

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Análise da Sensibilidade do RTQ-C Quanto à
Variação da Densidade de Carga Interna**

Mariane Pinto Brandalise

Pelotas, 2015

MARIANE PINTO BRANDALISE

ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO RTQ-C QUANTO À VARIAÇÃO DA DENSIDADE DE CARGA INTERNA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: qualidade e tecnologia do ambiente construído).

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, 2015

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B817a Brandalise, Mariane Pinto

Análise da sensibilidade do RTQ-C quanto à variação da densidade de carga interna / Mariane Pinto Brandalise ; Eduardo Grala da Cunha, orientador. — Pelotas, 2015.

172 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Eficiência energética. 2. RTQ-C. 3. Edifícios de escritório. 4. Densidade de carga de equipamento. 5. Simulação computacional. I. Cunha, Eduardo Grala da, orient. II. Título.

CDD : 720

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

MARIANE PINTO BRANDALISE

ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DO RTQ-C QUANTO À VARIAÇÃO DA DENSIDADE DE CARGA INTERNA.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 27 de maio de 2015.

Banca examinadora:

Profa. Giane de Campos Grigoletti (UFSM)

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Antônio César Silveira Baptista da Silva

Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Isabel Tourinho Salamoni

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus.

Aos meus pais, pelo amor e carinho dedicados, e por terem me ensinado tudo o que eu precisava para o meu crescimento. Aos meus irmãos pela amizade, incentivo e por compartilharem todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Eduardo Grala, por acreditar no meu trabalho, por conduzir esta pesquisa de forma clara e objetiva, e principalmente por sua dedicação e incentivo.

Ao Professor Antônio César, que devido ao seu empenho durante as aulas de arquitetura bioclimática, fez com que despertasse em mim o interesse nessa área e pela oportunidade de trabalhar no labCEE.

Aos professores, funcionários, bolsistas, colegas do LabCEE-UFPel pelo ambiente de trabalho que proporcionam, pela competência e disposição em compartilhar experiências. Em especial a Vitória, ao Lucas e a Larissa pela colaboração nesse trabalho.

Aos amigos Carlos, Lisandra, Stífany, Jaqueline e Juliana, por estarem sempre disponíveis para me ajudar e incentivar, e por todos os momentos compartilhados.

Aos meus familiares e amigos que estão sempre próximos de mim, pelo incentivo e carinho demonstrados.

RESUMO

BRANDALISE, Mariane Pinto. **Análise da Sensibilidade do RTQ-C Quanto à Variação da Densidade de Carga Interna.** 2015. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

Um dos maiores avanços na área da eficiência energética de edificações no país nos últimos anos foi as publicações, do RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, em 2009, e do RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, em 2010. Este trabalho tem como objetivo identificar a sensibilidade do RTQ-C, quanto à variação de densidade de carga interna (DCI) de equipamentos na avaliação do desempenho energético da envoltória de edifícios de escritórios nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 7 do zoneamento bioclimático brasileiro. Para tanto, a pesquisa foi dividida em oito etapas: estudo da arte, definição dos modelos de análise; caracterização das densidades de carga interna utilizada de acordo com a norma ASHRAE Fundamentals (2009); determinação das características da envoltória dos modelos, conforme os pré-requisitos do RTQ-C; determinação do consumo energético dos modelos utilizando o software DesignBuilder; comparação do consumo energético dos modelos analisados; compilação dos resultados e conclusões. Com os resultados, pode-se concluir que as envoltórias com a transmitância térmica de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C podem apresentar diferente desempenho energético dependendo da densidade de carga interna de equipamento instalada. Pode-se observar que edifícios de escritório com DCI média a envoltória de acordo com o Nível B do RTQ-C apresenta o melhor desempenho energético, no entanto, em edificações com elevada DCI a envoltória conforme o Nível C demonstrou o melhor desempenho energético. Com os resultados foram indicados valores de transmitância térmica das paredes e coberturas, com isso será possível observar os pré requisitos específicos considerando a forma, o percentual de abertura, o uso e a ocupação dos espaços.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-C. Edifícios de escritório. Densidade de carga de equipamento. Simulação computacional.

Abstract

BRANDALISE, Mariane Pinto. **Sensibility Analysis of the Brazilian Standards for Energy Efficiency Regarding the Variation of Internal Load Density**. 2015. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

One of the greatest advances in the building Power efficiency area in the country in the last years was the publications, the RTQ-C (Technical Requirements of Quality for the energetic performance Level of Commercial Buildings) publications, and RTQ-R (Technical Regulation of Quality for the Power Efficiency Level of Residential Buildings) ones in 2010. The objective of this study is to identify the RTQ-C sensibility to the variation of internal load density of equipments in the evaluation of the energetic performance of office buildings envelope in different Bioclimatic Zones of the Brazilian Bioclimatic zoning. For that, the research was divided into seven stages: the art study, analysis models definitions, internal load density characterization according to ASHRAE Fundamentals (2009), models envelope characteristics definition, according to RTQ-C pre requirements, models power consumption using DesignBuilder software, power energetic performance comparison of the analyzed models, and results compilation. By the results it can be concluded that the envelopes with thermal transmittance according to RTQ-C power efficiency levels can present different power performances depending on equipment internal load density. It can be observed that office buildings with average DCI to envelope according to level B of RTQ-C show better power performance, however, in buildings with high DCI to envelope according to level C showed better energy performance. Based on the results, top and walls thermal transmittance values were pointed, being possible to observe the specific pre-requirements considering shape, window-wall ratio, use, and space occupation.

Keywords: Energetic performance. RTQ-C. Office building. Equipment load density. computational simulation.

