	
		nivel3			72	76	72	
		nivel4			77	80	77	
		nivel5			82	84	82	
		nivel6			87	88	87	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				142	165	
			final				195	218	
distS=	20.0	Zénite	nivel1				51	51	
	(m)		nivel2				56	56	
			nivel3				62	62	
			nivel4				69	69	
			nivel5				77	77	
			nivel6				86	86	
	EDF6	Azimute	inicial				221	230	210
			final				247	251	239
distSz1=	32.3	Zénite	nivel1				63	68	63
distSz2=	41.1		nivel2				67	72	67
distO=	31.9		nivel3				72	76	72
	(m)		nivel4				77	80	77
			nivel5				82	84	82
			nivel6				87	88	87
	EDF7	Azimute	inicial						257
			final						283
distO=	20.0	Zénite	nivel1						51
	(m)		nivel2						56
			nivel3						62
			nivel4						69
			nivel5						77
			nivel6						86
	EDF8	Azimute	inicial	293	289				301
			final	319	310				330
distNz1=	32.3	Zénite	nivel1	63	68				63
distNz2=	41.1		nivel2	67	72				67
distO=	31.9		nivel3	72	76				72
	(m)		nivel4	77	80				77
			nivel5	82	84				82
			nivel6	87	88				87

Edifícios isolados B

Iu= 1.10

w1= 18.42 m

w2= 18.42 m

distN= 18.4 (m)

distE= 29.6

distNz1= 39.0

distNz2= 30.0 (m)

distE= 18.4 (m)

distE= 29.6

distSz1= 39.0

distSz2= 30.0 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	344	319				
		final	41	16				
	Zénite	nivel1	48	48				
		nivel2	54	54				
		nivel3	60	60				
		nivel4	68	68				
		nivel5	76	76				
		nivel6	85	85				
EDF2	Azimute	inicial	51	40	29			
		final	72	68	60			
	Zénite	nivel1	67	61	61			
		nivel2	71	66	66			
		nivel3	75	71	70			
		nivel4	79	76	76			
		nivel5	83	81	81			
		nivel6	88	87	87			
EDF3	Azimute	inicial			75			
		final			105			
	Zénite	nivel1			48			
		nivel2			54			
		nivel3			60			
		nivel4			68			
		nivel5			76			
		nivel6			85			
EDF4	Azimute	inicial			120	108	112	
		final			151	129	140	
	Zénite	nivel1			61	67	61	
		nivel2			66	71	66	
		nivel3			70	75	71	
		nivel4			76	79	76	
		nivel5			81	83	81	
		nivel6			87	88	87	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				139	164	
			final				196	221	
distS=	18.4	Zénite	nivel1				48	48	
	(m)		nivel2				54	54	
			nivel3				60	60	
			nivel4				68	68	
			nivel5				76	76	
			nivel6				85	85	
	EDF6	Azimute	inicial				220	231	209
			final				248	252	240
distSz1=	30.0	Zénite	nivel1				61	67	61
distSz2=	39.0		nivel2				66	71	66
distO=	29.6		nivel3				71	75	70
	(m)		nivel4				76	79	76
			nivel5				81	83	81
			nivel6				87	88	87
	EDF7	Azimute	inicial						255
			final						285
distO=	18.4	Zénite	nivel1						48
	(m)		nivel2						54
			nivel3						60
			nivel4						68
			nivel5						76
			nivel6						85
	EDF8	Azimute	inicial	292	288				300
			final	320	309				331
distNz1=	30.0	Zénite	nivel1	61	67				61
distNz2=	39.0		nivel2	66	71				66
distO=	29.6		nivel3	71	75				70
	(m)		nivel4	76	79				76
			nivel5	81	83				81
			nivel6	87	88				87

Edifícios isolados B

lu= 0.30

w1= 58.50 m

w2= 58.50 m

distN= 58.5 (m)

distE= 86.2

distNz1= 94.6

distNz2= 86.6

(m)

distE= 58.5 (m)

distE= 86.2

distSz1= 94.6

distSz2= 86.6

(m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	355	345				
		final	15	5				
	Zénite	nivel1	69	69				
		nivel2	72	72				
		nivel3	74	74				
		nivel4	77	77				
		nivel5	80	80				
		nivel6	83	83				
		nivel7	86	86				
		nivel8	89	89				
EDF2	Azimute	inicial	48	43	39			
		final	59	55	52			
	Zénite	nivel1	77	75	75			
		nivel2	78	77	77			
		nivel3	80	79	79			
		nivel4	82	81	81			
		nivel5	84	83	83			
		nivel6	85	85	85			
		nivel7	87	87	87			
		nivel8	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			85			
		final			95			
	Zénite	nivel1			69			
		nivel2			72			
		nivel3			74			
		nivel4			77			
		nivel5			80			
		nivel6			83			
		nivel7			86			
		nivel8			89			
EDF4	Azimute	inicial			128	121	125	
		final			141	132	137	
	Zénite	nivel1			75	77	75	
		nivel2			77	78	77	
		nivel3			79	80	79	
		nivel4			81	82	81	
		nivel5			83	84	83	
		nivel6			85	85	85	
		nivel7			87	87	87	
		nivel8			89	89	89	

	EDF5	Azimute	inicial			165	175	
			final			185	195	
distS=	58.5	Zénite	nivel1			69	69	
	(m)		nivel2			72	72	
			nivel3			74	74	
			nivel4			77	77	
			nivel5			80	80	
			nivel6			83	83	
			nivel7			86	86	
			nivel8			89	89	
	EDF6	Azimute	inicial			223	228	219
			final			235	239	232
distSz1=	86.6	Zénite	nivel1			75	77	75
distSz2=	94.6		nivel2			77	78	77
distO=	86.2		nivel3			79	80	79
	(m)		nivel4			81	82	81
			nivel5			83	84	83
			nivel6			85	85	85
			nivel7			87	87	87
			nivel8			89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial					265
			final					275
distO=	58.5	Zénite	nivel1					69
	(m)		nivel2					72
			nivel3					74
			nivel4					77
			nivel5					80
			nivel6					83
			nivel7					86
			nivel8					89
	EDF8	Azimute	inicial	305	301			308
			final	317	312			321
distNz1=	86.6	Zénite	nivel1	75	77			75
distNz2=	94.6		nivel2	77	78			77
distO=	86.2		nivel3	79	80			79
	(m)		nivel4	81	82			81
			nivel5	83	84			83
			nivel6	85	85			85
			nivel7	87	87			87
			nivel8	89	89			89

Edifícios isolados B

lu= 0.50

w1= 41.96 m

w2= 41.96 m

distN= 42.0 (m)

distE= 62.8

distNz1= 71.5

distNz2= 63.2

(m)

distE= 42.0 (m)

distE= 62.8

distSz1= 71.5

distSz2= 63.2

(m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	339				
		final	21	7				
	Zénite	nivel1	62	62				
		nivel2	65	65				
		nivel3	69	69				
		nivel4	72	72				
		nivel5	76	76				
		nivel6	80	80				
		nivel7	84	84				
		nivel8	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	48	43	37			
		final	62	58	53			
	Zénite	nivel1	73	70	70			
		nivel2	75	73	73			
		nivel3	77	75	75			
		nivel4	79	78	78			
		nivel5	82	81	81			
		nivel6	84	83	83			
		nivel7	86	86	86			
		nivel8	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			83			
		final			97			
	Zénite	nivel1			62			
		nivel2			65			
		nivel3			69			
		nivel4			72			
		nivel5			76			
		nivel6			80			
		nivel7			84			
		nivel8			88			
EDF4	Azimute	inicial			127	118	122	
		final			143	132	137	
	Zénite	nivel1			70	73	70	
		nivel2			73	75	73	
		nivel3			75	77	75	
		nivel4			78	79	78	
		nivel5			81	82	81	
		nivel6			83	84	83	
		nivel7			86	86	86	
		nivel8			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				159	173	
			final				187	201	
distS=	42.0	Zénite	nivel1				62	62	
	(m)		nivel2				65	65	
			nivel3				69	69	
			nivel4				72	72	
			nivel5				76	76	
			nivel6				80	80	
			nivel7				84	84	
			nivel8				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				223	228	217
			final				238	242	233
distSz1=	63.2	Zénite	nivel1				70	73	70
distSz2=	71.5		nivel2				73	75	73
distO=	62.8		nivel3				75	77	75
	(m)		nivel4				78	79	78
			nivel5				81	82	81
			nivel6				83	84	83
			nivel7				86	86	86
			nivel8				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						263
			final						277
distO=	42.0	Zénite	nivel1						62
	(m)		nivel2						65
			nivel3						69
			nivel4						72
			nivel5						76
			nivel6						80
			nivel7						84
			nivel8						88
	EDF8	Azimute	inicial	302	298				307
			final	317	312				323
distNz1=	63.2	Zénite	nivel1	70	73				70
distNz2=	71.5		nivel2	73	75				73
distO=	62.8		nivel3	75	77				75
	(m)		nivel4	78	79				78
			nivel5	81	82				81
			nivel6	83	84				83
			nivel7	86	86				86
			nivel8	89	89				89

Edifícios isolados B

lu= 0.80

w1= 30.08 m

w2= 30.08 m

distN= 30.1 (m)

distE= 46.1

distNz1= 54.9

distNz2= 46.4 (m)

distE= 30.1 (m)

distE= 46.1

distSz1= 54.9

distSz2= 46.4 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	350	332				
		final	28	10				
	Zénite	nivel1	53	53				
		nivel2	57	57				
		nivel3	61	61				
		nivel4	66	66				
		nivel5	71	71				
		nivel6	76	76				
		nivel7	81	81				
		nivel8	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	34			
		final	66	62	56			
	Zénite	nivel1	68	64	64			
		nivel2	70	67	67			
		nivel3	73	70	70			
		nivel4	76	74	74			
		nivel5	79	77	77			
		nivel6	82	81	81			
		nivel7	85	84	84			
		nivel8	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			81			
		final			99			
	Zénite	nivel1			53			
		nivel2			57			
		nivel3			61			
		nivel4			66			
		nivel5			71			
		nivel6			76			
		nivel7			81			
		nivel8			87			
EDF4	Azimute	inicial			124	114	118	
		final			146	131	138	
	Zénite	nivel1			64	68	64	
		nivel2			67	70	67	
		nivel3			70	73	70	
		nivel4			74	76	74	
		nivel5			77	79	77	
		nivel6			81	82	81	
		nivel7			84	85	84	
		nivel8			88	88	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				152	170	
			final				190	208	
distS=	30.1	Zénite	nivel1				53	53	
	(m)		nivel2				57	57	
			nivel3				61	61	
			nivel4				66	66	
			nivel5				71	71	
			nivel6				76	76	
			nivel7				81	81	
			nivel8				87	87	
	EDF6	Azimute	inicial				222	229	214
			final				242	246	236
distSz1=	46.4	Zénite	nivel1				64	68	64
distSz2=	54.9		nivel2				67	70	67
disO=	46.1		nivel3				70	73	70
	(m)		nivel4				74	76	74
			nivel5				77	79	77
			nivel6				81	82	81
			nivel7				84	85	84
			nivel8				88	88	88
	EDF7	Azimute	inicial						261
			final						279
distO=	30.1	Zénite	nivel1						53
	(m)		nivel2						57
			nivel3						61
			nivel4						66
			nivel5						71
			nivel6						76
			nivel7						81
			nivel8						87
	EDF8	Azimute	inicial	298	294				304
			final	318	311				326
distNz1=	46.4	Zénite	nivel1	64	68				64
distNz2=	54.9		nivel2	67	70				67
distO=	46.1		nivel3	70	73				70
	(m)		nivel4	74	76				74
			nivel5	77	79				77
			nivel6	81	82				81
			nivel7	84	85				84
			nivel8	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 1.00

w1= 25.37 m

w2= 25.37 m

distN= 25.4 (m)

distE= 39.4

distNz1= 48.4

distNz2= 39.8 (m)

distE= 25.4 (m)

distE= 39.4

distSz1= 48.4

distSz2= 39.8 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	348	328				
		final	32	12				
	Zénite	nivel1	48	48				
		nivel2	52	52				
		nivel3	57	57				
		nivel4	62	62				
		nivel5	68	68				
		nivel6	74	74				
		nivel7	80	80				
		nivel8	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	50	41	33			
		final	68	64	57			
	Zénite	nivel1	65	61	60			
		nivel2	68	64	64			
		nivel3	71	67	67			
		nivel4	74	71	71			
		nivel5	78	75	75			
		nivel6	81	79	79			
		nivel7	85	84	83			
		nivel8	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			79			
		final			101			
	Zénite	nivel1			48			
		nivel2			52			
		nivel3			57			
		nivel4			62			
		nivel5			68			
		nivel6			74			
		nivel7			80			
		nivel8			87			
EDF4	Azimute	inicial			123	112	116	
		final			147	130	139	
	Zénite	nivel1			60	65	61	
		nivel2			64	68	64	
		nivel3			67	71	67	
		nivel4			71	74	71	
		nivel5			75	78	75	
		nivel6			79	81	79	
		nivel7			83	85	84	
		nivel8			88	88	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				148	168	
			final				192	212	
distS=	25.4	Zénite	nivel1				48	48	
	(m)		nivel2				52	52	
			nivel3				57	57	
			nivel4				62	62	
			nivel5				68	68	
			nivel6				74	74	
			nivel7				80	80	
			nivel8				87	87	
	EDF6	Azimute	inicial				221	230	213
			final				244	248	237
distSz1=	39.8	Zénite	nivel1				61	65	60
distSz2=	48.4		nivel2				64	68	64
distO=	39.4		nivel3				67	71	67
	(m)		nivel4				71	74	71
			nivel5				75	78	75
			nivel6				79	81	79
			nivel7				84	85	83
			nivel8				88	88	88
	EDF7	Azimute	inicial						259
			final						281
distO=	25.4	Zénite	nivel1						48
	(m)		nivel2						52
			nivel3						57
			nivel4						62
			nivel5						68
			nivel6						74
			nivel7						80
			nivel8						87
	EDF8	Azimute	inicial	296	292				303
			final	319	310				327
distNz1=	39.8	Zénite	nivel1	61	65				60
distNz2=	48.4		nivel2	64	68				64
distO=	39.4		nivel3	67	71				67
	(m)		nivel4	71	74				71
			nivel5	75	78				75
			nivel6	79	81				79
			nivel7	84	85				83
			nivel8	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 1.10

w1= 23.51 m

w2= 23.51 m

distN= 23.5 (m)

distE= 36.8

distNz1= 45.9

distNz2= 37.2 (m)

distE= 23.5 (m)

distE= 36.8

distSz1= 45.9

distSz2= 37.2 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	347	326				
		final	34	13				
	Zénite	nivel1	46	46				
		nivel2	50	50				
		nivel3	55	55				
		nivel4	60	60				
		nivel5	66	66				
		nivel6	72	72				
		nivel7	79	79				
		nivel8	86	86				
EDF2	Azimute	inicial	50	41	32			
		final	69	65	58			
	Zénite	nivel1	64	59	59			
		nivel2	67	62	62			
		nivel3	70	66	66			
		nivel4	74	70	70			
		nivel5	77	74	74			
		nivel6	81	79	78			
		nivel7	84	83	83			
		nivel8	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			78			
		final			102			
	Zénite	nivel1			46			
		nivel2			50			
		nivel3			55			
		nivel4			60			
		nivel5			66			
		nivel6			72			
		nivel7			79			
		nivel8			86			
EDF4	Azimute	inicial			122	111	115	
		final			148	130	139	
	Zénite	nivel1			59	64	59	
		nivel2			62	67	62	
		nivel3			66	70	66	
		nivel4			70	74	70	
		nivel5			74	77	74	
		nivel6			78	81	79	
		nivel7			83	84	83	
		nivel8			88	88	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				146	167	
			final				193	214	
distS=	23.5	Zénite	nivel1				46	46	
	(m)		nivel2				50	50	
			nivel3				55	55	
			nivel4				60	60	
			nivel5				66	66	
			nivel6				72	72	
			nivel7				79	79	
			nivel8				86	86	
	EDF6	Azimute	inicial				221	230	212
			final				245	249	238
distSz1=	37.2	Zénite	nivel1				59	64	59
distSz2=	45.9		nivel2				62	67	62
distO=	36.8		nivel3				66	70	66
	(m)		nivel4				70	74	70
			nivel5				74	77	74
			nivel6				79	81	78
			nivel7				83	84	83
			nivel8				88	88	88
	EDF7	Azimute	inicial						258
			final						282
distO=	23.5	Zénite	nivel1						46
	(m)		nivel2						50
			nivel3						55
			nivel4						60
			nivel5						66
			nivel6						72
			nivel7						79
			nivel8						86
	EDF8	Azimute	inicial	295	291				302
			final	319	310				328
distNz1=	37.2	Zénite	nivel1	59	64				59
distNz2=	45.9		nivel2	62	67				62
distO=	36.8		nivel3	66	70				66
	(m)		nivel4	70	74				70
			nivel5	74	77				74
			nivel6	79	81				78
			nivel7	83	84				83
			nivel8	88	88				88