Lista de Figuras

Figura 1: O impacto da forma da edificação na carga de aquecimento	30
Figura 2: Zoneamento bioclimático brasileiro	38
Figura 3: Sala Pró Reitoria de Extensão Figura 4: Sala Pró Reitoria de Extensão.....	44
Figura 5: Planta baixa sala Pró Reitoria de Extensão – cenário 1 (existente)	45
Figura 6: Carta Bioclimática cidade de Curitiba (ZB1).....	48
Figura 7: Carta Bioclimática cidade Brasília (ZB4)	49
Figura 8: Carta Bioclimática cidade de Cuiabá (ZB 7).....	49
Figura 9: Diagrama representativo do método	65
Figura 10: Representação em 3D do Modelo 1	68
Figura 11: Esquema dos modelos de análise para as zonas bioclimáticas 1 e 7	69
Figura 12: Esquema dos modelos de análise para a zona bioclimática 4.....	70
Figura 13: Esquema das simulações realizadas para o modelo1	81
Figura 14: Zonas Térmicas Modelo 1.....	83
Figura 15: Parede original e sua equivalente	86
Figura 16: Modelo Fator de Forma 0,25 - edifício em altura.....	92
Figura 17: Modelo Fator de Forma 0,30 - edifício em altura.....	92
Figura 18: Modelo Fator de Forma 0,35 - edifício em altura.....	93
Figura 19: Modelo Fator de Forma 0,25 - edifício de 1 pavimento.....	93
Figura 20: Modelo Fator de Forma 0,30 - edifício de 1 pavimento	94
Figura 21: Modelo Fator de Forma 0,35 - edifício de 1 pavimento	94
Figura 22: Modelo Fator de Forma 0,45 - edifício de 1 pavimento	94
Figura 23: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1 – DCI média.....	96
Figura 24: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1 – DCI alta.....	97
Figura 25: Gráfico 3 - Consumo energético anual do modelo 2 – DCI média.....	98
Figura 26: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2 – DCI alta.....	99
Figura 27: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3 – DCI média.....	101
Figura 28: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3 – DCI alta.....	102
Figura 29: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4 – DCI média.....	103
Figura 30: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4 – DCI alta.....	105
Figura 31: Gráfico - consumo energético anual do modelo 5 – DCI média.....	106
Figura 32: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5 – DCI alta.....	107
Figura 33: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI Média outono e inverno .	109
Figura 34: Gráfico - Temperatura radiante do modelo 2 no inverno	110
Figura 35: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI média dia 26 de junho ...	111

Figura 36: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI média outono e inverno .	112
Figura 37: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI Média primavera e verão	113
Figura 38: Gráfico - Temperatura radiante do modelo 2 no verão	114
Figura 39: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI média dia 03 de fevereiro	114
Figura 40: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI média primavera e verão	115
Figura 41: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI alta outono e inverno	116
Figura 42: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI alta outono e inverno	117
Figura 43: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI alta Primavera e Verão..	119
Figura 44: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI alta primavera e verão...	120
Figura 45: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI média.....	125
Figura 46: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI alta	126
Figura 47: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 4 – DCI média.....	127
Figura 48: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 4 – DCI alta	128
Figura 49: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3, zona bioclimática 4 – DCI média.....	129
Figura 50: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3, zona bioclimática 4 – DCI alta	130
Figura 51: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4, zona bioclimática 4 – DCI média.....	131
Figura 52: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4, zona bioclimática 4 – DCI alta	133
Figura 53: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 4 – DCI média.....	134
Figura 54: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 4 – DCI alta	135
Figura 55: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 1.....	140
Figura 56: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI alta e parede 1.	141
Figura 57: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 1.....	143

Figura 58: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI alta e	144
Figura 59: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 2.....	146
Figura 60: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI alta e	147
Figura 61: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 2.....	148
Figura 62: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI alta e	149
Figura 63: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 1 – DCI 25 W/m ²	150
Figura 64: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI 25 W/m ²	152
Figura 65: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 7, parede 1 – DCI 25 W/m ²	154
Figura 66: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 7, parede 2 – DCI 25	155
Figura 67: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 1.....	160
Figura 68: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 4.....	161
Figura 69: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 7.....	162

Lista de Tabelas

Tabela 1: Densidade típica de carga de equipamentos para diversos tipos de escritórios. ...	43
Tabela 2: Valores utilizados no cálculo da DCI	46
Tabela 3: Normais Climatológicas.....	47
Tabela 4: Características do envoltório dos protótipos representativos.....	51
Tabela 5: Parâmetros da DCI	51
Tabela 6: Alternativas de volumetrias para o modelo de escritório.....	52
Tabela 7: Características do envoltório do caso-base ineficiente para o modelo Grande escritório.....	52
Tabela 8: Medidas de Conservação de Energia usadas nas simulações enfocando o envoltório.....	53
Tabela 9: Dados de entrada e seus respectivos valores adotados para as simulações.	55
Tabela 10: Limites da transmitância térmica adotados pela ASHRAE <i>Standard</i> 90.1	56
Tabela 11: Fator de Forma Máximo e Mínimo de acordo com a zona bioclimática	67
Tabela 12: Características da volumetria do modelo 1.....	68
Tabela 13: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para zona bioclimática 1 e 7	69
Tabela 14: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para zona bioclimática 4.....	70
Tabela 15: Caracterização das densidades de carga interna utilizadas nos modelos de análise	71
Tabela 16: Características da envoltória para a zona bioclimática 1	72
Tabela 17: Características da envoltória para a zona bioclimática 4.....	72
Tabela 18: Características da envoltória para a zona bioclimática 7.....	73
Tabela 19: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência	75
Tabela 20: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 1	77
Tabela 21: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 4	77
Tabela 22: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 7	77
Tabela 23: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 1 ...	78
Tabela 24: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 4 ...	79
Tabela 25: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 7 ...	80