Edifícios isolados B

lu= 0.30

w1= 67.17 m

w2= 67.17 m

distN= 67.2 (m)

distE= 98.4

distNz1= 106.8

distNz2= 98.8 (m)

distE= 67.2 (m)

distE= 98.4

distSz1= 106.8

distSz2= 98.8 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	355	347				
		final	13	5				
	Zénite	nivel1	67	67				
		nivel2	69	69				
		nivel3	71	71				
		nivel4	74	74				
		nivel5	76	76				
		nivel6	79	79				
		nivel7	81	81				
		nivel8	84	84				
		nivel9	86	86				
		nivel10	89	89				
EDF2	Azimute	inicial	47	43	39			
		final	57	54	51			
	Zénite	nivel1	75	74	74			
		nivel2	77	76	75			
		nivel3	78	77	77			
		nivel4	80	79	79			
		nivel5	81	81	80			
		nivel6	83	82	82			
		nivel7	84	84	84			
		nivel8	86	86	86			
		nivel9	88	87	87			
		nivel10	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			86			
		final			94			
	Zénite	nivel1			67			
		nivel2			69			
		nivel3			71			
		nivel4			74			
		nivel5			76			
		nivel6			79			
		nivel7			81			
		nivel8			84			
		nivel9			86			
		nivel10			89			
EDF4	Azimute	inicial			129	123	126	
		final			141	133	137	
	Zénite	nivel1			74	75	74	
		nivel2			75	77	76	
		nivel3			77	78	77	
		nivel4			79	80	79	
		nivel5			80	81	81	
		nivel6			82	83	82	
		nivel7			84	84	84	
		nivel8			86	86	86	
		nivel9			87	88	87	
		nivel10			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				167	175	
			final				185	193	
distS=	67.2	Zénite	nivel1				67	67	
	(m)		nivel2				69	69	
			nivel3				71	71	
			nivel4				74	74	
			nivel5				76	76	
			nivel6				79	79	
			nivel7				81	81	
			nivel8				84	84	
			nivel9				86	86	
			nivel10				89	89	
	EDF6	Azimute	inicial				223	227	219
			final				234	237	231
distSz1=	98.8	Zénite	nivel1				74	75	74
distSz2=	106.8		nivel2				76	77	75
distO=	98.4		nivel3				77	78	77
	(m)		nivel4				79	80	79
			nivel5				81	81	80
			nivel6				82	83	82
			nivel7				84	84	84
			nivel8				86	86	86
			nivel9				87	88	87
			nivel10				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						266
			final						274
distO=	67.2	Zénite	nivel1						67
	(m)		nivel2						69
			nivel3						71
			nivel4						74
			nivel5						76
			nivel6						79
			nivel7						81
			nivel8						84
			nivel9						86
			nivel10						89
	EDF8	Azimute	inicial	306	303				309
			final	317	313				321
distNz1=	98.8	Zénite	nivel1	74	75				74
distNz2=	106.8		nivel2	76	77				75
distO=	98.4		nivel3	77	78				77
	(m)		nivel4	79	80				79
			nivel5	81	81				80
			nivel6	82	83				82
			nivel7	84	84				84
			nivel8	86	86				86
			nivel9	87	88				87
			nivel10	89	89				89

Edifícios isolados B

lu= 0.50

w1= 41.96 m

w2= 41.96 m

distN= 42.0 (m)

distE= 62.8

distNz1= 71.5

distNz2= 63.2 (m)

distE= 42.0 (m)

distE= 62.8

distSz1= 71.5

distSz2= 63.2 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	339				
		final	21	7				
	Zénite	nivel1	56	56				
		nivel2	59	59				
		nivel3	62	62				
		nivel4	65	65				
		nivel5	69	69				
		nivel6	72	72				
		nivel7	76	76				
		nivel8	80	80				
		nivel9	84	84				
		nivel10	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	48	43	37			
		final	62	58	53			
	Zénite	nivel1	68	66	66			
		nivel2	70	68	68			
		nivel3	73	70	70			
		nivel4	75	73	73			
		nivel5	77	75	75			
		nivel6	79	78	78			
		nivel7	82	81	81			
		nivel8	84	83	83			
		nivel9	86	86	86			
		nivel10	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			83			
		final			97			
	Zénite	nivel1			56			
		nivel2			59			
		nivel3			62			
		nivel4			65			
		nivel5			69			
		nivel6			72			
		nivel7			76			
		nivel8			80			
		nivel9			84			
		nivel10			88			
EDF4	Azimute	inicial			127	118	122	
		final			143	132	137	
	Zénite	nivel1			66	68	66	
		nivel2			68	70	68	
		nivel3			70	73	70	
		nivel4			73	75	73	
		nivel5			75	77	75	
		nivel6			78	79	78	
		nivel7			81	82	81	
		nivel8			83	84	83	
		nivel9			86	86	86	
		nivel10			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				159	173	
			final				187	201	
distS=	42.0	Zénite	nivel1				56	56	
	(m)		nivel2				59	59	
			nivel3				62	62	
			nivel4				65	65	
			nivel5				69	69	
			nivel6				72	72	
			nivel7				76	76	
			nivel8				80	80	
			nivel9				84	84	
			nivel10				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				223	228	217
			final				238	242	233
distSz1=	63.2	Zénite	nivel1				66	68	66
distSz2=	71.5		nivel2				68	70	68
distO=	62.8		nivel3				70	73	70
	(m)		nivel4				73	75	73
			nivel5				75	77	75
			nivel6				78	79	78
			nivel7				81	82	81
			nivel8				83	84	83
			nivel9				86	86	86
			nivel10				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						263
			final						277
distO=	42.0	Zénite	nivel1						56
	(m)		nivel2						59
			nivel3						62
			nivel4						65
			nivel5						69
			nivel6						72
			nivel7						76
			nivel8						80
			nivel9						84
			nivel10						88
	EDF8	Azimute	inicial	302	298				307
			final	317	312				323
distNz1=	63.2	Zénite	nivel1	66	68				66
distNz2=	71.5		nivel2	68	70				68
disO=	62.8		nivel3	70	73				70
			nivel4	73	75				73
			nivel5	75	77				75
			nivel6	78	79				78
			nivel7	81	82				81
			nivel8	83	84				83
			nivel9	86	86				86
			nivel10	89	89				89

Edifícios isolados B

lu= 0.80

w1= 35.37 m

w2= 35.37 m

distN= 35.4 (m)

distE= 53.5

distNz1= 62.3

distNz2= 53.9 (m)

distE= 35.4 (m)

distE= 53.5

distSz1= 62.3

distSz2= 53.9 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	351	336				
		final	24	9				
	Zénite	nivel1	51	51				
		nivel2	54	54				
		nivel3	58	58				
		nivel4	61	61				
		nivel5	65	65				
		nivel6	69	69				
		nivel7	73	73				
		nivel8	78	78				
		nivel9	83	83				
		nivel10	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	35			
		final	64	60	55			
	Zénite	nivel1	65	62	62			
		nivel2	68	65	65			
		nivel3	70	67	67			
		nivel4	73	70	70			
		nivel5	75	73	73			
		nivel6	78	76	76			
		nivel7	80	79	79			
		nivel8	83	82	82			
		nivel9	86	85	85			
		nivel10	89	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			82			
		final			98			
	Zénite	nivel1			51			
		nivel2			54			
		nivel3			58			
		nivel4			61			
		nivel5			65			
		nivel6			69			
		nivel7			73			
		nivel8			78			
		nivel9			83			
		nivel10			88			
EDF4	Azimute	inicial			125	116	120	
		final			145	131	138	
	Zénite	nivel1			62	65	62	
		nivel2			65	68	65	
		nivel3			67	70	67	
		nivel4			70	73	70	
		nivel5			73	75	73	
		nivel6			76	78	76	
		nivel7			79	80	79	
		nivel8			82	83	82	
		nivel9			85	86	85	
		nivel10			88	89	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				156	171	
			final				189	204	
distS=	35.4	Zénite	nivel1				51	51	
	(m)		nivel2				54	54	
			nivel3				58	58	
			nivel4				61	61	
			nivel5				65	65	
			nivel6				69	69	
			nivel7				73	73	
			nivel8				78	78	
			nivel9				83	83	
			nivel10				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				222	229	215
			final				240	244	235
distSz1=	53.9	Zénite	nivel1				62	65	62
distSz2=	62.3		nivel2				65	68	65
distO=	53.5		nivel3				67	70	67
	(m)		nivel4				70	73	70
			nivel5				73	75	73
			nivel6				76	78	76
			nivel7				79	80	79
			nivel8				82	83	82
			nivel9				85	86	85
			nivel10				88	89	88
	EDF7	Azimute	inicial						262
			final						278
distO=	35.4	Zénite	nivel1						51
	(m)		nivel2						54
			nivel3						58
			nivel4						61
			nivel5						65
			nivel6						69
			nivel7						73
			nivel8						78
			nivel9						83
			nivel10						88
	EDF8	Azimute	inicial	300	296				305
			final	318	311				325
distNz1=	53.9	Zénite	nivel1	62	65				62
distNz2=	62.3		nivel2	65	68				65
distO=	53.5		nivel3	67	70				67
	(m)		nivel4	70	73				70
			nivel5	73	75				73
			nivel6	76	78				76
			nivel7	79	80				79
			nivel8	82	83				82
			nivel9	85	86				85
			nivel10	88	89				88

Edifícios isolados B

lu= 1.00

w1= 30.08 m

w2= 30.08 m

distN= 30.1 (m)

distE= 46.1

distNz1= 54.9

distNz2= 46.4 (m)

distE= 30.1 (m)

distE= 46.1

distSz1= 54.9

distSz2= 46.4 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	350	332				
		final	28	10				
	Zénite	nivel1	47	47				
		nivel2	50	50				
		nivel3	53	53				
		nivel4	57	57				
		nivel5	61	61				
		nivel6	66	66				
		nivel7	71	71				
		nivel8	76	76				
		nivel9	81	81				
		nivel10	87	87				
EDF2	Azimute	inicial	49	42	34			
		final	66	62	56			
	Zénite	nivel1	63	58	58			
		nivel2	65	61	61			
		nivel3	68	64	64			
		nivel4	70	67	67			
		nivel5	73	70	70			
		nivel6	76	74	74			
		nivel7	79	77	77			
		nivel8	82	81	81			
		nivel9	85	84	84			
		nivel10	88	88	88			
EDF3	Azimute	inicial			81			
		final			99			
	Zénite	nivel1			47			
		nivel2			50			
		nivel3			53			
		nivel4			57			
		nivel5			61			
		nivel6			66			
		nivel7			71			
		nivel8			76			
		nivel9			81			
		nivel10			87			
EDF4	Azimute	inicial			124	114	118	
		final			146	131	138	
	Zénite	nivel1			58	63	58	
		nivel2			61	65	61	
		nivel3			64	68	64	
		nivel4			67	70	67	
		nivel5			70	73	70	
		nivel6			74	76	74	
		nivel7			77	79	77	
		nivel8			81	82	81	
		nivel9			84	85	84	
		nivel10			88	88	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				152	170	
			final				190	208	
distS=	30.1	Zénite	nivel1				47	47	
	(m)		nivel2				50	50	
			nivel3				53	53	
			nivel4				57	57	
			nivel5				61	61	
			nivel6				66	66	
			nivel7				71	71	
			nivel8				76	76	
			nivel9				81	81	
			nivel10				87	87	
	EDF6	Azimute	inicial				222	229	214
			final				242	246	236
distSz1=	46.4	Zénite	nivel1				58	63	58
distSz2=	54.9		nivel2				61	65	61
distO=	46.1		nivel3				64	68	64
	(m)		nivel4				67	70	67
			nivel5				70	73	70
			nivel6				74	76	74
			nivel7				77	79	77
			nivel8				81	82	81
			nivel9				84	85	84
			nivel10				88	88	88
	EDF7	Azimute	inicial						261
			final						279
distO=	30.1	Zénite	nivel1						47
	(m)		nivel2						50
			nivel3						53
			nivel4						57
			nivel5						61
			nivel6						66
			nivel7						71
			nivel8						76
			nivel9						81
			nivel10						87
	EDF8	Azimute	inicial	298	294				304
			final	318	311				326
distNz1=	46.4	Zénite	nivel1	58	63				58
distNz2=	54.9		nivel2	61	65				61
distO=	46.1		nivel3	64	68				64
	(m)		nivel4	67	70				67
			nivel5	70	73				70
			nivel6	74	76				74
			nivel7	77	79				77
			nivel8	81	82				81
			nivel9	84	85				84
			nivel10	88	88				88

Edifícios isoladosB				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu=	0.30									
w1=	75.02m	**EDF1**	Azimute	inicial	356	348				
w2=	75.02m			final	12	4				
distN=	75.0		Zénite	nivel1	65	65				
	(m)			nivel2	67	67				
				nivel3	69	69				
				nivel4	71	71				
				nivel5	73	73				
				nivel6	75	75				
				nivel7	78	78				
				nivel8	80	80				
				nivel9	82	82				
				nivel10	84	84				
				nivel11	87	87				
				nivel12	89	89				
		EDF2	Azimute	inicial	47	44	40			
				final	56	54	50			
distE=	109.5		Zénite	nivel1	74	73	73			
distNz1=	117.9			nivel2	75	74	74			
distNz2=	109.9			nivel3	76	75	75			
	(m)			nivel4	78	77	77			
				nivel5	79	78	78			
				nivel6	81	80	80			
				nivel7	82	81	81			
				nivel8	83	83	83			
				nivel9	85	85	85			
				nivel10	86	86	86			
				nivel11	88	88	88			
				nivel12	89	89	89			
		EDF3	Azimute	inicial			86			
				final			94			
distE=	75.0		Zénite	nivel1			65			
	(m)			nivel2			67			
				nivel3			69			
				nivel4			71			
				nivel5			73			
				nivel6			75			
				nivel7			78			
				nivel8			80			
				nivel9			82			
				nivel10			84			
				nivel11			87			
				nivel12			89			
		EDF4	Azimute	inicial			130	124	126	
				final			140	133	136	
distE=	109.5		Zénite	nivel1			73	74	73	
distSz1=	117.9			nivel2			74	75	74	
distSz2=	109.9			nivel3			75	76	75	
	(m)			nivel4			77	78	77	
				nivel5			78	79	78	
				nivel6			80	81	80	
				nivel7			81	82	81	
				nivel8			83	83	83	
				nivel9			85	85	85	
				nivel10			86	86	86	
				nivel11			88	88	88	
				nivel12			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				168	176	
			final				184	192	
distS=	75.0	Zénite	nivel1				65	65	
	(m)		nivel2				67	67	
			nivel3				69	69	
			nivel4				71	71	
			nivel5				73	73	
			nivel6				75	75	
			nivel7				78	78	
			nivel8				80	80	
			nivel9				82	82	
			nivel10				84	84	
			nivel11				87	87	
			nivel12				89	89	
	EDF6	Azimute	inicial				224	227	220
			final				234	236	230
distSz1=	109.9	Zénite	nivel1				73	74	73
distSz2=	117.9		nivel2				74	75	74
distO=	109.5		nivel3				75	76	75
	(m)		nivel4				77	78	77
			nivel5				78	79	78
			nivel6				80	81	80
			nivel7				81	82	81
			nivel8				83	83	83
			nivel9				85	85	85
			nivel10				86	86	86
			nivel11				88	88	88
			nivel12				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						266
			final						274
distO=	75.0	Zénite	nivel1						65
	(m)		nivel2						67
			nivel3						69
			nivel4						71
			nivel5						73
			nivel6						75
			nivel7						78
			nivel8						80
			nivel9						82
			nivel10						84
			nivel11						79
			nivel12						89
	EDF8	Azimute	inicial	306	304				310
			final	316	313				320
distNz1=	109.9	Zénite	nivel1	73	74				73
distNz2=	117.9		nivel2	74	75				74
distO=	109.5		nivel3	75	76				75
	(m)		nivel4	77	78				77
			nivel5	78	79				78
			nivel6	80	81				80
			nivel7	81	82				81
			nivel8	83	83				83
			nivel9	85	85				85
			nivel10	86	86				86
			nivel11	88	88				88
			nivel12	89	89				89

Edifícios isoladosB

lu= 0.50

w1= 41.96m

w2= 41.96m

distN= 42.0 (m)

distE= 62.8

distNz1= 71.5

distNz2= 63.2 (m)

distE= 42.0 (m)

distSz1= 71.5

distSz2= 63.2 (m)

		Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
EDF1	Azimute	inicial	353	339				
		final	21	7				
	Zénite	nivel1	51	51				
		nivel2	53	53				
		nivel3	56	56				
		nivel4	59	59				
		nivel5	62	62				
		nivel6	65	65				
		nivel7	69	69				
		nivel8	72	72				
		nivel9	76	76				
		nivel10	80	80				
		nivel11	84	84				
		nivel12	88	88				
EDF2	Azimute	inicial	48	43	37			
		final	62	58	53			
	Zénite	nivel1	64	61	61			
		nivel2	66	64	63			
		nivel3	68	66	66			
		nivel4	70	68	68			
		nivel5	73	70	70			
		nivel6	75	73	73			
		nivel7	77	75	75			
		nivel8	79	78	78			
		nivel9	82	81	81			
		nivel10	84	83	83			
		nivel11	86	86	86			
		nivel12	89	89	89			
EDF3	Azimute	inicial			83			
		final			97			
	Zénite	nivel1			51			
		nivel2			53			
		nivel3			56			
		nivel4			59			
		nivel5			62			
		nivel6			65			
		nivel7			69			
		nivel8			72			
		nivel9			76			
		nivel10			80			
		nivel11			84			
		nivel12			88			
EDF4	Azimute	inicial			127	118	122	
		final			143	132	137	
	Zénite	nivel1			61	64	61	
		nivel2			63	66	64	
		nivel3			66	68	66	
		nivel4			68	70	68	
		nivel5			70	73	70	
		nivel6			73	75	73	
		nivel7			75	77	75	
		nivel8			78	79	78	
		nivel9			81	82	81	
		nivel10			83	84	83	
		nivel11			86	86	86	
		nivel12			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				159	173	
			final				187	201	
distS=	42.0	Zénite	nivel1				51	51	
	(m)		nivel2				53	53	
			nivel3				56	56	
			nivel4				59	59	
			nivel5				62	62	
			nivel6				65	65	
			nivel7				69	69	
			nivel8				72	72	
			nivel9				76	76	
			nivel10				80	80	
			nivel11				84	84	
			nivel12				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				223	228	217
			final				238	242	233
distSz1=	63.2	Zénite	nivel1				61	64	61
distSz2=	71.5		nivel2				64	66	63
distO=	62.8		nivel3				66	68	66
	(m)		nivel4				68	70	68
			nivel5				70	73	70
			nivel6				73	75	73
			nivel7				75	77	75
			nivel8				78	79	78
			nivel9				81	82	81
			nivel10				83	84	83
			nivel11				86	86	86
			nivel12				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						263
			final						277
distO=	42.0	Zénite	nivel1						51
	(m)		nivel2						53
			nivel3						56
			nivel4						59
			nivel5						62
			nivel6						65
			nivel7						69
			nivel8						72
			nivel9						76
			nivel10						80
			nivel11						71
			nivel12						88
	EDF8	Azimute	inicial	302	298				307
			final	317	312				323
distNz1=	63.2	Zénite	nivel1	61	64				61
distNz2=	71.5		nivel2	64	66				63
distO=	62.8		nivel3	66	68				66
	(m)		nivel4	68	70				68
			nivel5	70	73				70
			nivel6	73	75				73
			nivel7	75	77				75
			nivel8	78	79				78
			nivel9	81	82				81
			nivel10	83	84				83
			nivel11	86	86				86
			nivel12	89	89				89

Edifícios isoladosB				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu= 0.80										
w1= 40.15m		**EDF1**	Azimute	inicial	352	338				
w2= 40.15m				final	22	8				
	distN= 40.2		Zénite	nivel1	49	49				
	(m)			nivel2	52	52				
				nivel3	55	55				
				nivel4	58	58				
				nivel5	61	61				
				nivel6	64	64				
				nivel7	68	68				
				nivel8	71	71				
				nivel9	75	75				
				nivel10	79	79				
				nivel11	84	84				
				nivel12	88	88				
		EDF2	Azimute	inicial	48	42	36			
				final	63	59	54			
	distE= 60.3		Zénite	nivel1	63	60	60			
	distNz1= 68.9			nivel2	65	63	62			
	distNz2= 60.6			nivel3	68	65	65			
	(m)			nivel4	70	67	67			
				nivel5	72	70	70			
				nivel6	74	72	72			
				nivel7	77	75	75			
				nivel8	79	77	77			
				nivel9	81	80	80			
				nivel10	84	83	83			
				nivel11	86	86	86			
				nivel12	89	89	89			
		EDF3	Azimute	inicial			83			
				final			97			
	distE= 40.2		Zénite	nivel1			49			
	(m)			nivel2			52			
				nivel3			55			
				nivel4			58			
				nivel5			61			
				nivel6			64			
				nivel7			68			
				nivel8			71			
				nivel9			75			
				nivel10			79			
				nivel11			84			
				nivel12			88			
		EDF4	Azimute	inicial			126	117	121	
				final			144	132	138	
	distE= 60.3		Zénite	nivel1			60	63	60	
	distSz1= 68.9			nivel2			62	65	63	
	distSz2= 60.6			nivel3			65	68	65	
	(m)			nivel4			67	70	67	
				nivel5			70	72	70	
				nivel6			72	74	72	
				nivel7			75	77	75	
				nivel8			77	79	77	
				nivel9			80	81	80	
				nivel10			83	84	83	
				nivel11			86	86	86	
				nivel12			89	89	89	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				158	172	
			final				188	202	
distS=	40.2	Zénite	nivel1				49	49	
	(m)		nivel2				52	52	
			nivel3				55	55	
			nivel4				58	58	
			nivel5				61	61	
			nivel6				64	64	
			nivel7				68	68	
			nivel8				71	71	
			nivel9				75	75	
			nivel10				79	79	
			nivel11				84	84	
			nivel12				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				222	228	216
			final				239	243	234
distSz1=	60.6	Zénite	nivel1				60	63	60
distSz2=	68.9		nivel2				63	65	62
distO=	60.3		nivel3				65	68	65
	(m)		nivel4				67	70	67
			nivel5				70	72	70
			nivel6				72	74	72
			nivel7				75	77	75
			nivel8				77	79	77
			nivel9				80	81	80
			nivel10				83	84	83
			nivel11				86	86	86
			nivel12				89	89	89
	EDF7	Azimute	inicial						263
			final						277
distO=	40.2	Zénite	nivel1						49
	(m)		nivel2						52
			nivel3						55
			nivel4						58
			nivel5						61
			nivel6						64
			nivel7						68
			nivel8						71
			nivel9						75
			nivel10						79
			nivel11						70
			nivel12						88
	EDF8	Azimute	inicial	301	297				306
			final	318	312				324
distNz1=	60.6	Zénite	nivel1	60	63				60
distNz2=	68.9		nivel2	63	65				62
distO=	60.3		nivel3	65	68				65
	(m)		nivel4	67	70				67
			nivel5	70	72				70
			nivel6	72	74				72
			nivel7	75	77				75
			nivel8	77	79				77
			nivel9	80	81				80
			nivel10	83	84				83
			nivel11	86	86				86
			nivel12	89	89				89

Edifícios isoladosB				Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
lu= 1.00										
w1= 34.36m		**EDF1**	Azimute	inicial	351	335				
w2= 34.36m				final	25	9				
	distN= 34.4		Zénite	nivel1	45	45				
	(m)			nivel2	47	47				
				nivel3	50	50				
				nivel4	53	53				
				nivel5	57	57				
				nivel6	60	60				
				nivel7	64	64				
				nivel8	69	69				
				nivel9	73	73				
				nivel10	78	78				
				nivel11	83	83				
				nivel12	88	88				
		EDF2	Azimute	inicial	49	42	35			
				final	64	61	55			
	distE= 52.1		Zénite	nivel1	60	57	56			
	distNz1= 60.9			nivel2	63	59	59			
	distNz2= 52.5			nivel3	65	61	61			
	(m)			nivel4	67	64	64			
				nivel5	70	67	67			
				nivel6	72	70	69			
				nivel7	75	73	72			
				nivel8	77	76	75			
				nivel9	80	79	79			
				nivel10	83	82	82			
				nivel11	86	85	85			
				nivel12	89	88	88			
		EDF3	Azimute	inicial			82			
				final			98			
	distE= 34.4		Zénite	nivel1			45			
	(m)			nivel2			47			
				nivel3			50			
				nivel4			53			
				nivel5			57			
				nivel6			60			
				nivel7			64			
				nivel8			69			
				nivel9			73			
				nivel10			78			
				nivel11			83			
				nivel12			88			
		EDF4	Azimute	inicial			125	116	119	
				final			145	131	138	
	distE= 52.1		Zénite	nivel1			56	60	57	
	distSz1= 60.9			nivel2			59	63	59	
	distSz2= 52.5			nivel3			61	65	61	
	(m)			nivel4			64	67	64	
				nivel5			67	70	67	
				nivel6			69	72	70	
				nivel7			72	75	73	
				nivel8			75	77	76	
				nivel9			79	80	79	
				nivel10			82	83	82	
				nivel11			85	86	85	
				nivel12			88	89	88	

			Fachadas:	Norte zona1	Norte zona2	Este zona2	Sul zona1	Sul zona2	Oeste zona1
	EDF5	Azimute	inicial				155	171	
			final				189	205	
distS=	34.4	Zénite	nivel1				45	45	
	(m)		nivel2				47	47	
			nivel3				50	50	
			nivel4				53	53	
			nivel5				57	57	
			nivel6				60	60	
			nivel7				64	64	
			nivel8				69	69	
			nivel9				73	73	
			nivel10				78	78	
			nivel11				83	83	
			nivel12				88	88	
	EDF6	Azimute	inicial				222	229	215
			final				241	244	235
distSz1=	52.5	Zénite	nivel1				57	60	56
distSz2=	60.9		nivel2				59	63	59
distO=	52.1		nivel3				61	65	61
	(m)		nivel4				64	67	64
			nivel5				67	70	67
			nivel6				70	72	69
			nivel7				73	75	72
			nivel8				76	77	75
			nivel9				79	80	79
			nivel10				82	83	82
			nivel11				85	86	85
			nivel12				88	89	88
	EDF7	Azimute	inicial						262
			final						278
distO=	34.4	Zénite	nivel1						45
	(m)		nivel2						47
			nivel3						50
			nivel4						53
			nivel5						57
			nivel6						60
			nivel7						64
			nivel8						69
			nivel9						73
			nivel10						78
			nivel11						67
			nivel12						88
	EDF8	Azimute	inicial	299	296				305
			final	318	311				325
distNz1=	52.5	Zénite	nivel1	57	60				56
distNz2=	60.9		nivel2	59	63				59
distO=	52.1		nivel3	61	65				61
	(m)		nivel4	64	67				64
			nivel5	67	70				67
			nivel6	70	72				69
			nivel7	73	75				72
			nivel8	76	77				75
			nivel9	79	80				79
			nivel10	82	83				82
			nivel11	85	86				85
			nivel12	88	89				88

Ângulos entre o edifício em estudo e os edifícios circundantes na configuração edifícios em banda

6 Pisos

I_u	Zénite (º)					
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6
0.3	85	86	87	88	89	90
0.5	81	83	84	86	88	89
0.8	75	78	80	83	86	89
1.0	71	74	78	81	85	88
1.2	67	71	75	79	83	88
1.6	58	63	68	74	80	87
2.0	49	55	61	69	77	86

8 Pisos

I_u	Zénite (º)							
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7	Nível 8
0.3	85	85	86	87	88	88	89	90
0.5	81	82	83	85	86	87	88	89
0.8	75	77	79	81	83	85	87	89
1.0	71	74	76	79	81	84	86	89
1.2	68	70	73	76	79	82	85	88
1.6	60	63	67	71	75	79	83	88
2.0	52	56	60	65	70	75	81	87
2.2	48	52	57	62	67	73	80	87

10 Pisos

I_u	Zénite (º)									
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7	Nível 8	Nível 9	Nível10
0.3	85	85	86	86	87	88	88	89	89	90
0.5	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
0.8	76	77	78	80	81	83	85	86	88	89
1.2	68	70	72	75	77	79	82	84	86	89
1.6	61	63	66	69	72	75	78	82	85	88
2.0	53	56	60	63	67	71	75	79	83	88
2.4	47	50	53	57	62	66	71	76	82	87

12 Pisos

I_u	Zénite (º)											
	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12
0.3	85	85	86	86	87	87	87	88	88	89	89	90
0.5	81	82	83	83	84	85	86	87	87	88	89	90
0.8	76	77	78	79	80	82	83	84	86	87	88	89
1.2	68	70	72	74	75	77	79	81	83	85	87	89
1.6	61	63	65	68	70	73	75	78	80	83	86	89
2.0	54	57	59	62	65	68	71	74	78	81	85	88
2.5	47	49	52	55	58	62	66	70	74	78	83	88

16 Pisos

I_u	Zénite (º)															
	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
0.3	85	85	85	86	86	86	87	87	87	88	88	88	89	89	88	90
0.5	81	82	82	83	83	84	85	85	86	86	87	87	88	89	87	90
0.8	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	86	90
1.2	72	73	74	75	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	85	89

Anexo C
Dados climáticos

Comparação entre os dados climáticos extraídos do SolTerm e os previstos no RCCTE para o clima do Porto

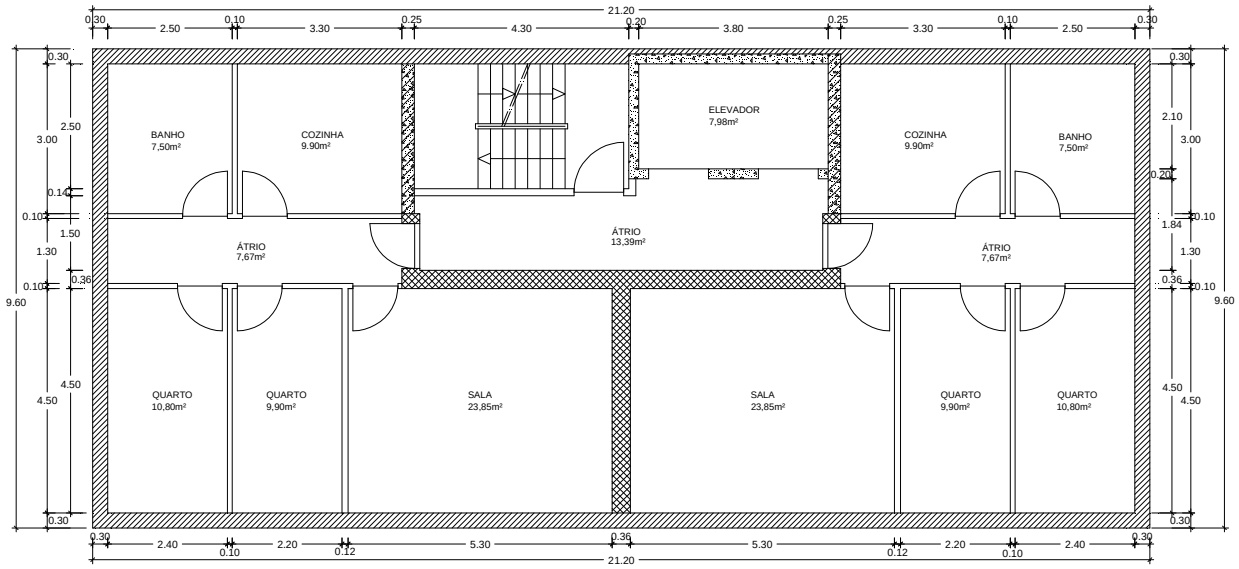
Estação de aquecimento:

	Valores encontrados a partir dos dados do SolTerm	Valores previstos pelo RCCTE
Duração da estação	7.3 Meses	6.7 Meses
Graus dia (GD)	1985.18 ºC.dia	1610 ºC.dia
Energia solar incidente a Sul (G_{sul})	93.86 kW/m^2	93 kW/m^2
Factor de orientação (X) Sul Norte	 1.0 0.253	 1 0.27

Estação de arrefecimento:

	Valores encontrados a partir dos dados do SolTerm	Valores previstos pelo RCCTE
Radiação Global		
Norte	193.8 kW/m^2	200 kW/m^2
Este	391.5 kW/m^2	429 kW/m^2
Sul	376.1 kW/m^2	380 kW/m^2
Oeste	394.4 kW/m^2	420 kW/m^2
Horizontal	703.0 kW/m^2	730 kW/m^2
Temperatura média do ar exterior	18.9 ºC	19 ºC

Anexo D
Dados geométricos



LEGENDA:

PAREDES EXTERIORES (PEXT)

PAREDES DE SEPARAÇÃO C/ ZONAS COMUNS E ENTRE HABITAÇÕES (PMEA)

PAREDES DE BETÃO

PAREDES DE BETÃO COM ISOLAMENTO (PMEBET)

PAREDES DE ALVENARIA DE TIJOLO

Dados geométricos das paredes por habitação:

Tipo de parede:	Largura (m)	Altura (m)	Área (m^2)	Área das janelas ou portas (m^2)	Área liquida: (m^2)	Localização:
PEXT	5.60	2.6	14.56	2.1	12.46	Fachada posterior
PEXT	8.80	2.6	22.88	-	22.88	Fachada. lateral esq./dir.
PMEBET	3.00	2.6	7.80	-	7.80	Separação c/ zonas comuns
PMEA	5.20	2.6	13.52	2.0	11.52	Separação c/ zonas comuns
PEXT	9.45	2.6	24.57	8.4	16.17	Fachada principal
PMEA	4.50	2.6	11.70	-	11.70	Separação entre habitações
PBEXT	0.20	2.6	0.52	-	0.52	Fachada posterior
PBEXT	0.45	2.6	1.17	-	1.17	Fachada principal
PINT7	24.98	2.6	64.94	8.0	56.94	Interiores

Dados geométricos da cobertura e pavimentos

Tipo:	Área (m^2)	Localização:
LAGECOB	69.62	Cobertura
LACORR	69.62	Separação entre habitações
LAJEGARR	69.62	Separação com a garagem

Anexo E
Cálculo do coeficiente de transmissão térmica

De acordo com o RCCTE, o coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes constituídas por uma ou mais camadas calcula-se utilizando a expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad \text{(E1)}$$

Em que:

R_{si} - resistência térmica superficial interior (m^2 ºC/W)

R_{se} - resistência térmica superficial exterior (m^2 ºC/W)

R_j - resistência térmica da camada (m^2 ºC/W)

$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$ em que: d_j - espessura da camada (m)

λ_j - condutividade (W/(m ºC))

O programa TRNSYS calcula os fluxos de calor horário em regime não permanente, mas indica o coeficiente de transmissão térmica para cada elemento construtivo. Estes valores não são utilizados no cálculo. Utilizam-se apenas como referência e na deteção de erros na entrada de dados.