Tabela 26: Composição paredes externas para zona bioclimática 1	87
Tabela 27: Composição cobertura da zona bioclimática 1	88
Tabela 28: Composição parede externa para zona bioclimática 4	88
Tabela 29: Composição das paredes externas para zona bioclimática 7	89
Tabela 30: Composição da cobertura da zona bioclimática 4 e 7	89
Tabela 31: Características da volumetria Fator de Forma 0,25; 0,30 e 0,35	92
Tabela 32: Características da volumetria dos modelos de 1 pavimento	93
Tabela 33: Consumo do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI média.....	96
Tabela 34: Consumo do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,20 – DCI média.....	96
Tabela 35: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI alta.....	98
Tabela 36: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 –DCI média.....	99
Tabela 37: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta.....	100
Tabela 38: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI média.....	101
Tabela 39: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI alta.....	102
Tabela 40: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,15 – DCI média.....	104
Tabela 41: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,15 – DCI alta.....	105
Tabela 42: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média.....	106
Tabela 43: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta.....	107
Tabela 44: Síntese dos resultados da análise de outono e Inverno e primavera e Verão ..	108
Tabela 45: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média	110
Tabela 46: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média	112
Tabela 47: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média	114

Tabela 48: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média	115
Tabela 49: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta	117
Tabela 50: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta	118
Tabela 51: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta	119
Tabela 52: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta	120
Tabela 53: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 1	121
Tabela 54: Resultados Fator de Formar 0,25, 0,30 e 0,35 em altura	122
Tabela 55: Resultados Fator de Formar 0,25, 0,30, 0,35 e 0,45 térreo	123
Tabela 56: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI média zona bioclimática 4.....	125
Tabela 57: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI média zona bioclimática 4.....	125
Tabela 58: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI alta zona bioclimática 4.....	126
Tabela 59: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI alta zona bioclimática 4.....	126
Tabela 60: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,05 – DCI média zona bioclimática 4.....	127
Tabela 61: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta zona bioclimática 4.....	128
Tabela 62: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI média zona bioclimática 4.....	130
Tabela 63: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI alta zona bioclimática 4.....	131
Tabela 64: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,10 –DCI média zona bioclimática 4.....	132
Tabela 65: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,10 –DCI alta zona bioclimática 4.....	133
Tabela 66: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 –DCI média zona bioclimática 4.....	135
Tabela 67: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média zona bioclimática 4.....	135

Tabela 68: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 –DCI alta zona bioclimática 4.....	136
Tabela 69: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 4.....	137
Tabela 70: Síntese dos resultados da zona bioclimática 7 com a parede 1.	139
Tabela 71: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 –DCI média, zona bioclimática 7, parede 1	141
Tabela 72: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 –DCI alta, zona bioclimática 7, parede 1	142
Tabela 73: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 –DCI média, zona bioclimática 7, parede 1	143
Tabela 74: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 –DCI alta, zona bioclimática 7, parede 1	144
Tabela 75: Síntese dos resultados zona bioclimática 7 com a parede 2	145
Tabela 76: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 –DCI média, zona bioclimática 7, parede 2	146
Tabela 77: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 –DCI alta, zona bioclimática 7, parede 2.....	147
Tabela 78: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 –DCI média, zona bioclimática 7, parede 2.....	149
Tabela 79: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 –DCI alta, zona bioclimática 7, parede 2.....	149
Tabela 80: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI de 25W/m ² , zona bioclimática 1	151
Tabela 81: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI de 25W/m ² , zona bioclimática 1	151
Tabela 82: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI de 25W/m ² , zona bioclimática 4	152
Tabela 83: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI de 25W/m ² , zona bioclimática 4	152
Tabela 84: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI 25W/m ² , zona bioclimática 7, parede 1	154
Tabela 85: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI 25W/m ² , zona bioclimática 7, parede 1	154
Tabela 86: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI 25W/m ² , zona bioclimática 7, parede 2	155
Tabela 87: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI 25W/m ² , zona bioclimática 7, parede 2	156

Tabela 88: Limites do consumo energético para cada nível de eficiência	171
Tabela 89: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 2 DCI média	171
Tabela 90: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 1 DCI média	171
Tabela 91: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 1 DCI alta	171
Tabela 92: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 3 DCI média	172
Tabela 93: Limites do consumo energético ZB1 Modelo térreo fator de forma 0,30 DCI média	172
Tabela 94: Limites do consumo energético ZB1 Modelo térreo fator de forma 0,30 DCI alta	172
Tabela 95: Limites do consumo energético ZB4 Modelo 2 DCI média	172
Tabela 96: Limites do consumo energético ZB7 Modelo 2 DCI média parede 1	173
Tabela 97: Limites do consumo energético ZB7 Modelo 2 DCI média parede 2	173

Lista de Abreviações e Siglas

Apcon – Área de projeção da cobertura

Aenv – Área da envoltória

Atot – Área total

BEN - Balanço Energético Nacional

COP – Coeficiente de Performance

DCI – Densidade de Carga Interna

DPI – Densidade de Potência de Iluminação

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

FA –Fator altura

FF- Fator de Forma

FS – Fator Solar

ICENV - Indicador de Consumo da Envoltória

ICmáx – Indicador de Consumo Máximo

ICMín - Indicador de Consumo Mínimo

NBR – Norma Brasileira

PAFT – Percentual de Área de Abertura na Fachada Total

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

Entidade e Programas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*

DOE – *Department Of Energy (USA)*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

ISO - *International Standard Organization*

LabCEE – Laboratório de Conforto e Eficiência Energética

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Unidades

°C – graus Celsius

lm – iluminância

Kwh - Quilowatt-hora

Sumário

1.Introdução.....	21
1.1. Justificativa	23
1.2.Objetivos	26
1.2.1.Geral	26
1.2.2.Específicos	26
1.3. Estrutura da dissertação.....	27
2. Revisão de literatura.....	28
2.1. Eficiência energética nas edificações.....	28
2.1.1. Localização e orientação da edificação.....	29
2.1.2.Características da forma e envoltória da edificação	29
2.1.3. Equipamentos e Sistemas	32
2.2. Normas e regulamentações de eficiência energética e desempenho térmico	34
2.2.1. RTQ-C.....	35
2.2.2. NBR 15.220 – parte 3	38
2.3. Simulação de desempenho termoenergético de edificações	39
2.4. Edifícios de escritório e a densidade de carga interna.....	41
2.5 Dados climáticos das cidades analisadas	47
2.6 Trabalhos realizados de eficiência energética em edificações de escritórios.....	50
2.7. Revisão Crítica da Literatura	63
3. Método.....	65
3.1. Etapas da pesquisa.....	66
3.2.Definição dos modelos de análise	67
3.2.1. Modelo de análise 1	67
3.2.2. Modelos estabelecidos com base no RTQ-C	68
3.3. Caracterização das Densidades de Carga interna utilizadas na configuração dos modelos de análise	70
3.4.Determinação das características da envoltória para os modelos de acordo com nível de eficiência A, B, C e D.	72
3.4.1. Determinação das características térmicas da envoltória	72
3.4.2. Definição do Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT)	73
3.5. Determinação do consumo energético dos modelos com características da envoltória de acordo com nível de eficiência A, B, C e D.....	80