O quadro a seguir apresentado mostra os coeficientes de transmissão térmica calculados para utilização na metodologia do RCCTE e os apresentados pelo programa TRNSYS.

		RCCTE	TRNSYS
Nome:	Tipo de envolvente:	U (w/m^2C)	U (w/m^2C)
PEXT	exterior	0.405	0.405
PBEXT	exterior	0.492	0.492
PMEA	interior	0.548	0.576
PMEBET	interior	0.616	0.652
LAJECOB	exterior	0.217	0.216
LAJEGAR	interior	0.534	0.586
PORTAEXT	interior	2.100	2.093

As diferenças relativas ás paredes PMEBET, PMEA e LAJEGAR devem-se ao facto de o TRNSYS considerar sempre os valores de 0.13 e 0.04 m^2K/W para as resistências térmicas superficiais. O RCCTE utiliza estes valores, o interior e exterior, mas prevê as situações de paredes confinantes com locais não aquecidos (em que usa 0.13 m^2K/W nos dois lados da parede).

Com o objetivo de demonstrar que a solução construtiva é a mesma o quadro seguinte apresenta o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica utilizando os coeficientes de resistência térmica superficial previstos no programa TRNSYS.

Coeficientes de transmissão térmica, comparação

	RCCTE (1)	RCCTE (2)	TRNSYS
Nome:	U (w/m^2 ºC)	U (w/m^2 ºC)	U (w/m^2 ºC)
PMEBET	0.616	0.652	0.652
PMEA	0.548	0.576	0.576
LAJEGAR	0.534	0.587	0.586

(1) Cálculo utilizando as resistências térmicas superficiais de acordo com o RCCTE
(2) Cálculo utilizando as resistências térmicas superficiais previstas no TRNSYS

A diferença na consideração das resistências térmicas superficiais pode influenciar a determinação das perdas para as zonas comuns que são contabilizadas no RCCTE pela expressão:

$$Q = U * A * (\theta_i - \theta_a) \qquad \text{(E2)}$$

Onde θ_i e θ_a são as temperatura interior e a temperatura do local não aquecido respetivamente.

Para que o fluxo seja constante, então a $(\theta_i - \theta_a)$ deverá ser afetada da variação do U, no quadro abaixo mostra os valores adotados na correção dessa variação.

Local:	U (TRNSYS) (w/m^2 ºC)	U (RCCTE) (w/m^2 ºC)	Correção (C)
Garagem (LAJEGAR)	0.586	0.534	0.91
Cx. de escadas:			
(PMEBET)	0.652	0.616	0.94
(PMEA)	0.576	0.548	0.95

Anexo F
Resistências térmicas lineares

O RCCTE prevê valores para os coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) a utilizar no cálculo das diferentes pontes térmicas lineares.

O TRNSYS dá a possibilidade aos utilizadores de considerar as pontes térmicas lineares introduzindo como dado resistências térmicas lineares (RTL). O TRNSYS adiciona à resistência das pontes térmicas lineares as resistências térmicas superficiais com os valores de 0.13 e 0.04 m^2K/W. Na conversão dos coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) em resistências térmicas lineares (RTL) utilizou-se seguinte a expressão:

$$RLT = \frac{\frac{1}{\psi} - (0.13 + 0.04)}{3.6} \qquad \text{(F1)}$$

Na qual:

Ψ – coeficiente de transmissão térmica linear em W/ºC

RTL – resistência térmica linear em hmC/kJ

Anexo G
Cálculo da inércia térmica

A seguir apresenta-se a determinação da inércia térmica de acordo com o previsto no RCCTE.

Cálculo da inércia térmica da solução construtiva proposta e apresentada nas Figuras 3. 1 e 3. 2:

1ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	273.3	150	51.51	1	7726.5	
PMEBET	508.5	150	7.80	1	1170.0	
PMEA	163.14	150	23.22	1	3483.0	
PINT7	142.7	142.7	59.94	1	8553.4	
LAJEGAR	493.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
				Total	41818.9	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					600.7	kg/m²

2º e 3ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	273.3	150	51.51	1	7726.5	
PMEBET	508.5	150	7.80	1	1170.0	
PMEA	163.14	150	23.22	1	3483.0	
PINT7	142.7	142.7	59.94	1	8553.4	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
				Total	41818.9	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					600.7	kg/m²

4ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	273.3	150	51.51	1	7726.5	
PMEBET	508.5	150	7.80	1	1170.0	
PMEA	163.14	150	23.22	1	3483.0	
PINT7	142.7	142.7	59.94	1	8553.4	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECOB	522.1	150	69.62	1	10443.0	
				Total	41818.9	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					600.7	kg/m²

Esta solução corresponde a um edifício de inércia térmica forte.

Cálculo da inércia térmica correspondente à troca das alvenarias interiores por gesso cartonado e à alteração da posição do isolamento térmico:

1ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	28.5	28.5	51.51	1	1468.0	
PMEBET	28.5	28.5	7.80	1	222.3	
PMEA	163.14	150.0	23.22	1	3483.0	
PINT7	0.0	0	59.94	1	0.0	
LAJEGAR	493.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
				Total	26059.3	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					374.3	kg/m²

2º e 3ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	28.5	28.5	51.51	1	1468.0	
PMEBET	28.5	28.5	7.80	1	222.3	
PMEA	163.14	150	23.22	1	3483.0	
PINT7	0.0	0	59.94	1	0.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
				Total	26059.3	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					374.3	kg/m²

4ºpiso:	M (kg/m²)	Msi(kg/m²)	S (m²)	Fac r	Msi.r.Si	
PEXT	28.5	28.5	51.51	1	1468.0	
PMEBET	28.5	28.5	7.80	1	222.3	
PMEA	163.14	150	23.22	1	3483.0	
PINT7	0.0	0	59.94	1	0.0	
LAJECORR	531.6	150	69.62	1	10443.0	
LAJECOB	522.1	150	69.62	1	10443.0	
				Total	26059.3	Kg
Massa superficial útil por m² de área de pavimento I_t					374.3	kg/m²

Esta solução corresponde a um edifício de inércia térmica média.

Anexo H
Cálculo da temperatura nas zonas comuns

A metodologia do RCCTE prevê que a temperatura do local não aquecido tome um valor intermédio entre a temperatura do ar exterior e a temperatura do local aquecido definida pela expressão seguinte:

$$\theta_a = \theta_{atm} + (1-\tau).(\theta_i - \theta_{atm}) \quad \text{(H1)}$$

θ_a - temperatura do local não aquecido

θ_{atm} - temperatura exterior ambiente

θ_i - temperatura interior

τ - valor tabelado (determinado de acordo com valores de referência para a envolvente e taxas de renovação de ar típicas para os espaços considerados).

Ou numa forma mais simples:

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad \text{(H2)}$$

Os valores de τ de acordo com o RCCTE para as zonas comuns/locais não aquecidos são de 0.5 e 0.7 para as comunicações (verticais e horizontais) e garagem respetivamente.

Para a determinação da temperatura nos locais não aquecidos (garagem e comunicações) no programa TRNSYS utilizou-se Equação 5 com a correção (C) devida à variação dos coeficientes de transmissão térmica (Anexo E):

$$\tau = \frac{(\theta_i - \theta_a) * C}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad \text{(H3)}$$

Cálculo da temperatura na caixa de escadas:

$$\theta_a = 0.53 * \theta_{atm} + 0.47 * \theta_i \quad \text{(H4)}$$

Cálculo da temperatura da garagem:

$$\theta_a = 0.64 * \theta_{atm} + 0.36 * \theta_i \quad \text{(H5)}$$

Anexo I
Cálculo das necessidades energéticas pela metodologia do RCCTE

A seguir apresenta-se as folhas de cálculo relativas à habitação/fracção no 1ºpiso com a designação de z1n1 para a solução de inércia térmica forte.

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Titulo:Z1N1-inercia térmica forte

Paredes Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
PEXT-FPO (norte)	12.46	0.405	5.05
PEXT-FLE (oeste)	22.88	0.405	9.27
PEXT-FPR (sul)	16.17	0.405	6.55
PBEXT-ptp	1.69	0.492	0.83
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	21.69

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)	
Fachada com os pavimentos térreos			0.00	
Fachada com os pavimentos	24.50	0.525	12.86	Tab Be
Fachada com pavimentos intermédios	24.50	0.10	2.45	Tab Ce
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0.00	
Fachada com varanda			0.00	
Duas paredes verticais	5.20	0.15	0.78	Tab Fe
Fachada com caixa de estore			0.00	
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril			0.00	
Outras			0.00	
		TOTAL	16.09	

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	37.79

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
PMEBET - caixa de escadas	7.8	0.616	0.5	2.40
PMEA - atrio	11.52	0.548	0.5	3.16
PORTAEXT-atrio	2	2.10	0.5	2.10
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
	21.32		TOTAL	7.66

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
LAGEGAR-tecto da garagem	69.62	0.534	0.7	26.02
				0.00
				0.00
			TOTAL	26.02

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	τ (-)	τ.ψ.B (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	33.68

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			0.00
janelas-FPO	2.1	3.1	6.51
janelas-FPR	8.4	3.1	26.04
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
Horizontais:			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	32.55

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		69.62	(m^2)
Pé-direito médio		2.60	(m)
		=	
Volume interior	(V)	181.01	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	s	se SIM:	RPH = 0.6
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)			Taxa de Renovação Nominal:
Caixas de Estore	(S ou N)			Ver Quadro IV.1
Classe de Exposição *(Ver Quadro IV.2)*	(1, 2, 3 ou 4)			RPH=
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)			
Área de envidraçados>15% Ap?	(S ou N)			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)			

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m^3/h)			Vf = 0.00
Caudal Extraído	Vev - (m^3/h)			
Diferença entre Vins e Vev	(m^3/h)	0.00	/	V = (volume int) 0 RPH (**)
Infiltrações *(Vent. Natural)*	Vx - (h^{-1})			
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η = ; se NÃO, η = 0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0.000		(Vf / V + Vx).(1-η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))

Volume	181.01	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	0.600	
	x	
	0.34	
	=	
TOTAL	36.93	(W/ºC)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m^2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m^2)
norte	duplo	2.1	0.253	0.75	1	0.7	0.93	0.26
sul	duplo	8.4	1.000	0.75	1	0.7	0.93	4.10
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00
								0.00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2) 4.36

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)
na zona 2 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m^2.mês) 93.86

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses) 7.3

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano) 2987.86

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4	(W/m^2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		7.30	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		69.62	(m^2)
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1463.69	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{4451.55}{6714.61}$$

Inércia do edifício: 3 a = 4.2 γ = 0.66

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) 0.93200933

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos 4451.55

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) 4148.89

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m^2
Paredes exteriores		51.51
Coberturas exteriores		
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		10.5
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		10.66
Coberturas interiores		
Pavimentos interiores		48.734
Envidraçados interiores		
Área total:		121.40
		/
Volume (de FCIV.1d):		181.01
		=
FF		0.67

Graus-dias no local (ºC.dia)	(do Quadro III.1)	1610

		Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	68.095
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	78.263
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	83.418
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	114.899

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	78.26

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	**(W/ºC)**
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	37.79
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	33.68
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	32.55
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	36.93

Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	=	140.94
Graus-dias no Local (ºC.dia)	x	1985.00
	x	0.024
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	=	6714.61
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	+	0
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	-	4148.89
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	=	2565.72
Área Útil de Pavimento (m2)	/	69.62
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	=	36.85
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	≤	78.26

Verifica O.K.

Nic/Ni = 47.09%

Folha de cálculo FCV.1a
Perdas

Perdas associadas à envolvente exterior (U.A)	(FCIV.1a)	37.79	(W/ºC)
+			
Perdas associadas à envolvente interior (τ U.A)	(FCIV.1b)	33.68	(W/ºC)
+			
Perdas associadas			(W/ºC)
+			
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	32.55	(W/ºC)
+			
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	36.93	(W/ºC)
=			
Perdas especificas totais	(Q1a)	140.94	(W/ºC)

Temperatura interior de referência		25	(ºC)
-			
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		18.9	(ºC)
=			
Diferença de temperatura interior-exterior		6.1	
x			
Perdas especificas totais	(Q1a)	140.94	(W/ºC)
x			
		2.928	
=			
Perdas térmicas totais	(Q1b)	2517.39	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b
Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
verticais	10.5	3.1	32.55
			0.00
			0.00
		TOTAL	32.55

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (*inclui paredes e cobertura*)				
Orientação	norte	oeste	sul		
Área, A (m^2)	12.46	22.88	16.17		
x	x	x	x		
U ($W/m^2{}^oC$)	0.405	0.405	0.405		
x	x	x	x		
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0.3	0.3	0.3		
=	=	=	=		
α.U.A (W/ºC)	1.51	2.78	1.96		
x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) (Quadro III.9)	193.8	394.4	376.1		
x	x	x	x		
	0.04	0.04	0.04		
=	=	=	=		
				TOTAL	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	11.74	43.86	29.56	85.15	**(kWh)**

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL			
Orientação	norte	sul		
Área, A (m^2)	2.1	8.4		
x	x	x		
Factor solar do vão envidraçado *(protecção solar activada a 70%)*	0.75	0.75		
x	x	x		
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0.7	0.7		
x	x	x		
Factor de obstrução, Fs	1	1		
x	x	x		
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0.93	0.93		
=	=	=		
Área Efectiva, Ae	1.03	4.10		
x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	193.8	376.1		
=	=	=		
			TOTAL	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	198.71	1542.50	1741.21	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)	4	
x		
Área Útil de Pavimento (m2)	69.62	
x		
2.93		
=		
Ganhos internos Totais	815.39	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1741.21	**(KWh)**
+		
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	85.15	**(KWh)**
+		
Ganhos internos (FCV.1e)	815.39	**(KWh)**
=		
Ganhos Térmicos Totais	2641.74	**(KWh)**

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		2641.74	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		2517.39	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	**γ**	1.05	
Inércia do edifício	*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	3	

Cálculo intermédio:

a = 4.2
γ = 1 η = 0.807692
γ ≠ 1 η = 0.787736

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		0.79	
		=	
		0.21	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		2641.74	**(kWh)**
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		560.75	**(kWh/ano)**
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)		0.00	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
		=	
	TOTAL	560.75	**(kWh/ano)**
		/	
Área Útil de Pavimento (m^2)		69.62	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		8.05	**(kWh/m^2.ano)**
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv *(Nº2 do Artigo 15º)*		16	**(kWh/m^2.ano)**

Verifica **O.K.**

Nvc/Nv (%) = 50.34%

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Titulo:Z1N1-inercia térmica média

Paredes Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
PEXT-FPO (norte)	12.46	0.405	5.05
PEXT-FLE (oeste)	22.88	0.405	9.27
PEXT-FPR (sul)	16.17	0.405	6.55
PBEXT-ptp	1.69	0.492	0.83
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	21.69

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	ψ.B (W/ºC)
Fachada com os pavimentos térreos			0.00
Fachada com os pavimentos	24.50	0.525	12.86
Fachada com pavimentos intermédios	24.50	0.10	2.45
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0.00
Fachada com varanda			0.00
Duas paredes verticais	5.20	0.15	0.78
Fachada com caixa de estore			0.00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril			0.00
Outras			0.00
		TOTAL	16.09

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	37.79

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
PMEBET - caixa de escadas	7.8	0.616	0.5	2.40
PMEA - atrio	11.52	0.548	0.5	3.16
PORTAEXT-atrio	2	2.10	0.5	2.10
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
	21.32		TOTAL	7.66

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
LAGEGAR-tecto da garagem	69.62	0.534	0.7	26.02
				0.00
				0.00
			TOTAL	26.02

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m2)	U ($W/m^2.ºC$)	τ (-)	τ.U.A (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.ºC)	τ (-)	τ.ψ.B (W/ºC)
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
				0.00
			TOTAL	0.00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	**TOTAL**	33.68

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			0.00
janelas-FPO	2.1	3.1	6.51
janelas-FPR	8.4	3.1	26.04
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
Horizontais:			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	32.55

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		69.62	(m^2)
Pé-direito médio		2.60	(m)
		=	
Volume interior	(V)	181.01	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL — *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	s	se SIM:	RPH = 0.6
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)			Taxa de Renovação Nominal:
Caixas de Estore	(S ou N)			Ver Quadro IV.1
Classe de Exposição *(Ver Quadro IV.2)*	(1, 2, 3 ou 4)			RPH=
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)			
Área de envidraçados>15% Ap?	(S ou N)			
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)			

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m^3/h)			Vf =	0.00
Caudal Extraído	Vev - (m^3/h)				
Diferença entre Vins e Vev	(m^3/h)	0.00	/	V = (volume int)	0 RPH (**)
Infiltrações *(Vent. Natural)*	Vx - (h^{-1})				
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, η =	
				se NÃO, η =	0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	0.000		(Vf / V + Vx).(1-η)	
Consumo de Electricidade para os ventiladores				(Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	

Volume	181.01	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	0.600	
	x	
	0.34	
	=	
TOTAL	36.93	(W/ºC)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m^2)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m^2)
norte	duplo	2.1	0.253	0.75	1	0.7	0.93	0.26
sul	duplo	8.4	1.000	0.75	1	0.7	0.93	4.10
								0.00
								0.00
								0.00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2) 4.36

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)
na zona 2 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m^2.mês) 93.86

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses) 7.3

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano) 2987.86

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4	(W/m^2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		7.30	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		69.62	(m^2)
		x	
		0.72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1463.69	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{4451.55}{6714.61}$$

Inércia do edifício: 2 a = 2.6 γ = 0.66

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) 0.85011252

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos 4451.55

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) 3784.32

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m^2
Paredes exteriores		51.51
Coberturas exteriores		
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		10.5
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		10.66
Coberturas interiores		
Pavimentos interiores		48.734
Envidraçados interiores		
Área total:		121.40
		/
Volume (de FCIV.1d):		181.01
		=
FF		0.67

Graus-dias no local (ºC.dia)	(do Quadro III.1)	1610

		Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	68.095
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	78.263
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	83.418
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	114.899

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	78.26

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	**(W/ºC)**
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	37.79
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	33.68
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	32.55
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	36.93

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	140.94
	x
Graus-dias no Local (ºC.dia)	1985.00
	x
	0.024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	6714.61
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	3784.32
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	2930.29
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	69.62
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	42.09
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	78.26

Verifica O.K.