3.5.1. Programa utilizado	82
3.5.2. Arquivo climático.....	82
3.5.2.1. Temperatura do Solo	82
3.5.3. Modelagem.....	83
3.5.4. Definição das Zonas Térmicas.....	83
3.5.5. Configurações dos modelos	84
3.5.5.1 Definição dos horários de ocupação.....	84
3.5.5.2 Densidade de carga interna	84
3.5.5.3. Sistema de condicionamento de ar	85
3.5.5.4. Configuração da envoltória.....	85
3.6. Comparação do consumo dos edifícios com envoltória Nível A, B, C e D com diferentes densidades de carga interna de equipamento	90
3.7. Análise dos Resultados	90
3.7.1. Análise dos Resultados para a zona bioclimática 1.....	91
4. Análise dos Resultados.....	95
4.1. Resultados zona bioclimática 1	95
4.1.1. Análise do consumo energético anual	95
4.1.1.1. Resultados do Modelo 1	95
4.1.1.2. Resultados do modelo 2	98
4.1.1.3. Resultados do modelo 3	100
4.1.1.4. Resultados do modelo 4	102
4.1.1.5. Resultados do modelo 5	105
4.1.2. Análise primavera e verão e outono e inverno	108
4.1.2.1. Análise DCI média outono e inverno.....	109
4.1.2.2. Análise DCI média primavera e verão	112
4.1.2.3. Análise DCI alta outono e inverno	115
4.1.2.4. Análise DCI alta primavera e verão.....	118
4.1.3. Análise dos resultados dos modelos FF 0,25 , FF 0,30 e FF 0,35 em altura	122
4.1.4. Análise dos resultados dos modelos FF 0,25 , FF 0,30, FF 0,35 e FF 0,45 um pavimento.	123
4.2. Análise zona bioclimática 4.....	124

4.2.1. Modelo 1	124
4.2.2. Modelo 2	126
4.2.3. Modelo 3	129
4.2.4. Modelo 4	131
4.2.5. Modelo 5	133
4.3. Análise zona bioclimática 7	138
4.3.1. Modelo 2 com Parede 1 ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \text{ máx. } 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)	140
4.3.2. Modelo 5 com Parede 1 ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \text{ máx. } 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)	142
4.3.3. Modelo 2 com Parede 2 ($U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)	146
4.3.4. Modelo 5 com Parede 2 ($U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ $CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)	148
4.4. Análise da DCI utilizada por Carlo (2008)	150
4.4.1. Análise DCI 25W/m^2 na zona bioclimática 1	150
4.4.2. Análise DCI 25W/m^2 na zona bioclimática 4	151
4.4.3. Análise DCI 25W/m^2 na zona bioclimática 7, parede 1	153
4.4.4. Análise DCI 25W/m^2 na zona bioclimática 7, parede 2	154
4.5. Síntese dos resultados	156
5. Conclusões	158
5.1. Sugestões para trabalhos futuros	163
6. Referências bibliográficas	164
7. Apêndices	170
Apêndice A – Limites do consumo energético dos modelos	171

1.Introdução

Diante de um novo cenário econômico que alavancou a construção civil no Brasil, experimenta-se um aumento da competitividade no setor, que passou a exigir do mercado a busca por soluções inovadoras e qualificadas dos seus empreendimentos, valorizando questões como o uso eficiente da energia e a redução dos impactos ambientais.

Em se tratando do uso eficiente de energia, a conservação de energia foi questão discutida a partir da crise do petróleo, na década de 1970, momento em que muitos países perceberam a importância de pesquisar novas fontes de energia e a necessidade de tomar medidas para o uso racional dos recursos naturais. Os primeiros programas governamentais e legislações específicas que buscavam a eficiência energética em edificações surgiram na década de 1970, na Europa, na França e Alemanha, mais especificamente, e nos Estados Unidos.

No Brasil, na década de 1980, surgiram o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Mas foi após o início do século XXI, quando ocorreu a crise energética e a população se voltou para este problema, que o governo brasileiro tomou medidas mais eficazes vinculadas à efficientização energética. O primeiro passo foi elaboração da Lei 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro de 2001, Lei de Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a), e a aprovação do Decreto nº4.059 de 19 de dezembro de 2001 a qual estabelece a criação do Grupo de Trabalho Edificações para definir mecanismo que resultem em edificações mais eficientes (BRASIL, 2001b).

Alguns dos maiores avanços na área da eficiência energética de edificações no país foram as publicações dos Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de

Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) em 2009, e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) em 2010.

O RTQ-C contém os requisitos técnicos a serem avaliados para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A análise pode ser feita por dois métodos: o Método Prescritivo, que é um método simplificado, através de equações; e o método de simulação, que preconiza a utilização de programas de simulação computacional. A classificação dos edifícios está dividida em cinco níveis de eficiência energética, que vão de A, para o mais eficiente, até E para o menos eficiente. A avaliação é baseada em três requisitos principais: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema do condicionamento de ar e característica da envoltória da edificação (INMETRO, 2010).

As características da envoltória da edificação que podem aumentar ou minimizar os ganhos de calor são as cores da envoltória e as propriedades térmicas de materiais que compõem as paredes e coberturas. Também interfere nas trocas térmicas, o tipo, o tamanho e orientação das aberturas.

Outro fator que deve ser considerado no projeto arquitetônico é o uso do espaço. Dependendo das necessidades, as atividades realizadas no local podem interferir significativamente no consumo energético e no desempenho termoenergético da edificação. Nos edifícios de escritórios, onde se observa uma variação muito grande quanto à ocupação, a densidade de carga interna (DCI), pode causar grande influência no comportamento energético da edificação. Entende-se por densidade de carga interna a soma das três principais fontes de calor interno: iluminação, equipamentos elétricos e pessoas.

O RTQ-C apresenta limites máximos de transmitância térmica para paredes e coberturas de acordo com o nível de eficiência energética e zona bioclimática na qual a edificação está localizada. Porém, esses limites não consideram a possibilidade de ocupação e geração de calor. O regulamento faz observação quanto a DCI, somente no caso da iluminação artificial (INMETRO, 2010).

Em razão destes limites não considerarem a densidade de carga interna de equipamento, optou-se nesta pesquisa por identificar a sensibilidade do RTQ-C quanto à variação de DCI de equipamentos na avaliação do desempenho energético

da envoltória de edifícios de escritórios nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 7 do zoneamento bioclimático brasileiro.

1.1. Justificativa

As questões energéticas são debatidas em nível mundial, tornando-se necessários investimentos em energias alternativas e adoção de medidas de eficiência energética as quais passaram a ser relevantes e exigidas em nosso país.

Na Europa, o setor dos edifícios é responsável pelo consumo de mais de 40% da energia final. Acredita-se que este consumo pode ser reduzido na metade com a implementação de medidas de eficiência energética (AGENEAL, 2009).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEM, 2014), com ano base 2013, no Brasil, as edificações são responsáveis por 41,11% do consumo energético, sendo que, as edificações comerciais e públicas representam 20,61% deste consumo. Este fato justifica iniciativas de conservação de energia em edificações, e ressalta a importância da criação das normas de desempenho e dos regulamentos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios.

O consumo de energia em edifícios sofre influência de diversos fatores, como as características físicas da edificação, do sistema de condicionamento de ar, do sistema de iluminação, dos equipamentos, da forma como a edificação é utilizada pelos usuários e do clima do local onde a edificação está inserida.

O consumo de energia nas edificações está também associado aos ganhos e perdas de calor pelos elementos de envoltória. As características da envoltória, relacionada à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, e também dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos (CARLO, 2008).

A envoltória das edificações comerciais sofreu grandes transformações após a revolução industrial. Com a aparição da estrutura metálica e do vidro plano, as paredes perderam a função estrutural e passaram a exercer apenas a função de vedação. Essa possibilidade passou a ser muito utilizada pelos arquitetos e independentemente do clima em que os edifícios estavam inseridos, o que só foi possível, devido ao desenvolvimento dos sistemas de climatização artificiais, como o aparelho de ar-condicionado.

Neste contexto, foram construídos, nas mais diversas partes do mundo, edifícios similares, caracterizados por grandes fachadas de vidro. Estas edificações não se adaptavam às condições climáticas do local, aquecendo muito no verão e esfriando no inverno, necessitando constantemente de equipamentos mecânicos em funcionamento para diminuir as adversidades climáticas provocadas pela envoltória inadequada (LOMARDO, 2011).

No Brasil, nos edifícios comerciais o condicionamento de ar e a iluminação artificial são responsáveis por 47% e 22% do consumo de energia elétrica. Nas edificações públicas o sistema de condicionamento de ar representa 48% do total do consumo de energia, a iluminação representa 23%, os equipamentos de escritório 15% e outros usos de 14% do total (ELETROBRAS, 2007). De acordo com Spyropoulos e Balaras (2011), o consumo de energia elétrica em edifícios comerciais na Europa apresentou um aumento constante nos últimos anos devido principalmente ao uso do sistema de condicionamento de ar e de equipamentos de escritórios.

Grande parte deste consumo poderia ser evitado, através de soluções mais adequadas das propriedades físicas dos materiais da envoltória, de acordo com as condições climáticas nas quais a edificação está inserida. Uma das maneiras para estudar o comportamento térmico e energético das edificações é por meio dos programas de simulação. De acordo com Batista et al. (2005), as ferramentas de simulação computacional foram desenvolvidas com o objetivo de proporcionar aos arquitetos uma forma de otimizar o desempenho energético dos projetos de edificações.

Os programas de simulação avaliam o desempenho energético, considerando praticamente todas as variáveis que influenciam direta ou indiretamente o consumo da edificação. Para isto, é necessário informar as características construtivas, padrões de uso, dados climáticos, carga interna instalada, sistema de condicionamento de ar e sistema de iluminação. Dessa forma, cabe aos arquitetos e engenheiros utilizar estas ferramentas para obter um maior conhecimento do desempenho termoenergético nas edificações, e buscar implementar medidas que racionalizem o consumo de energia do edifícios.

Muitos pesquisadores acreditam que, quanto maior a resistência térmica das paredes, melhor é o desempenho termoenergético da edificação. Porém, alguns

estudos demonstram que, para edifícios de escritórios, esta análise também depende de outras variáveis, como o clima em que a edificação está inserida e a densidade de carga interna da edificação. De acordo com Westphal (2007), para um modelo de edifício de escritório na cidade de Curitiba, com a densidade de carga interna de 20 W/m^2 , baixa absorvância superficial externa, e padrão de uso de 8h/dia, o aumento da transmitância térmica, aumenta o consumo de energia elétrica em climatização. No entanto, na mesma edificação com uma densidade de carga interna de 50 W/m^2 , percebe-se uma redução no consumo de energia elétrica em climatização quando a envoltória apresenta uma maior transmitância térmica. Outra pesquisa, com edifícios comerciais, demonstra que o aumento da carga interna instalada, reflete no aumento do consumo anual da edificação. Entretanto, se a transmitância térmica das paredes for aumentada, favorece na dissipação dos ganhos internos para o exterior da edificação, o que resulta um menor consumo anual, como pode ser observado nos climas de Florianópolis e Curitiba (MELO, 2007).