Nic/Ni = 53.78%

Folha de cálculo FCV.1a
Perdas

Perdas associadas à envolvente exterior (U.A)	(FCIV.1a)		37.79	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à envolvente interior (τU.A)	(FCIV.1b)		33.68	(W/ºC)
			+	
Perdas				(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)		32.55	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)		36.93	(W/ºC)
			=	
Perdas especificas totais		(Q1a)	140.94	(W/ºC)

Temperatura interior de referência			25	(ºC)
			-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)			18.9	(ºC)
			=	
Diferença de temperatura interior-exterior			6.1	
			x	
Perdas especificas totais		(Q1a)	140.94	(W/ºC)
			x	
			2.928	
			=	
Perdas térmicas totais		(Q1b)	2517.39	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b
Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	0.00

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2ºC$)	U.A (W/ºC)
verticais	10.5	3.1	32.55
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
		TOTAL	32.55

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (*inclui paredes e cobertura*)			
Orientação	norte	oeste	sul	
Área, A (m^2)	12.46	22.88	16.17	
	x	x	x	
U ($W/m^2ºC$)	0.405	0.405	0.405	
	x	x	x	
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0.3	0.3	0.3	
	=	=	=	
α.U.A (W/ºC)	1.51	2.78	1.96	
	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) (Quadro III.9)	193.8	394.4	376.1	
	x	x	x	
	0.04	0.04	0.04	
	=	=	=	
				TOTAL
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	11.74	43.86	29.56	85.15 **(kWh)**

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL			
Orientação	norte	sul		
Área, A (m^2)	2.1	8.4		
	x	x		
Factor solar do vão envidraçado *(protecção solar activada a 70%)*	0.75	0.75		
	x	x		
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0.7	0.7		
	x	x		
Factor de obstrução, Fs	1	1		
	x	x		
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0.93	0.93		
	=	=		
Área Efectiva, Ae	1.03	4.10		
	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m2) (Quadro III.9)	193.8	376.1		
	=	=		
			TOTAL	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	198.71	1542.50	1741.21	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m^2) (Quadro IV.3)	4	
x		
Área Útil de Pavimento (m2)	69.62	
x		
2.93		
=		
Ganhos internos Totais	815.39	**(KWh)**

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	1741.21	**(KWh)**
+		
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	85.15	**(KWh)**
+		
Ganhos internos (FCV.1e)	815.39	**(KWh)**
=		
Ganhos Térmicos Totais	2641.74	**(KWh)**

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		2641.74	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		2517.39	(kWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	**γ**	1.05	
Inércia do edifício	*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	2	

Cálculo intermédio:

a = 2.6

γ = 1 η = 0.722222

γ ≠ 1 η = 0.704595

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)	0.70	
	=	
	0.30	
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	2641.74	**(kWh)**
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	780.38	**(kWh/ano)**
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	0.00	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
	=	
TOTAL	780.38	**(kWh/ano)**
	/	
Área Útil de Pavimento (m^2)	69.62	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	11.21	**(kWh/m^2.ano)**
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv *(Nº2 do Artigo 15º)*	16	**(kWh/m^2.ano)**

Verifica **O.K.**

Nvc/Nv (%) = 70.06%

Anexo J
Resultados das simulações térmicas para o clima do Porto

J.1 Resultados das simulações do comportamento térmico do edifício-tipo em todas as disposições e com 4 pisos

Edifício em malha de **isolados A**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.8	26.6	27.0	26.7	27.2	26.9	27.9	27.7
3ºpiso	15.6	15.4	15.8	15.5	16.1	15.9	18.1	18.4
2ºpiso	15.9	15.7	16.5	16.3	17.5	17.6	22.5	23.5
1ºpiso	29.9	29.9	32.3	32.3	34.9	35.2	38.7	40.0
Nicmédia	22.0		22.8		23.9		27.1	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.2	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2
3ºpiso	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3	10.4
2ºpiso	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3
1ºpiso	6.7	6.8	6.7	6.8	6.7	6.7	6.6	6.6
Nvcmédia	8.7		8.6		8.6		8.6	
NtckWh/(m²ano)	**32.4**		**33.4**		**34.7**		**38.3**	

Edifício em malha de **isolados B**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.9	27.0	27.1	27.2	27.2	27.2	27.6	27.5	27.9	27.9	28.0	28.1
3ºpiso	15.9	16.0	16.3	16.3	16.4	16.4	17.3	17.5	18.3	18.5	18.9	19.2
2ºpiso	16.5	16.6	16.7	16.9	17.1	17.1	19.7	20.2	23.6	24.2	24.5	25.3
1ºpiso	30.3	30.4	30.7	30.9	31.8	32.1	38.2	38.6	40.7	41.2	41.6	42.3
Nicmédia	22.5		22.8		23.2		25.8		27.8		28.5	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2
3ºpiso	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3	10.4	10.3	10.4
2ºpiso	10.3	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.1	10.3	10.1	10.2
1ºpiso	6.7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.5	6.7	6.4	6.6	6.3	6.5
Nvcmédia	8.7		8.7		8.6		8.6		8.5		8.5	
NtckWh/(m²ano)	**33.0**		**33.4**		**33.8**		**36.8**		**39.0**		**39.8**	

Edifício em malha de **isolados C**

Nic	I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.7	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.6	26.6	26.7	26.7	27.8	27.7
3ºpiso	15.3	15.3	15.5	15.7	17.7	18.0
2ºpiso	15.5	15.5	15.9	16.2	21.3	21.8
1ºpiso	29.1	29.0	30.5	31.0	39.9	40.3
Nic média	21.6		22.3		26.8	
Nvc	I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.7	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.1	7.2	7.09	7.17	7.1	7.2
3ºpiso	10.3	10.4	10.27	10.39	10.2	10.4
2ºpiso	10.1	10.3	10.11	10.25	10.1	10.2
1ºpiso	6.5	6.6	6.49	6.63	6.5	6.6
Nvc média	8.6		8.6		8.5	
NtckWh/(m²ano)	**32.0**		**32.7**		**37.9**	

Edifício em malha de **isolados D**

Nic	I_u= 0.5		I_u=0.8		I_u=0.9	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.8	26.7	27.6	27.7	28.4	28.2
3ºpiso	15.4	15.4	17.3	17.5	19.3	19.3
2ºpiso	15.6	15.6	20.4	20.6	25.3	25.6
1ºpiso	29.4	29.1	39.8	39.9	43.3	43.3
Nic média	21.7		26.4		29.1	
Nvc	I_u= 0.5		I_u=0.8		I_u=0.9	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.0	7.2	7.0	7.1	7.0	7.1
3ºpiso	10.1	10.3	10.1	10.3	10.1	10.3
2ºpiso	10.0	10.1	10.0	10.1	10.0	10.1
1ºpiso	6.4	6.5	6.4	6.5	6.3	6.3
Nvc média	8.5		8.5		8.4	
NtckWh/(m²ano)	**32.0**		**37.3**		**40.4**	

Edifício em malha de **isolados E**

Nic	I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.8	26.8	27.1	27.5	28.9	28.6
3ºpiso	15.5	15.4	16.5	17.0	20.1	20.1
2ºpiso	15.6	15.6	18.5	19.1	26.5	26.8
1ºpiso	29.3	29.2	36.6	37.4	44.1	44.2
Nic média	21.8		24.9		29.9	
Nvc	I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.0	7.1	7.0	7.1	6.9	7.1
3ºpiso	10.1	10.2	10.1	10.2	10.1	10.2
2ºpiso	10.0	10.1	10.0	10.1	9.9	10.0
1ºpiso	6.4	6.5	6.4	6.5	6.2	6.2
Nvc média	8.4		8.4		8.3	
NtckWh/(m²ano)	**32.0**		**35.7**		**41.3**	

Edifício em malha de **isolados alternados**

Nic	I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=0.9	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	27.3	27.3	27.4	27.5	28.4	28.0	28.7	28.2
3ºpiso	16.7	16.7	16.9	17.0	18.6	18.1	19.3	18.6
2ºpiso	17.8	17.7	18.5	18.3	21.2	20.6	22.0	21.3
1ºpiso	33.1	32.5	34.1	33.6	36.7	36.2	37.4	36.9
Nic média	23.6		24.2		26.0		26.5	
Nvc	I_u=0.4		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=0.9	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2
3ºpiso	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.4	10.3	10.4
2ºpiso	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.3	10.0	10.2
1ºpiso	6.7	6.7	6.7	6.7	6.4	6.5	6.2	6.4
Nvc média	8.7		8.6		8.5		8.5	
NtckWh/(m²ano)	**33.8**		**34.3**		**36.3**		**36.9**	

Edifício em malha de **agrupados**

Nic	l_u=0.4		l_u=0.5		l_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	18.2	27.1	18.7	27.7	20.4	28.6
3ºpiso	10.2	16.5	11.4	17.4	14.8	19.6
2ºpiso	11.8	18.3	13.8	19.6	20.5	24.8
1ºpiso	26.3	35.1	29.6	37.8	34.9	41.5
Nic média	20.4		22.0		25.7	
Nvc	l_u=0.4		l_u=0.5		l_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	9.0	7.2	9.0	7.2	9.0	7.2
3ºpiso	12.6	10.4	12.6	10.4	12.5	10.3
2ºpiso	12.5	10.4	12.4	10.4	12.2	10.0
1ºpiso	8.5	6.8	8.4	6.7	7.9	6.2
Nvc média	9.7		9.6		9.4	
NtckWh/(m²ano)	**31.5**		**33.3**		**37.3**	

Edifício em **banda**

Nic	l_u=0.3		l_u=0.4		l_u=0.5		l_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	18.6	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	19.0	19.0
3ºpiso	10.4	10.4	10.5	10.5	10.6	10.6	11.3	11.3
2ºpiso	10.7	10.7	11.0	11.1	11.3	11.3	11.9	11.9
1ºpiso	21.5	21.6	22.0	22.1	22.2	22.3	23.8	23.8
Nic média	15.3		15.6		15.7		16.5	
Nvc	l_u=0.3		l_u=0.4		l_u=0.5		l_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.0	9.1
3ºpiso	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.5	12.6
2ºpiso	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.5	12.4	12.4
1ºpiso	8.5	8.5	8.5	8.5	8.4	8.5	8.4	8.4
Nvcmédia	10.7		10.7		10.6		10.6	
NtckWh/(m²ano)	**26.5**		**26.8**		**26.9**		**27.8**	

Nic	l_u=1.0		l_u=1.2		l_u=1.4		l_u=1.6		l_u=1.7	
(kWh/(m².ano))	zona1	Zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	19.2	19.2	19.3	19.3	20.0	20.1	20.6	20.6	20.9	20.9
3ºpiso	11.6	11.6	11.9	11.9	13.1	13.1	14.1	14.2	14.6	14.6
2ºpiso	13.1	13.1	13.9	13.9	16.1	16.1	19.8	19.8	20.8	20.8
1ºpiso	25.5	25.5	28.6	28.6	32.5	32.6	35.1	35.1	35.9	35.9
Nicmédia	17.4		18.4		20.4		22.4		23.0	
Nvc	l_u=1.0		l_u=1.2		l_u=1.4		l_u=1.6		l_u=1.7	
(kWh/(m².ano))	zona1	Zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	9.0	9.0	9.0	9.1	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
3ºpiso	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.3	12.3	12.3	12.3
2ºpiso	12.3	12.3	12.2	12.3	12.0	12.1	11.8	11.8	11.6	11.7
1ºpiso	8.3	8.3	8.1	8.1	7.9	7.9	7.5	7.5	7.2	7.2
Nvcmédia	10.5		10.5		10.4		10.2		10.0	
NtckWh/(m²ano)	**28.7**		**29.9**		**32.1**		**34.2**		**34.8**	

J.2 Resultados das simulações do comportamento térmico do edifício-tipo para diferentes situações diferentes

Edifício em malha de **agrupados**

Empena lateral com U=0.2 W/(m²ºC)

Nic	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	18.6	24.7	20.4	25.6
3ºpiso	11.3	14.9	14.8	17.0
2ºpiso	13.7	17.0	20.5	22.1
1ºpiso	29.6	34.7	34.9	38.4
Nic média	20.6		24.2	

Nvc	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	9.0	8.1	9.0	8.1
3ºpiso	12.6	11.7	12.6	11.6
2ºpiso	12.5	11.6	12.3	11.2
1ºpiso	8.5	7.6	8.0	7.1
Nvc média	10.2		10.0	
NtckWh/(m²ano)	**32.1**		**36.1**	

Edifício em malha de **agrupados**

Empena lateral com U=0.1 W/(m²ºC)

Nic	I_u=0.5	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2
4ºpiso	18.6	23.7
3ºpiso	11.3	14.0
2ºpiso	13.7	16.1
1ºpiso	29.6	33.7
Nic média	20.1	

Nvc	I_u=0.5	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2
4ºpiso	9.0	8.1
3ºpiso	12.6	11.7
2ºpiso	12.5	11.6
1ºpiso	8.5	7.6
Nvc média	10.2	
NtckWh/(m²ano)	**31.6**	

Edifício em malha de **isolados B**

Parede exterior com U=0.2 W/(m²ºC)

Nic	I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	21.0	21.1	21.4	21.4	21.7	21.7
3ºpiso	11.4	11.4	12.2	12.4	13.2	13.4
2ºpiso	12.0	12.0	14.4	14.8	18.0	18.6
1ºpiso	25.5	25.7	31.7	32.1	34.2	34.8
Nic média	17.5		20.1		22.0	
Nvc	I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.8
3ºpiso	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.5
2ºpiso	12.4	12.4	12.3	12.4	12.3	12.4
1ºpiso	8.2	8.3	8.1	8.2	8.0	8.2
Nvc média	10.5		10.4		10.4	
NtckWh/(m²ano)	**28.9**		**31.8**		**33.9**	

J.3 Resultados das simulações do comportamento térmico do edifício isolado com 6, 8, 10 e 12 pisos.

Edifício em malha de **isolados**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
6ºpiso	29.7	26.7	30.1	26.9	30.2	27.2	30.4	27.3	30.4	27.4
5ºpiso	14.9	15.4	15.5	15.8	16.3	16.4	16.5	16.6	16.8	16.8
4ºpiso	14.2	14.7	14.8	15.3	15.6	15.9	16.5	17.1	17.3	17.9
3ºpiso	14.7	15.0	15.4	15.6	17.3	17.6	20.1	20.5	21.6	21.9
2ºpiso	16.0	16.3	17.2	17.3	20.9	21.5	23.4	23.8	24.7	24.9
1ºpiso	29.9	30.4	32.4	32.5	36.9	37.3	39.2	39.5	40.5	40.6
Nic média	19.8		20.7		22.8		24.2		25.1	
Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
6ºpiso	6.5	6.8	6.5	6.8	6.5	6.8	6.5	6.8	6.5	6.8
5ºpiso	11.0	10.1	11.0	10.1	11.0	10.1	10.9	10.1	10.9	10.1
4ºpiso	11.0	10.9	11.0	10.8	11.0	10.8	10.9	10.8	10.9	10.8
3ºpiso	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.7	10.8	10.7	10.8
2ºpiso	9.9	10.0	9.9	10.0	9.8	9.9	9.8	9.9	9.7	9.8
1ºpiso	6.4	6.4	6.3	6.4	6.3	6.3	6.2	6.2	6.1	6.2
Nvc média	9.2		9.2		9.2		9.1		9.1	
NtckWh/(m²ano)	**30.3**		**31.5**		**33.8**		**35.5**		**36.4**	

Edifício em malha de **isolados**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	26.4	26.6	26.5	26.7	26.9	27.0	27.1	27.1	27.2	27.2
7ºpiso	15.0	15.3	15.2	15.5	16.0	16.1	16.2	16.1	16.3	16.4
6ºpiso	14.5	14.2	14.6	15.0	15.3	15.4	15.7	15.7	15.9	15.9
5ºpiso	14.3	14.5	14.7	15.0	15.5	15.7	16.8	17.1	17.4	17.5
4ºpiso	14.4	14.7	14.9	15.2	16.4	16.6	19.1	19.8	20.1	20.5
3ºpiso	14.7	15.0	15.5	15.8	18.5	19.2	21.0	21.5	21.8	22.1
2ºpiso	16.1	16.4	17.4	17.8	20.7	21.6	23.1	23.6	23.8	24.1
1ºpiso	30.0	30.3	32.6	33.1	35.7	36.5	38.0	38.5	38.9	39.0
Nic média	18.3		19.1		20.8		22.3		22.8	
Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.1	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
7ºpiso	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
6ºpiso	11.4	11.5	11.4	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
5ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6
4ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6	11.4	11.5
3ºpiso	11.4	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	11.4	11.3	11.3
2ºpiso	10.5	10.5	10.5	10.5	10.4	10.5	10.3	10.4	10.3	10.3
1ºpiso	6.8	6.8	6.7	6.8	6.7	6.7	6.6	6.7	6.5	6.5
Nvc média	10.2		10.1		10.1		10.1		10.0	
NtckWh/(m²ano)	**29.5**		**30.4**		**32.4**		**34.0**		**34.5**	