Chvatal (2007) realizou um estudo com o objetivo de analisar o impacto do aumento do isolamento da envoltória dos edifícios no seu desempenho térmico, considerando que em climas tropicais, em certas condições, quando os ganhos de calor no edifício são elevados, envoltórias muito isoladas termicamente podem dificultar a dissipação desse calor e tornar a temperatura interna acima do limite de conforto. Neste estudo foi possível observar que, nos edifícios comerciais, o desconforto no verão é grande, devido aos altos ganhos internos de pessoas e equipamentos, ocorrerem durante o mesmo período que os ganhos solares máximos.

Por considerar a importância destes estudos e a limitação do método prescritivo do RTQ-C, ao avaliar apenas a densidade de carga interna (DCI) de 25 W/m^2 no desenvolvimento da equação de regressão linear, foi então decidido, analisar a sensibilidade do RTQ-C, quanto à variação de DCI de equipamentos na avaliação do desempenho energético da envoltória de edifícios de escritórios nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 7 do zoneamento bioclimático brasileiro. A zona bioclimática 1 foi avaliada por apresentar um inverno rigoroso. Já a zona bioclimática 4, por apresentar temperaturas elevadas e grandes períodos de baixa umidade

relativa, caracterizando, portanto, um clima seco e a zona bioclimática 7 por possuir temperaturas elevadas o ano todo.

1.2.Objetivos

1.2.1.Geral

Este trabalho tem como objetivo geral identificar a sensibilidade do RTQ-C quanto à variação de densidade de carga interna (DCI) de equipamentos na avaliação do desempenho energético da envoltória de edifícios de escritórios nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 7 do zoneamento bioclimático brasileiro.

1.2.2.Específicos

Espera-se também alcançar os objetivos específicos listados a seguir:

- Verificar se as envoltórias com diferentes transmitâncias térmicas para os níveis de eficiência energética A, B, C e D, de acordo com o RTQ-C, apresentam o mesmo desempenho energético considerando variados níveis de densidade de carga interna de equipamentos para as zonas bioclimáticas 1, 4 e 7 do zoneamento brasileiro.
- Analisar a relação entre DCI de equipamentos e o desempenho energético para edifícios climatizados artificialmente, com Fatores de Forma mínimo e máximo.
- Analisar a relação entre DCI de equipamentos e o desempenho energético para edifícios climatizados artificialmente, observando diferentes configurações de Percentual de abertura na fachada total (PAFT) e transmitância térmica para paredes e coberturas.

1.3. Estrutura da dissertação

Na intenção de atingir aos objetivos propostos, esta dissertação está dividida em cinco capítulos, que são descritos a seguir:

No primeiro capítulo deste trabalho, apresentam-se as questões relacionadas ao tema, justificativas, o objetivo da pesquisa e são caracterizadas as partes que compõem o trabalho.

No segundo capítulo, é desenvolvida a revisão bibliográfica, ressaltando a importância da eficiência energética nas edificações, simulação computacional para o desempenho termoenergético e regulamentos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios, como também são apresentados trabalhos desenvolvidos com a abordagem de eficiência energética em edificações de escritórios.

O Método de pesquisa é apresentado no terceiro capítulo, no qual é descrita cada etapa, desde a definição das tipologias de edificações, as características construtivas, configuração do modelo computacional, simulação e análise da eficiência energética.

No quarto capítulo, são detalhados os resultados do desempenho energético dos modelos de análise, obtidos a partir de simulação computacional utilizando-se o programa EnergyPlus e sua interface gráfica DesignBuilder.

No quinto capítulo, são expostas as conclusões finais e sugestão para trabalhos futuros.

2. Revisão de literatura

2.1. Eficiência energética nas edificações

Com a conjuntura atual na geração de energia elétrica, torna-se necessário, que o setor da construção civil busque maneiras de minimizar o consumo de energia, desde a construção, a utilização dos edifícios e o ciclo de vida dos materiais. A eficiência energética deve ser uma característica fundamental das edificações. De acordo com Lamberts et al.(2014), essa eficiência pode ser compreendida como uma característica específica da edificação representante de seu potencial em proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos usuários e com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício pode ser conceituado como mais eficiente energeticamente que outro, quando nas mesmas condições ambientais, possibilita um menor consumo de energia. Segundo Melo (2007), uma edificação é considerada eficiente termicamente, quando apresenta um consumo mínimo, mas o ambiente é ainda confortável para os usuários. Quando o ambiente não fornece as condições de conforto adequadas, o usuário tende a encontrar meios alternativos, os quais consomem mais energia, para se adaptar às condições ideais.

O consumo de energia nas edificações depende de variáveis que utilizam diretamente a energia, como os equipamentos e os sistemas de iluminação artificial e ar condicionado e também de variáveis que interferem nestes sistemas, como a maneira de utilização dos sistemas e as características da envoltória. Para Johansson e Goldemberg (2002), para diminuir o consumo em uma edificação, devem ser aplicadas estratégias de projeto bioclimático e haver a mudança do padrão de consumo dos usuários. Sendo assim, a eficiência energética de edificações está relacionada com a escolha adequada dos materiais da envoltória da edificação em conjunto com o tipo de clima no qual a edificação está inserida, além do uso de sistemas de iluminação e equipamentos mais eficientes.

2.1.1. Localização e orientação da edificação

Para a elaboração de um projeto que busque conforto e eficiência energética é necessário realizar uma análise climática, a qual informa quais estratégias bioclimáticas são mais adequadas em função do clima local e para cada período do ano.

O clima é composto por fatores estáticos (posição, geografia e relevo) e fatores dinâmicos (temperatura, umidade, movimento do ar e radiação solar) (MASCARÓ, 1985). A quantidade de calor recebida ou cedida do edifício depende de um conjunto de variáveis, como a diferença entre temperatura interna e externa da edificação. De acordo com Alves (2011), as variáveis mais importantes, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar, em termos de transferência de calor nos edifícios. A temperatura do ar exterior é responsável pelo sentido do fluxo energético, do ambiente mais quente para o frio. A radiação solar por sua vez é uma fonte de calor, contribuindo para o aumento da temperatura interna, desejada no inverno e evitada no verão.