Edifício em malha de **isolados**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	26.3	26.3	26.5	26.7	26.8	26.9	26.9	27.1
9ºpiso	15.0	15.0	15.2	15.5	15.6	15.8	16.0	16.1
8ºpiso	13.9	14.0	14.6	15.0	15.0	15.2	15.3	15.4
7ºpiso	14.1	14.2	14.7	15.0	15.2	15.3	15.5	15.7
6ºpiso	14.2	14.3	14.9	15.1	15.6	15.7	16.4	16.6
5ºpiso	14.3	14.4	15.3	15.6	16.5	16.7	18.3	19.1
4ºpiso	14.4	14.5	16.1	16.5	18.2	18.5	19.4	20.3
3ºpiso	14.7	14.9	17.6	18.1	19.2	19.5	20.2	21.0
2ºpiso	16.1	16.2	19.5	20.2	21.0	21.3	21.8	22.6
1ºpiso	29.9	29.9	34.1	35.0	35.7	35.9	36.5	37.3
Nic média	17.3		19.1		20.0		20.9	
Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
9ºpiso	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
8ºpiso	11.4	11.5	11.4	11.5	11.4	11.5	11.4	11.4
7ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
6ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.6	11.6	11.6
5ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.6
4ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6
3ºpiso	11.4	11.5	11.4	11.4	11.3	11.4	11.3	11.4
2ºpiso	10.5	10.5	10.5	10.5	10.4	10.5	10.3	10.4
1ºpiso	6.8	6.8	6.7	6.8	6.7	6.7	6.5	6.7
Nvc média	10.5		10.4		10.4		10.4	
NtckWh/(m²ano)	**28.6**		**30.6**		**31.6**		**32.6**	

Edifício em malha de **isolados**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	26.3	26.3	26.5	26.8	26.6	26.8	26.8	26.9
11ºpiso	14.9	15.0	15.2	15.6	15.3	15.6	15.7	15.8
10ºpiso	13.9	13.9	14.6	15.0	14.8	15.1	15.1	15.2
9ºpiso	13.9	14.0	14.7	15.0	14.9	15.1	15.2	15.3
8ºpiso	14.1	14.2	14.9	15.2	15.1	15.4	15.8	15.9
7ºpiso	14.2	14.3	15.3	15.6	15.7	15.9	17.1	17.3
6ºpiso	14.3	14.3	16.0	16.4	17.0	17.2	18.5	18.7
5ºpiso	14.4	14.4	17.4	17.9	18.1	18.5	19.3	19.5
4ºpiso	14.5	14.6	18.1	18.9	18.8	19.3	19.9	20.1
3ºpiso	14.8	15.0	18.7	19.6	19.4	19.9	20.4	20.6
2ºpiso	16.1	16.3	20.2	21.1	20.9	21.5	21.9	22.0
1ºpiso	29.9	30.0	34.7	35.7	35.5	36.2	36.5	36.5
Nic média	16.8		19.1		19.5		20.3	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
11ºpiso	10.6	10.7	10.6	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6
10ºpiso	11.5	11.5	11.5	11.5	11.4	11.5	11.4	11.5
9ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
8ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.6
7ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7
6ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7
5ºpiso	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7	11.6	11.7
4ºpiso	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6
3ºpiso	11.4	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	11.4
2ºpiso	10.5	10.6	10.5	10.5	10.4	10.5	10.3	10.4
1ºpiso	6.8	6.8	6.7	6.8	6.6	6.8	6.5	6.5
Nvc média	10.7		10.7		10.6		10.6	
NtckWh/(m²ano)	**28.2**		**30.9**		**31.3**		**32.1**	

J.4 Resultados das simulações do comportamento térmico do edifício em banda com 6, 8, 10, 12 e 16 pisos

Edifício em **banda**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
6ºpiso	18.3	18.4	18.4	18.4	18.5	18.6	18.7	18.8	18.8	18.9	19.1	19.2	19.5	19.6
5ºpiso	10.0	10.0	10.1	10.2	10.4	10.4	10.8	10.9	11.1	11.1	11.6	11.6	12.4	12.4
4ºpiso	9.3	9.3	9.5	9.5	10.2	10.2	10.4	10.5	10.8	10.8	12.3	12.3	14.5	14.5
3ºpiso	9.4	9.4	10.0	10.0	10.5	10.5	10.9	10.9	11.9	12.0	14.6	14.6	19.3	19.3
2ºpiso	10.5	10.5	11.2	11.3	11.8	11.8	12.9	12.9	13.8	13.9	19.2	19.2	22.8	22.8
1ºpiso	21.4	21.5	22.1	22.1	23.5	23.6	24.6	24.7	26.9	26.9	33.8	33.8	36.6	36.7
Nic média	13.2		13.6		14.2		14.7		15.6		18.4		20.9	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
6ºpiso	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.0	9.1
5ºpiso	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.6	12.6
4ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3	13.1	13.1
3ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3	13.1	13.1	12.8	12.8
2ºpiso	12.6	12.6	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.0	12.1	11.4	11.5
1ºpiso	8.5	8.5	8.5	8.5	8.4	8.4	8.3	8.4	8.2	8.2	7.8	7.9	7.1	7.1
Nvc média	11.7		11.7		11.6		11.6		11.5		11.3		11.0	
NtckWh/(m²ano)	**24.9**		**25.3**		**25.9**		**26.6**		**27.5**		**30.6**		**33.2**	

Edifício em **banda**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0		I_u=2.2	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	18.2	18.3	18.3	18.3	18.4	18.5	18.5	18.5	18.6	18.6	18.8	18.9	19.0	19.1	19.1	19.2
7ºpiso	9.9	10.0	10.0	10.1	10.2	10.3	10.3	10.4	10.5	10.5	11.1	11.1	11.5	11.5	11.6	11.7
6ºpiso	9.1	9.2	9.3	9.3	9.8	9.8	10.0	10.1	10.2	10.3	10.8	10.8	11.9	12.0	12.4	12.5
5ºpiso	9.0	9.1	9.3	9.3	10.0	10.0	10.2	10.2	10.5	10.5	11.8	11.8	13.5	13.5	14.8	14.8
4ºpiso	9.1	9.2	9.7	9.7	10.2	10.2	10.5	10.6	11.4	11.4	12.8	12.9	16.5	16.5	18.9	18.9
3ºpiso	9.3	9.4	10.1	10.1	10.5	10.6	11.5	11.5	12.2	12.3	14.9	15.0	20.0	20.0	21.4	21.4
2ºpiso	10.5	10.5	11.2	11.3	11.9	11.9	13.1	13.1	14.0	14.0	19.1	19.1	22.7	22.7	23.5	23.6
1ºpiso	21.4	21.4	22.0	22.1	23.5	23.5	24.5	24.6	26.6	26.7	33.2	33.2	36.1	36.1	36.9	36.9
Nic média	12.1		12.5		13.1		13.6		14.3		16.6		18.9		19.9	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0		I_u=2.2	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
7ºpiso	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.8	12.7	12.7	12.7	12.7
6ºpiso	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.4
5ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3
4ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.5	13.4	13.4	13.1	13.2	13.0	13.0
3ºpiso	13.5	13.6	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3	13.1	13.1	12.8	12.8	12.5	12.5
2ºpiso	12.6	12.7	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.1	12.1	11.6	11.6	11.2	11.2
1ºpiso	8.5	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.3	8.4	8.2	8.3	7.9	7.9	7.3	7.4	7.0	7.0
Nvc média	12.2		12.8		12.1		12.1		12.1		11.9		11.7		11.5	
NtckWh/(m²ano)	**24.1**		**25.0**		**25.1**		**25.7**		**26.4**		**29.0**		**31.4**		**32.4**	

Edifício em **banda**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0		I_u=2.4	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	18.2	18.2	18.3	18.3	18.3	18.4	18.5	18.5	18.7	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1
9ºpiso	9.9	9.9	10.0	10.0	10.1	10.1	10.3	10.4	10.7	10.8	11.1	11.1	11.4	11.4
8ºpiso	9.1	9.1	9.2	9.2	9.4	9.4	10.0	10.0	10.4	10.4	10.8	10.8	11.7	11.7
7ºpiso	9.0	9.0	9.1	9.2	9.7	9.7	10.2	10.2	10.6	10.7	11.8	11.8	12.8	12.8
6ºpiso	9.0	9.0	9.2	9.2	9.9	10.0	10.4	10.4	11.7	11.7	12.8	12.9	15.3	15.3
5ºpiso	9.1	9.1	9.6	9.6	10.1	10.1	10.9	10.9	12.5	12.5	14.8	14.9	19.1	19.1
4ºpiso	9.1	9.2	9.9	9.9	10.3	10.3	11.7	11.8	13.9	13.9	18.1	18.2	21.3	21.3
3ºpiso	9.4	9.4	10.2	10.2	10.6	10.6	12.4	12.5	15.6	15.7	20.5	20.5	22.4	22.4
2ºpiso	10.5	10.6	11.3	11.3	11.9	12.0	14.2	14.2	19.1	19.2	22.7	22.7	24.0	24.0
1ºpiso	21.4	21.4	22.0	22.1	23.4	23.5	26.5	26.5	32.6	32.7	35.7	35.8	37.2	37.3
Nic média	11.5		11.9		12.4		13.5		15.6		17.7		19.4	
Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0		I_u=2.4	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	9.1	9.2	9.1	9.2	9.1	9.2	9.1	9.2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
9ºpiso	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.8	12.7	12.7
8ºpiso	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4
7ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.7	13.6	13.6	13.5	13.5	13.4	13.4
6ºpiso	13.7	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.5	13.6	13.4	13.5	13.2	13.3
5ºpiso	13.7	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.5	13.5	13.3	13.3	13.0	13.0
4ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.5	13.5	13.3	13.4	13.1	13.1	12.7	12.7
3ºpiso	13.5	13.6	13.5	13.5	13.4	13.5	13.3	13.3	13.1	13.1	12.7	12.7	12.2	12.2
2ºpiso	12.6	12.7	12.6	12.6	12.5	12.5	12.4	12.4	12.1	12.1	11.6	11.6	10.8	10.8
1ºpiso	8.5	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.2	8.3	7.9	8.0	7.5	7.5	6.8	6.8
Nvc média	12.5		12.5		12.5		12.4		12.2		12.1		11.7	
NtckWh/(m²ano)	**23.6**		**24.1**		**24.6**		**25.8**		**28.1**		**30.4**		**32.1**	

Edifício em **banda**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	18.1	18.2	18.2	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.4	18.5	18.6	18.6	18.7	18.8
11ºpiso	9.9	9.9	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1	10.2	10.3	10.4	10.4	10.9	10.9
10ºpiso	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.8	9.8	10.1	10.2	10.4	10.5
9ºpiso	9.0	9.0	9.1	9.1	9.3	9.4	9.8	9.8	10.0	10.0	10.3	10.3	10.7	10.8
8ºpiso	8.9	9.0	9.1	9.1	9.7	9.8	10.0	10.0	10.1	10.2	10.6	10.6	11.8	11.8
7ºpiso	9.0	9.0	9.2	9.2	9.9	10.0	10.3	10.2	10.3	10.4	11.6	11.6	12.6	12.7
6ºpiso	9.0	9.1	9.5	9.5	10.1	10.1	10.3	10.3	10.7	10.7	12.2	12.2	14.3	14.3
5ºpiso	9.1	9.1	9.8	9.8	10.2	10.2	10.5	10.5	11.5	11.5	12.9	12.9	16.4	16.4
4ºpiso	9.2	9.2	9.9	10.0	10.3	10.4	11.2	11.2	12.0	12.0	14.3	14.3	18.9	19.0
3ºpiso	9.4	9.5	10.2	10.2	10.6	10.7	11.8	11.9	12.6	12.6	16.1	16.1	20.7	20.7
2ºpiso	10.6	10.6	11.3	11.3	12.0	12.0	13.2	13.2	14.3	14.3	19.2	19.2	22.6	22.6
1ºpiso	21.4	21.5	22.0	22.1	23.4	23.5	24.5	24.5	26.4	26.5	32.4	32.4	35.6	35.6
Nic média	11.1		11.5		12.0		12.4		13.0		14.9		17.0	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.0		I_u=1.2		I_u=1.6		I_u=2.0	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	9.1	9.2	9.1	9.2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
11ºpiso	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
10ºpiso	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5
9ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6
8ºpiso	13.8	13.8	13.7	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.5	13.6
7ºpiso	13.8	13.8	13.7	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.7	13.6	13.6	13.5	13.5
6ºpiso	13.8	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.7	13.6	13.6	13.5	13.5	13.4	13.4
5ºpiso	13.7	13.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.4	13.5	13.2	13.2
4ºpiso	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.5	13.5	13.3	13.3	13.1	13.1
3ºpiso	13.5	13.6	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3	13.0	13.1	12.7	12.8
2ºpiso	12.6	12.7	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.1	12.1	11.7	11.7
1ºpiso	8.5	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3	8.0	8.0	7.5	7.6
Nvc média	12.7		12.7		12.7		12.6		12.6		12.5		12.3	
NtckWh/(m²ano)	**23.3**		**23.8**		**24.3**		**24.8**		**25.5**		**27.5**		**28.9**	

Edifício em **banda**

Nic	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.2	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
16ºpiso	17.4	17.7	17.5	17.8	17.6	17.9	17.8	18.1
15ºpiso	9.0	9.9	9.1	10.0	9.2	10.1	9.7	10.7
14ºpiso	8.9	9.2	9.0	9.3	9.1	9.4	9.4	9.7
13ºpiso	8.9	9.1	9.0	9.1	9.1	9.3	9.6	9.8
12ºpiso	8.9	9.0	9.0	9.1	9.2	9.3	9.9	9.9
11ºpiso	9.0	9.0	9.1	9.1	9.6	9.6	10.1	10.1
10ºpiso	9.0	9.0	9.1	9.1	9.8	9.9	10.2	10.3
9ºpiso	9.0	9.0	9.2	9.2	10.0	10.0	10.3	10.4
8ºpiso	9.0	9.1	9.5	9.5	10.1	10.1	10.5	10.6
7ºpiso	9.1	9.1	9.7	9.7	10.1	10.2	11.1	11.2
6ºpiso	9.1	9.1	9.8	9.9	10.2	10.3	11.6	11.7
5ºpiso	9.3	9.2	9.9	10.0	10.3	10.3	12.0	12.0
4ºpiso	9.2	9.3	10.0	10.1	10.4	10.5	12.3	12.3
3ºpiso	9.5	9.5	10.3	10.3	10.8	10.8	12.7	12.7
2ºpiso	10.7	10.8	11.3	11.4	12.2	12.2	14.4	14.5
1ºpiso	21.5	21.6	22.1	22.1	23.5	23.6	26.5	26.5
Nic média	10.5		10.9		11.4		12.5	

Nvc	I_u=0.3		I_u=0.5		I_u=0.8		I_u=1.2	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
16ºpiso	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
15ºpiso	13.1	12.6	13.1	12.6	13.0	12.6	13.0	12.6
14ºpiso	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4	13.3	13.4	13.3
13ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.4
12ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5
11ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.4
10ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4
9ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4
8ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4
7ºpiso	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3
6ºpiso	13.5	13.5	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3
5ºpiso	13.5	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3
4ºpiso	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3	13.2	13.2
3ºpiso	13.3	13.3	13.2	13.2	13.1	13.2	13.0	13.0
2ºpiso	12.4	12.4	12.3	12.4	12.2	12.3	12.1	12.1
1ºpiso	8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.2	8.0	8.1
Nvc média	12.8		12.7		12.7		12.6	
NtckWh/(m²ano)	**22.7**		**23.2**		**23.7**		**24.8**	

J.5 Resultados das simulações do comportamento térmico do edifício em banda com a fachada principal volta para Este e Oeste

Edifício em **banda** voltado a Este

Nic	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	30.3	30.3	30.4	30.5
9ºpiso	20.6	20.6	20.8	20.8
8ºpiso	20.0	20.0	20.3	20.3
7ºpiso	20.1	20.1	20.8	20.8
6ºpiso	20.3	20.3	21.1	21.1
5ºpiso	20.7	20.7	21.3	21.4
4ºpiso	20.9	20.9	21.6	21.6
3ºpiso	21.2	21.2	21.9	21.9
2ºpiso	22.4	22.4	23.2	23.2
1ºpiso	34.9	34.9	36.3	36.3
Nic média	23.1		23.8	

Nvc	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	12.8	12.8	12.7	12.8
9ºpiso	16.8	16.8	16.6	16.6
8ºpiso	17.4	17.4	17.1	17.1
7ºpiso	17.4	17.4	16.7	16.7
6ºpiso	17.2	17.2	16.4	16.4
5ºpiso	16.8	16.8	16.2	16.2
4ºpiso	16.4	16.4	16.0	16.0
3ºpiso	16.2	16.2	15.7	15.7
2ºpiso	15.3	15.3	14.5	14.5
1ºpiso	10.8	10.8	10.0	10.1
Nvc média	15.7		15.2	
NtckWh/(m²ano)	**39.7**		**40.0**	

Edifício em **banda** voltado a Oeste

Nic	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	29.1	29.1	29.1	29.1
9ºpiso	19.4	19.5	19.5	19.5
8ºpiso	18.7	18.7	18.1	18.8
7ºpiso	18.6	18.6	19.1	19.1
6ºpiso	18.7	18.7	19.3	19.3
5ºpiso	19.0	19.0	19.5	19.5
4ºpiso	19.2	19.2	19.6	19.6
3ºpiso	19.4	19.4	19.9	19.9
2ºpiso	20.5	20.5	21.2	21.2
1ºpiso	32.4	32.4	33.5	33.5
Nic média	21.5		21.9	

Nvc	I_u=0.5		I_u=0.8	
(kWh/(m².ano))	zona1	zona2	zona1	zona2
10ºpiso	13.2	13.2	13.2	13.2
9ºpiso	17.4	17.4	17.4	17.4
8ºpiso	18.1	18.1	18.0	18.0
7ºpiso	18.2	18.2	18.0	18.0
6ºpiso	18.1	18.1	17.9	17.9
5ºpiso	18.0	18.0	17.8	17.8
4ºpiso	17.7	17.9	17.7	17.7
3ºpiso	17.7	17.7	17.5	17.5
2ºpiso	16.8	16.8	16.5	16.5
1ºpiso	12.0	12.0	11.6	11.6
Nvc média	16.7		16.5	
NtckWh/(m²ano)	**38.7**		**39.0**	

Anexo K
Resultados das simulações térmicas dos edifícios em banda e isolados com 4, 8 e 12 pisos.

K.1 Resultados obtidos para o clima de Lisboa

Lisboa- Edifício isolado

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	15.9	15.9	16.1	16.2	16.5	16.5	17.0	17.0
3ºpiso	6.1	6.2	6.3	6.5	7.3	7.3	8.8	8.4
2ºpiso	6.5	6.5	6.9	7.0	8.8	9.3	12.8	12.7
1ºpiso	16.7	16.7	17.6	17.6	24.7	24.5	27.7	27.5
Nic médias	11.3		11.8		14.4		16.5	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	15.3	15.4	15.5	15.5	15.8	15.9	15.9	16.0
7ºpiso	5.4	5.5	5.6	5.7	6.0	6.1	6.1	6.2
6ºpiso	4.5	4.6	4.9	4.9	5.5	5.6	5.8	5.9
5ºpiso	4.6	4.6	5.1	5.0	5.7	5.7	6.5	6.5
4ºpiso	4.8	4.8	5.2	5.2	6.3	6.8	8.3	8.8
3ºpiso	5.1	5.1	5.6	5.7	8.0	9.0	10.3	11.2
2ºpiso	6.1	6.2	6.8	7.0	10.3	11.4	12.8	13.2
1ºpiso	16.2	16.4	18.2	18.4	22.3	23.0	25.2	25.4
Nic médias	7.8		8.4		10.2		11.5	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	15.2	15.4	15.5	15.5	15.5	15.5	15.7	15.7
11ºpiso	5.3	5.4	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.9
10ºpiso	4.4	4.4	4.9	5.0	5.1	5.0	5.3	5.3
9ºpiso	4.3	4.3	5.0	5.0	5.2	5.1	5.5	5.4
8ºpiso	4.4	4.4	5.2	5.2	5.4	5.3	5.7	5.7
7ºpiso	4.5	4.5	5.4	5.5	5.6	5.7	6.4	6.6
6ºpiso	4.6	4.6	5.8	6.0	6.2	6.4	8.1	8.4
5ºpiso	4.7	4.7	6.9	7.1	7.7	8.0	9.2	9.6
4ºpiso	4.8	4.8	8.1	8.4	8.8	9.2	10.0	10.2
3ºpiso	5.1	5.1	8.9	9.3	9.5	10.0	10.5	10.8
2ºpiso	6.1	6.2	10.2	10.7	10.7	11.3	11.6	12.0
1ºpiso	16.1	16.3	21.6	22.2	22.3	22.9	23.3	23.7
Nic médias	6.7		8.7		9.1		9.8	

Lisboa- Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	9.3	9.4	9.4	9.4	9.8	9.8	10.0	10.1
3ºpiso	2.7	2.7	2.8	2.8	3.2	3.3	3.5	3.5
2ºpiso	2.7	2.8	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0
1ºpiso	9.5	9.6	10.4	10.4	11.4	11.4	12.8	12.9
Nic médias	6.1		6.4		7.0		7.6	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	8.7	8.8	8.8	8.9	9.0	9.0	9.1	9.2
7ºpiso	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5
6ºpiso	1.7	1.7	1.7	1.7	1.9	1.9	2.1	2.1
5ºpiso	1.6	1.6	1.6	1.7	2.0	2.0	2.1	2.2
4ºpiso	1.6	1.6	1.7	1.8	2.1	2.1	2.3	2.3
3ºpiso	1.7	1.7	2.0	2.0	2.4	2.4	2.6	2.7
2ºpiso	2.4	2.4	2.8	2.8	3.2	3.2	3.9	3.9
1ºpiso	9.2	9.3	10.1	10.1	11.0	11.1	12.4	12.5
Nic médias	3.6		3.9		4.3		4.6	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	8.9
11ºpiso	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4
10ºpiso	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
9ºpiso	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8
8ºpiso	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.9	2.0
7ºpiso	1.5	1.5	1.5	1.6	1.9	1.9	2.1	2.1
6ºpiso	1.5	1.5	1.6	1.6	2.0	2.0	2.2	2.2
5ºpiso	1.5	1.5	1.7	1.7	2.1	2.1	2.3	2.3
4ºpiso	1.6	1.6	1.8	1.9	2.2	2.2	2.4	2.5
3ºpiso	1.7	1.7	2.1	2.1	2.4	2.5	2.9	2.9
2ºpiso	2.3	2.4	2.9	2.9	3.2	3.2	4.0	4.0
1ºpiso	9.2	9.2	10.1	10.1	10.9	11.0	12.4	12.9
Nic médias	2.9		3.1		3.4		3.8	

K.2 Resultados obtidos para o clima de Almada

Almada- Edifício isolado

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	14.8	14.8	15.1	15.1	15.0	15.4	15.9	15.8
3ºpiso	6.0	6.0	6.2	6.3	7.1	7.1	8.3	8.1
2ºpiso	6.4	6.4	6.7	6.8	8.7	8.9	12.6	12.3
1ºpiso	15.8	15.6	16.6	16.6	23.7	23.3	26.7	26.1
Nic médias	10.7		11.2		13.7		15.7	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	14.2	14.3	14.5	14.4	14.8	14.8	14.9	14.9
7ºpiso	5.3	5.4	5.6	5.5	5.9	6.1	6.0	6.1
6ºpiso	4.6	4.6	5.1	5.0	5.6	5.6	5.8	5.9
5ºpiso	4.8	4.6	5.2	5.1	5.8	5.8	6.4	6.5
4ºpiso	5.0	4.8	5.4	5.3	6.4	6.8	8.2	8.6
3ºpiso	5.2	5.1	5.7	5.7	8.1	8.9	10.6	10.8
2ºpiso	6.1	6.0	6.7	6.9	10.1	11.1	12.7	12.7
1ºpiso	15.2	15.4	17.2	17.1	21.3	22.4	24.1	23.9
Nic médias	7.5		8.2		10.0		11.1	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	14.2	14.2	14.5	14.4	14.5	14.4	14.7	14.7
11ºpiso	5.3	5.3	5.6	5.5	5.7	5.6	5.8	5.8
10ºpiso	4.5	4.5	5.1	5.0	5.2	5.1	5.4	5.4
9ºpiso	4.4	4.4	5.2	5.1	5.4	5.2	5.6	5.5
8ºpiso	4.6	4.6	5.4	5.3	5.5	5.4	5.8	5.8
7ºpiso	4.7	4.7	5.5	5.6	5.7	5.8	6.4	6.7
6ºpiso	4.8	4.7	5.9	6.0	6.2	6.5	8.2	8.5
5ºpiso	4.9	4.8	6.9	6.9	7.8	8.0	9.2	9.5
4ºpiso	4.9	4.9	8.2	8.3	8.9	9.1	9.9	10.1
3ºpiso	5.1	5.2	8.9	9.0	9.4	9.7	10.3	10.6
2ºpiso	6.0	6.2	10.0	10.3	10.6	10.9	11.3	11.6
1ºpiso	15.2	15.3	20.6	21.0	21.2	21.7	22.2	22.6
Nic médias	6.6		8.5		8.9		9.7	

Almada- Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	8.9	8.9	9.0	9.0	9.4	9.4	9.6	9.6
3ºpiso	3.0	3.0	3.1	3.1	3.5	3.6	3.8	3.8
2ºpiso	3.1	3.1	3.3	3.3	3.8	3.8	4.2	4.2
1ºpiso	9.1	9.1	10.0	10.0	10.9	10.9	12.3	12.3
Nic médias	6.0		6.4		6.9		7.5	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8
7ºpiso	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9
6ºpiso	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
5ºpiso	2.0	2.1	2.1	2.2	2.5	2.5	2.6	2.7
4ºpiso	2.1	2.1	2.2	2.2	2.6	2.6	2.8	2.8
3ºpiso	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8	2.9	3.1	3.1
2ºpiso	2.8	2.8	3.2	3.2	3.5	3.6	4.2	4.2
1ºpiso	8.8	8.9	9.7	9.8	10.5	10.5	12.0	12.0
Nic médias	3.9		4.1		4.5		4.9	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.5
11ºpiso	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8
10ºpiso	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3
9ºpiso	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.3	2.3
8ºpiso	1.9	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2	2.4	2.5
7ºpiso	1.9	2.0	2.0	2.0	2.4	2.4	2.5	2.6
6ºpiso	2.0	2.0	2.0	2.1	2.5	2.5	2.6	2.7
5ºpiso	2.0	2.0	2.2	2.2	2.6	2.6	2.7	2.8
4ºpiso	2.0	2.1	2.3	2.4	2.7	2.7	2.9	2.9
3ºpiso	2.2	2.2	2.6	2.6	2.9	2.9	3.3	3.3
2ºpiso	2.8	2.8	3.3	3.3	3.5	3.6	4.3	4.3
1ºpiso	8.8	8.8	9.7	9.8	10.4	10.5	12.0	12.0
Nic médias	3.2		3.5		3.7		4.1	

K.3 Resultados obtidos para o clima de Vila Nova de Gaia

Vila Nova de Gaia- Edifício isolado

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	32.1	32.2	32.4	32.4	32.7	32.7	33.1	33.1
3ºpiso	16.0	16.2	16.6	16.6	17.7	17.8	18.9	18.9
2ºpiso	16.6	16.7	17.2	17.3	20.2	20.4	24.7	24.7
1ºpiso	32.5	32.5	34.0	34.1	41.2	41.3	44.4	44.2
Nic médias	24.4		25.1		28.0		30.2	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	31.7	31.7	31.8	31.8	32.2	32.2	32.3	32.3
7ºpiso	15.3	15.4	15.5	15.6	16.3	16.3	16.4	16.4
6ºpiso	14.2	14.2	14.7	14.7	15.3	15.4	15.7	15.7
5ºpiso	14.3	14.3	14.8	14.8	15.6	15.7	16.9	17.1
4ºpiso	14.4	14.5	15.1	15.0	16.5	16.7	19.6	20.0
3ºpiso	14.7	14.8	15.6	15.7	18.8	19.5	21.9	22.0
2ºpiso	16.2	16.5	17.8	17.9	21.5	22.2	24.2	24.3
1ºpiso	32.2	32.4	35.3	35.4	38.6	39.3	41.4	41.3
Nic médias	19.2		20.1		22.0		23.6	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	31.6	31.6	31.8	31.9	31.9	32.0	32.0	32.1
11ºpiso	15.2	15.2	15.5	15.6	15.6	15.7	15.8	16.0
10ºpiso	13.8	13.8	14.7	14.7	14.8	14.9	15.1	15.1
9ºpiso	13.8	13.8	14.8	14.8	15.0	15.0	15.3	15.3
8ºpiso	14.0	14.1	15.0	15.0	15.2	15.4	15.8	15.9
7ºpiso	14.2	14.2	15.4	15.5	15.7	15.8	17.4	17.5
6ºpiso	14.2	14.3	16.3	16.3	17.2	17.3	19.0	19.1
5ºpiso	14.3	14.3	17.9	18.0	18.6	18.7	20.0	20.0
4ºpiso	14.4	14.5	19.0	19.1	19.6	19.7	20.7	20.7
3ºpiso	14.7	14.9	19.6	20.0	20.3	20.5	21.3	21.2
2ºpiso	16.2	16.4	21.3	21.7	21.4	22.2	22.8	22.8
1ºpiso	32.0	32.1	37.9	38.4	35.6	39.0	39.6	39.6
Nic médias	17.4		20.0		20.4		21.3	

Vila Nova de Gaia- Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	23.5	23.5	23.6	23.6	23.9	24.0	24.1	24.2
3ºpiso	10.6	10.6	10.8	10.8	11.6	11.6	12.0	12.0
2ºpiso	10.7	10.7	11.3	11.3	12.0	12.0	13.1	13.2
1ºpiso	23.5	23.5	24.3	24.4	25.8	25.9	27.6	27.6
Nic médias	17.1		17.5		18.3		19.2	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	23.0	23.1	23.1	23.2	23.3	23.3	23.4	23.4
7ºpiso	10.1	10.2	10.2	10.3	10.4	10.4	10.5	10.5
6ºpiso	9.0	9.0	9.1	9.1	9.6	9.6	9.9	9.9
5ºpiso	8.9	8.9	9.0	9.1	9.8	9.8	10.0	10.1
4ºpiso	8.9	8.9	9.5	9.5	10.0	10.1	10.3	10.4
3ºpiso	9.1	9.2	9.9	9.9	10.4	10.4	11.2	11.3
2ºpiso	10.5	10.5	11.2	11.3	11.8	11.9	13.0	13.1
1ºpiso	23.3	23.3	24.1	24.2	25.5	25.6	26.7	26.8
Nic médias	12.9		13.2		13.9		14.4	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	22.9	23.0	23.0	23.1	23.1	23.2	23.2	23.2
11ºpiso	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3
10ºpiso	8.9	9.0	9.0	9.0	9.1	9.1	9.2	9.3
9ºpiso	8.8	8.8	8.8	8.9	9.1	9.2	9.5	9.6
8ºpiso	8.8	8.8	8.8	8.9	9.5	9.5	9.8	9.8
7ºpiso	8.8	8.8	8.9	8.9	9.7	9.8	10.0	10.0
6ºpiso	8.8	8.8	9.3	9.3	9.9	9.9	10.1	10.1
5ºpiso	8.8	8.9	9.5	9.5	10.0	10.0	10.3	10.3
4ºpiso	8.9	8.9	9.7	9.7	10.1	10.2	11.0	11.0
3ºpiso	9.2	9.3	10.0	10.1	10.5	10.5	11.6	11.6
2ºpiso	10.5	10.6	11.3	11.3	12.0	12.1	13.2	13.2
1ºpiso	23.3	23.3	24.1	24.1	25.5	25.6	26.7	26.8
Nic médias	11.5		11.9		12.4		12.9	

K.4 Resultados obtidos para o clima de Braga

Braga- Edifício isolado

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	34.5	34.5	34.7	34.7	35.1	35.0	35.3	35.3
3ºpiso	18.0	18.1	18.1	18.5	19.6	19.7	20.7	20.6
2ºpiso	18.6	18.6	19.1	19.2	22.6	22.5	26.4	26.3
1ºpiso	34.9	34.8	36.3	36.4	43.6	43.4	46.4	46.1
Nic médias	26.5		27.1		30.2		32.1	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	34.1	34.1	34.2	34.2	34.5	34.5	34.6	34.5
7ºpiso	17.3	17.4	17.5	17.5	18.2	18.2	18.3	18.3
6ºpiso	16.2	16.3	16.7	16.7	17.3	17.3	17.6	17.6
5ºpiso	16.3	16.3	16.8	16.7	17.6	17.7	18.8	19.0
4ºpiso	16.4	16.5	17.1	17.0	18.6	18.9	21.5	21.8
3ºpiso	16.7	16.8	17.6	17.5	20.7	21.3	23.6	23.8
2ºpiso	18.2	18.4	19.8	19.8	23.3	23.9	25.8	25.9
1ºpiso	34.5	34.6	37.6	37.6	40.8	41.3	43.2	43.2
Nic médias	21.3		22.1		24.0		25.5	

Nic (isolado)	Iu=0.3		Iu=0.5		Iu=0.8		Iu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	34.0	34.0	34.2	34.2	34.2	34.2	34.3	34.3
11ºpiso	17.2	17.2	17.5	17.5	17.5	17.6	17.8	17.9
10ºpiso	15.8	15.8	16.7	16.7	16.8	16.8	17.0	17.0
9ºpiso	15.9	15.9	16.8	16.7	16.9	16.9	17.2	17.2
8ºpiso	16.1	16.1	17.0	16.9	17.2	17.3	17.8	17.8
7ºpiso	16.2	16.2	17.4	17.4	17.7	17.7	19.4	19.5
6ºpiso	16.3	16.3	18.4	18.4	19.3	19.3	20.8	20.9
5ºpiso	16.4	16.3	19.9	19.9	20.5	20.5	21.8	21.8
4ºpiso	16.5	16.5	20.9	21.0	21.5	21.5	22.6	22.5
3ºpiso	16.8	16.8	21.6	21.9	22.2	22.4	23.1	22.9
2ºpiso	18.2	18.3	23.2	23.6	23.8	24.0	24.5	21.4
1ºpiso	34.5	34.4	40.1	40.5	40.7	41.0	44.6	41.5
Nic médias	19.5		22.0		22.4		23.1	