De acordo com Beraldo (2006), o fato de projetos arquitetônicos não considerarem o clima como um aspecto relevante na concepção do projeto, resulta em más condições de conforto térmico e visual, acarretando no uso de sistemas artificiais para suprir as condições de conforto. Neste sentido, em climas quentes, os ganhos térmicos são maiores e, em conjunto com os ganhos internos de ocupação, de equipamentos e de iluminação, produzem uma carga térmica que necessita ser compensada pelo sistema de condicionamento de ar. De maneira a obter o melhor equilíbrio de eficiência térmica, independentemente do clima, o edifício deve estar localizado na melhor orientação. Desta forma, é possível ter um ganho elevado de energia no inverno e evita-se a radiação solar no verão.

2.1.2. Características da forma e envoltória da edificação

Este item está dividido em duas partes, primeiro foi realizada uma discussão a respeito da forma das edificações e posteriormente a discussão da envoltória.

A transferência de calor entre o edifício e o meio ambiente dá-se a partir das superfícies externas. Desta forma, materiais e componentes adotados nas edificações, bem como a forma da edificação, interferem no consumo de energia

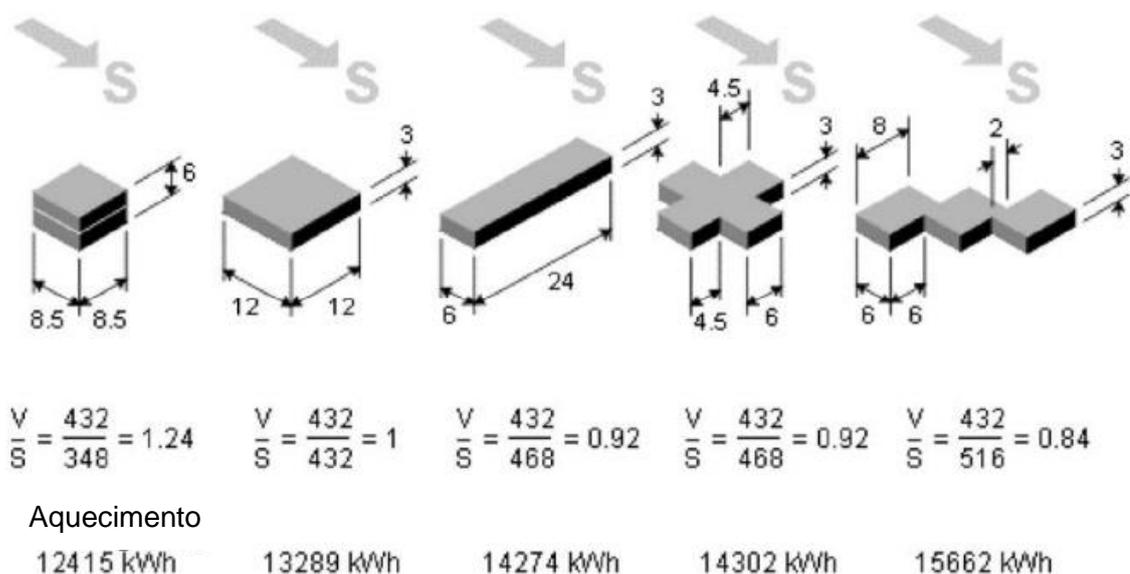
elétrica. As condições de habitat podem ser melhoradas através do próprio desenho arquitetônico, sem outras apreciações além das que dizem respeito ao lugar, clima, às orientações, à insolação e, só depois, deve-se recorrer a sistemas tecnológicos (CUNHA, et al., 2006).

A forma deve ser definida de acordo com a orientação disponível, pois estas variáveis influenciam diretamente nos fluxos de ar no interior e no exterior dos edifícios, como também na quantidade de luz e calor que será absorvida nas fachadas em cada uma das estações do ano (MASCARÓ, 1985).

De acordo com Pedrini e Lamberts (2003), em climas quentes, o uso da forma está diretamente associado às características da envoltória. O edifício pode demonstrar um melhor desempenho em climas quentes adotando uma forma alongada se soluções arquitetônicas adequadas forem utilizadas. Quando não existem soluções que reduzam as cargas térmicas, perceberam que uma forma cúbica preserva a edificação de uma maior exposição às condicionantes ambientais.

Conforme, Gratia e Herde (2001) como as perdas de calor são proporcionais à área de envoltória da edificação, quanto mais compacta a forma da edificação, menores as perdas de calor da edificação, de acordo com a Figura 1. Sendo a compactidade expressada pela razão de superfície externa da edificação sobre o volume.

Figura 1: O impacto da forma da edificação na carga de aquecimento



Fonte: Gratia e Herde, 2001, p.478.

No caso do RTQ-C, a avaliação feita através de método prescritivo, apresenta duas equações por zona bioclimática, uma para edificações com área de projeção menor que 500m², e com Fator de Forma Máximo, e outra para edificação maior que 500m², e com Fator de Forma Mínimo. O Fator Forma é determinado pela razão entre a área de envoltória e o volume total da edificação. Sendo assim, cada zona bioclimática possui um Fator de Forma limite (INMETRO, 2010).

Em relação à envoltória, os fechamentos opacos são considerados as paredes e coberturas, enquanto os fechamentos transparentes são janelas e iluminação zenital. As trocas térmicas que o ambiente interno faz com o externo ocorrem através dos fechamentos, que podem facilitar ou dificultar a passagem de calor de acordo com as características dos seus componentes. As características da envoltória que podem interferir nas trocas de calor do ambiente da edificação são as cores, as propriedades térmicas dos materiais da envoltória e o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior.