Braga- Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	25.6	25.7	25.7	25.7	26.0	26.0	26.2	26.2
3ºpiso	12.5	12.5	12.7	12.7	13.4	13.5	13.8	13.9
2ºpiso	12.6	12.6	13.2	13.2	13.9	13.9	15.0	15.1
1ºpiso	25.6	25.7	26.4	26.4	27.9	27.9	29.8	29.9
Nic médias	19.1		19.5		20.3		21.2	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	25.2	25.2	25.3	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5
7ºpiso	12.0	12.0	12.1	12.1	12.3	12.3	12.4	12.4
6ºpiso	10.9	11.0	11.0	11.1	11.5	11.6	11.8	11.9
5ºpiso	10.8	10.9	11.0	11.0	11.8	11.8	12.0	12.1
4ºpiso	10.9	10.9	11.5	11.5	12.0	12.0	12.3	12.3
3ºpiso	11.1	11.1	11.8	11.9	12.3	12.4	13.2	13.2
2ºpiso	12.4	12.4	13.1	13.2	13.8	13.8	15.0	15.0
1ºpiso	25.4	25.5	26.1	26.2	27.6	27.6	28.6	28.6
Nic médias	14.9		15.3		15.8		16.4	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	25.1	25.1	25.2	25.2	25.2	25.3	25.3	25.3
11ºpiso	11.9	12.0	12.0	12.0	12.1	12.1	12.2	12.2
10ºpiso	10.8	10.9	10.9	11.0	11.1	11.1	11.2	11.2
9ºpiso	10.7	10.8	10.8	10.9	11.1	11.1	11.5	11.5
8ºpiso	10.8	10.8	10.8	10.9	11.5	11.5	11.7	11.8
7ºpiso	10.8	10.8	11.0	11.0	11.7	11.7	12.0	12.0
6ºpiso	10.8	10.8	11.3	11.3	11.9	11.9	12.1	12.1
5ºpiso	10.8	10.9	11.5	11.5	12.0	12.0	12.3	12.3
4ºpiso	10.9	10.9	11.7	11.7	12.1	12.2	12.9	13.0
3ºpiso	11.2	11.2	12.0	12.0	12.4	12.5	13.6	13.6
2ºpiso	12.5	12.6	13.2	13.2	14.1	14.1	15.0	15.1
1ºpiso	25.4	25.5	26.1	26.2	27.5	27.5	28.5	28.5
Nic médias	13.5		13.9		14.4		14.9	

K.5 Resultados obtidos para o clima de Castelo Branco

Castelo Branco- Edifício isolado

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	32.0	32.0	32.3	32.3	32.6	32.6	33.0	33.0
3ºpiso	16.1	16.1	16.5	16.6	17.7	17.7	19.1	19.1
2ºpiso	16.7	16.7	17.3	17.3	20.2	20.1	25.3	25.2
1ºpiso	32.4	32.4	34.0	33.9	42.0	41.8	45.8	45.7
Nic médias	24.3		25.0		28.1		30.8	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	31.3	31.4	31.5	31.5	32.0	32.0	32.0	32.0
7ºpiso	15.3	15.3	15.5	15.5	16.1	16.2	16.2	16.3
6ºpiso	14.1	14.2	14.7	14.8	15.5	15.5	15.8	15.9
5ºpiso	14.3	14.3	14.9	14.9	15.8	15.7	17.2	17.1
4ºpiso	14.9	14.6	15.2	15.1	16.9	16.5	20.1	20.0
3ºpiso	14.9	15.0	15.8	15.5	19.7	19.1	22.5	22.2
2ºpiso	16.3	16.3	17.4	17.3	22.7	21.9	24.8	24.5
1ºpiso	32.0	31.9	34.9	34.9	39.9	39.2	42.3	41.8
Nic médias	19.1		20.0		22.2		23.8	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	31.3	31.3	31.5	31.5	31.7	31.6	31.8	31.8
11ºpiso	15.1	15.1	15.5	15.5	15.6	15.7	15.9	15.8
10ºpiso	13.8	13.9	14.7	14.8	14.9	15.0	15.2	15.2
9ºpiso	13.7	13.8	14.9	14.9	15.1	15.2	15.5	15.4
8ºpiso	14.0	14.1	15.2	15.1	15.5	15.3	16.1	15.9
7ºpiso	14.2	14.2	15.6	15.4	16.0	15.8	17.1	17.1
6ºpiso	14.3	14.3	16.0	15.9	16.9	16.9	19.3	19.2
5ºpiso	14.4	14.4	17.9	17.9	18.9	18.8	20.7	20.5
4ºpiso	14.5	14.5	19.4	19.3	20.2	20.1	21.6	21.4
3ºpiso	14.8	14.9	20.3	20.3	21.2	21.1	22.2	22.0
2ºpiso	16.1	16.2	22.0	22.0	22.8	22.8	23.8	23.6
1ºpiso	31.7	31.7	38.7	38.6	39.6	39.6	40.8	40.5
Nic médias	17.4		20.1		20.7		21.6	

Castelo Branco- Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	23.0	23.0	23.0	23.1	23.4	23.4	23.6	23.6
3ºpiso	10.9	10.9	11.1	11.1	11.8	11.9	12.2	12.3
2ºpiso	11.0	11.0	11.5	11.6	12.3	12.4	13.3	13.3
1ºpiso	22.7	22.8	23.8	23.8	25.3	25.3	26.7	26.7
Nic médias	16.9		17.4		18.2		19.0	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	22.3	22.4	22.5	22.5	22.7	22.7	22.7	22.7
7ºpiso	10.5	10.5	10.6	10.6	10.7	10.8	10.8	10.9
6ºpiso	9.5	9.5	9.6	9.6	9.9	9.9	10.3	10.3
5ºpiso	9.4	9.4	9.5	9.5	10.2	10.3	10.6	10.6
4ºpiso	9.4	9.4	9.8	9.8	10.6	10.6	10.9	10.9
3ºpiso	9.6	9.6	10.3	10.3	11.0	11.0	11.4	11.4
2ºpiso	10.7	10.7	11.6	11.6	12.2	12.2	13.3	13.3
1ºpiso	22.4	22.4	23.5	23.5	24.9	24.9	26.2	26.2
Nic médias	13.0		13.4		14.0		14.5	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	22.2	22.2	22.3	22.4	22.4	22.5	22.5	22.6
11ºpiso	10.4	10.4	10.5	10.5	10.6	10.6	10.6	10.7
10ºpiso	9.4	9.4	9.5	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7
9ºpiso	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.5	9.9	10.0
8ºpiso	9.3	9.3	9.4	9.4	9.9	9.9	10.3	10.3
7ºpiso	9.3	9.3	9.4	9.4	10.2	10.2	10.5	10.5
6ºpiso	9.3	9.3	9.6	9.6	10.4	10.4	10.7	10.7
5ºpiso	9.3	9.4	9.9	9.9	10.6	10.6	10.8	10.9
4ºpiso	9.4	9.4	10.1	10.2	10.7	10.8	11.2	11.2
3ºpiso	9.6	9.6	10.5	10.5	11.0	11.0	12.0	12.0
2ºpiso	10.7	10.7	11.6	11.7	12.2	12.2	13.5	13.5
1ºpiso	22.4	22.4	23.5	23.5	24.7	24.7	26.1	26.1
Nic médias	11.7		12.1		12.7		13.2	

K.6 Resultados obtidos para o clima de Vila Real

Vila Real Edifício isolado

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	37.7	37.7	37.9	37.9	38.3	38.3	38.7	38.8
3ºpiso	21.7	21.7	22.2	22.3	23.5	23.5	24.7	24.8
2ºpiso	22.3	22.3	22.9	23.0	26.4	26.6	31.1	31.1
1ºpiso	38.6	38.5	40.3	40.3	48.2	48.1	52.1	52.0
Nic médias	30.1		30.9		34.1		36.7	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	37.3	37.3	37.4	37.4	37.7	37.7	37.8	37.8
7ºpiso	20.9	20.9	21.1	21.1	21.9	21.9	22.0	22.1
6ºpiso	19.8	19.8	20.3	20.4	21.0	21.0	21.4	21.5
5ºpiso	19.9	19.9	20.4	20.5	21.5	21.4	22.9	22.9
4ºpiso	20.1	20.1	20.8	20.8	22.8	22.6	25.8	25.7
3ºpiso	20.5	20.4	21.4	21.4	25.3	25.1	27.9	27.9
2ºpiso	22.1	22.0	23.6	23.7	28.2	27.9	30.4	30.4
1ºpiso	38.2	38.3	41.5	41.6	46.1	45.9	48.4	48.4
Nic médias	24.8		25.8		28.0		29.6	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	37.1	37.2	37.4	37.4	37.4	37.4	37.6	37.6
11ºpiso	20.8	20.8	21.1	21.2	21.2	21.2	21.5	21.6
10ºpiso	19.3	19.4	20.3	20.4	20.4	20.5	20.8	20.8
9ºpiso	19.4	19.5	20.4	20.5	20.6	20.7	21.0	21.0
8ºpiso	19.6	19.6	20.7	20.7	21.1	21.0	21.6	21.7
7ºpiso	19.7	19.7	21.2	21.2	21.6	21.5	23.1	23.2
6ºpiso	19.8	19.8	22.1	22.2	23.1	23.1	24.9	25.0
5ºpiso	20.0	20.0	23.7	23.9	24.5	24.6	26.1	26.1
4ºpiso	20.1	20.1	25.0	25.1	25.7	25.8	27.0	27.0
3ºpiso	20.4	20.5	25.9	26.0	26.6	26.7	27.6	27.6
2ºpiso	21.9	22.1	27.7	27.8	28.3	28.5	29.3	29.3
1ºpiso	38.2	38.2	45.0	45.1	45.7	45.9	46.9	47.0
Nic médias	23.1		25.9		26.4		27.3	

Vila Real Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	28.8	28.8	28.8	28.8	29.2	29.2	29.4	29.4
3ºpiso	15.8	15.8	16.0	16.0	16.9	17.0	17.4	17.4
2ºpiso	15.9	15.9	16.6	16.7	17.5	17.6	18.8	18.9
1ºpiso	29.2	29.3	30.1	30.2	31.9	31.9	34.0	34.0
Nic médias	22.4		22.9		23.9		24.9	

NIC (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	28.3	28.4	28.4	28.5	28.6	28.6	28.7	28.7
7ºpiso	15.2	15.3	15.3	15.4	15.6	15.6	15.7	15.7
6ºpiso	14.0	14.0	14.2	14.2	14.8	14.8	15.1	15.2
5ºpiso	13.9	13.9	14.1	14.1	15.0	15.1	15.4	15.4
4ºpiso	14.0	14.0	14.6	14.6	15.3	15.4	15.8	15.8
3ºpiso	14.2	14.2	15.1	15.2	15.8	15.9	16.8	16.8
2ºpiso	15.7	15.7	16.6	16.6	17.4	17.5	18.8	18.8
1ºpiso	29.1	29.1	29.9	30.0	31.6	31.7	32.9	33.0
Nic médias	18.1		18.6		19.3		19.9	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	28.3	28.3	28.3	28.4	28.4	28.5	28.5	28.5
11ºpiso	15.1	15.2	15.2	15.3	15.3	15.4	15.4	15.5
10ºpiso	13.9	13.9	14.0	14.0	14.2	14.2	14.3	14.4
9ºpiso	13.7	13.8	13.9	13.9	14.2	14.2	14.7	14.7
8ºpiso	13.8	13.8	13.9	13.9	14.6	14.7	15.0	15.1
7ºpiso	13.8	13.8	14.0	14.0	14.9	15.0	15.3	15.3
6ºpiso	13.8	13.9	14.4	14.4	15.1	15.2	15.5	15.5
5ºpiso	13.9	13.9	14.7	14.7	15.3	15.4	15.8	15.8
4ºpiso	14.0	14.0	14.9	15.0	15.6	15.6	16.5	16.5
3ºpiso	14.2	14.3	15.3	15.3	16.0	16.0	17.2	17.3
2ºpiso	15.9	15.9	16.7	16.7	17.7	17.7	18.9	19.0
1ºpiso	29.1	29.1	29.9	30.0	31.6	31.6	32.9	32.9
Nic médias	16.6		17.1		17.8		18.3	

Anexo L
Resultados das simulações térmicas dos edifícios em banda e isolados com 4, 8 e 12 pisos para o clima de Coimbra

Edifício isolado

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	26.6	26.7	26.9	26.9	27.3	27.3	27.7	27.7
3ºpiso	13.1	13.4	13.7	13.7	14.6	14.8	15.8	15.7
2ºpiso	13.6	13.7	14.1	14.2	17.0	17.1	21.2	21.1
1ºpiso	27.0	27.0	28.4	28.8	35.9	35.9	39.4	39.0
Nic médias	20.1		20.8		23.7		26.0	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	26.1	26.2	26.2	26.3	26.6	26.6	26.7	26.7
7ºpiso	12.5	12.6	12.7	12.7	13.3	13.3	13.4	13.4
6ºpiso	11.6	11.6	12.0	12.0	12.5	12.6	12.9	12.9
5ºpiso	11.7	11.6	12.1	12.1	12.7	12.9	13.9	14.2
4ºpiso	11.8	11.8	12.3	12.2	13.5	13.9	16.3	16.7
3ºpiso	12.1	12.1	12.7	12.8	15.5	16.2	18.2	18.4
2ºpiso	13.3	13.4	14.6	14.8	17.9	18.5	20.5	20.7
1ºpiso	26.6	26.8	29.6	29.7	33.3	33.9	36.1	36.2
Nic médias	15.7		16.6		18.3		19.8	

Nic (isolado)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m²ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	26.0	26.0	26.3	26.3	26.3	26.4	26.5	26.5
11ºpiso	12.3	12.4	12.7	12.8	12.7	12.8	12.9	13.1
10ºpiso	11.2	11.2	12.0	12.0	12.1	12.2	12.3	12.4
9ºpiso	11.2	11.2	12.1	12.1	12.2	12.3	12.5	12.5
8ºpiso	11.4	11.4	12.3	12.2	12.4	12.6	12.9	13.1
7ºpiso	11.5	11.5	12.5	12.7	12.8	13.1	14.3	14.5
6ºpiso	11.6	11.6	13.3	13.5	14.1	14.4	15.7	15.8
5ºpiso	11.7	11.7	14.8	14.9	15.3	15.6	16.5	16.5
4ºpiso	11.8	11.8	15.6	15.8	16.6	16.3	17.2	17.2
3ºpiso	12.0	12.2	16.2	16.5	16.6	17.1	17.8	17.8
2ºpiso	13.2	13.4	17.7	18.2	18.2	18.7	19.4	19.4
1ºpiso	26.5	26.5	32.7	33.2	33.2	33.9	34.4	34.5
Nic médias	14.2		16.6		17.0		17.7	

Edifício em banda

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m^{2}ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
4ºpiso	19.1	19.1	19.1	19.2	19.5	19.5	19.7	19.7
3ºpiso	8.7	8.7	8.9	8.9	9.5	9.6	9.9	9.9
2ºpiso	8.8	8.8	9.3	9.3	9.9	9.9	10.9	10.9
1ºpiso	19.0	19.1	19.8	19.8	21.3	21.4	23.0	23.0
Nic médias	13.9		14.3		15.1		15.9	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m^{2}ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
8ºpiso	18.6	18.6	18.7	18.7	18.8	18.9	18.9	18.9
7ºpiso	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6
6ºpiso	7.3	7.3	7.4	7.4	7.8	7.9	8.1	8.1
5ºpiso	7.2	7.2	7.3	7.3	8.0	8.0	8.2	8.2
4ºpiso	7.0	7.0	7.7	7.7	8.2	8.2	8.4	8.4
3ºpiso	7.4	7.4	8.0	8.1	8.4	8.5	9.2	9.2
2ºpiso	8.5	8.5	9.1	9.2	9.7	9.7	10.7	10.7
1ºpiso	18.8	18.8	19.5	19.6	21.0	21.0	22.0	22.0
Nic médias	10.4		10.8		11.3		11.8	

Nic (banda)	lu=0.3		lu=0.5		lu=0.8		lu=1.0	
kwh/(m^{2}ano)	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2	zona1	zona2
12ºpiso	18.5	18.5	18.6	18.6	18.7	18.7	18.7	18.8
11ºpiso	8.1	8.2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.4
10ºpiso	7.2	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5
9ºpiso	7.1	7.1	7.1	7.2	7.4	7.4	7.7	7.8
8ºpiso	7.1	7.1	7.1	7.2	7.7	7.7	7.9	8.0
7ºpiso	7.1	7.4	7.2	7.2	7.9	7.9	8.1	8.1
6ºpiso	7.1	7.1	7.5	7.5	8.0	8.0	8.2	8.2
5ºpiso	7.1	7.1	7.7	7.7	8.1	8.1	8.4	8.4
4ºpiso	7.2	7.2	7.9	7.9	8.2	8.3	8.9	8.9
3ºpiso	7.4	7.5	8.1	8.2	8.5	8.5	9.5	9.5
2ºpiso	8.6	8.6	9.2	9.2	9.8	9.8	10.8	10.8
1ºpiso	18.8	18.9	19.5	19.6	20.9	20.9	21.9	22.0
Nic médias	9.3		9.6		10.1		10.5	