As cores das fachadas externas interferem na absorção de calor devido a sua absorvância. De acordo com a NBR 15220 Desempenho térmico de edificações, parte 1 (ABNT, 2005), a absorvância à radiação solar pode ser definida como “o quociente de taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”. A absorvância do envelope determina qual fração da radiação solar que chega ao edifício é realmente absorvida por seu envelope afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas e qual fração é refletida (SANTOS; DORNELLES; SOUZA, 2010). As cores claras, como brancas e amarelas claras, apresentam baixa absorvância, isto é, refletem grande parte da radiação que chega até elas. Já as cores escuras, demonstram um comportamento contrário, que absorvem grande parte da radiação (LAMBERTS et al., 2014).

Entre as propriedades térmicas dos materiais da envoltória que interferem no fluxo de calor da edificação, encontram-se a inércia térmica e a transmitância térmica. Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima à variação da temperatura externa. Quanto maior a variação da radiação solar, temperatura externa e/ou ganhos de calor, maior a necessidade de utilizar materiais com elevada inércia térmica (PAPST, 1999).

Segundo a norma NBR 15.220, parte 1, “a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total, podendo ser compreendida como a propriedade do componente que permite a passagem de calor”. Quando não se deseja o fluxo de calor entre a edificação e o meio externo, devem-se utilizar materiais isolantes térmicos, diminuindo a transmitância térmica. Segundo Melo (2007), a propriedade mais determinante dos materiais utilizados como isolantes térmicos é a condutividade térmica, que em conjunto com a espessura da parede deve resultar em uma elevada resistência térmica. Entre os materiais mais aplicados como isolantes térmicos nas edificações encontram-se as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, a vermiculita expandida ou perlita em grânulos e os flocos de lãs minerais (VITTORINO et al., 2003). De acordo com Melo (2007), a utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação para diminuir a transmitância térmica não garante uma edificação mais eficiente, parâmetros como absorvância dos componentes opacos, a carga interna e padrão de uso devem ser analisados de forma integrada.

2.1.3. Equipamentos e Sistemas

Segundo Westphal (2002), em edifícios de escritórios, o uso final da energia elétrica divide-se basicamente em iluminação, condicionamento de ar e outros equipamentos. Quanto à iluminação, Signor (1999) descreve que o primeiro fator que deve ser lembrado é o nível de iluminação. Para se obter a iluminação adequada, existem várias opções de lâmpadas, algumas mais eficientes que outras. Em ambientes internos, as lâmpadas fluorescentes compactas, apresentam melhor eficiência luminosa que as incandescentes, consumindo menos energia. As lâmpadas do tipo LED (*Light Emitting Diode*) também são uma opção de baixo consumo de energia, mas estas ainda possuem preços maiores que as demais (BASTOS, 2011).

Com objetivo de reduzir o consumo de energia de iluminação, mantendo um alto nível de iluminação, foram desenvolvidos sistemas de controle de iluminação que buscam a integração da iluminação artificial e natural. Segundo Galasiu et al. (2007), a combinação dos três controles, de presença, integrado com a luz natural e um *dimmer* individual acessado pelo usuário pode reduzir a demanda de potência

em horário de pico entre 67% e 69% em relação a um sistema convencional de iluminação.

Em relação ao aproveitamento da luz natural e aos controles de iluminação, o RTQ-C considera esses elementos pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação. O aproveitamento da luz natural deve ocorrer em ambientes com aberturas voltadas para o ambiente externo ou para átrio não coberto e que possuem luminárias distribuídas em mais de uma fileira paralela às aberturas, e devem apresentar um controle instalado, manual ou automático, o qual permita o acionamento de forma independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura, integrando desta maneira a iluminação natural com a artificial (INMETRO, 2010).

Quanto ao controle de iluminação o RTQ-C, estabelece que ambientes maiores que 250m² devem possuir um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. Este dispositivo pode ser um sensor de presença ou um sistema automático que permita o desligamento da iluminação em horário pré estabelecido (INMETRO, 2010).

Para a avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação de uma edificação, o regulamento estabelece dois métodos: o método das áreas ou das atividades. No método das áreas, o edifício é analisado de forma conjunta (todos os ambientes) e atribui um único valor limite da densidade de potência de iluminação (DPIL – W/m²) para a avaliação do sistema de iluminação. Nesse caso, o edifício deve ter no máximo 3 atividades principais ou que ocupem mais de 30% da área construída. Já no método das atividades, os ambientes são avaliados separadamente e pode ser aplicado onde o método anterior não se aplica (INMETRO, 2010).

Em relação aos sistemas de condicionamento de ar, Westphal (2002) afirma que o consumo de energia elétrica é influenciado por diversas variáveis. Como padrão de uso, ocupação, carga instalada de um prédio, além de fatores ambientais como localização da edificação. Para não haver um desperdício de energia elétrica, os sistemas de ar condicionado devem ser dimensionados e projetados de acordo com a carga térmica da edificação. Segundo Hensen e Lamberts (2011), a carga térmica é a quantidade de calor que deve ser removida ou adicionada para manter uma temperatura constante. Para definir a capacidade do sistema de

condicionamento de ar, devem ser observadas as condições específicas de temperatura e umidade do ar a serem mantidas, além de um levantamento das características arquitetônicas da edificação (área das superfícies e tipo de material), bem como das dissipações internas (iluminação, equipamentos e número e pessoas) (SILVA; SOUZA, 2013).

No Brasil, a portaria interministerial N°364, de 24 de dezembro de 2007 aprovou a regulamentação específica definindo os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar. Desde então, todos os equipamentos de ar condicionado *split* e janela, produzidos e importados no país, devem ser submetidos ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para obter a autorização de comercialização, segundo os índices mínimos de eficiência energética definidos pela regulamentação específica. De acordo com o regulamento específico, o índice de eficiência energética a ser utilizado é o coeficiente de performance (COP) calculado pela razão entre a capacidade total de refrigeração (expressa em Watts) e a potência elétrica demandada (expressa em Watts) (BRASIL, 2007).

No RTQ-C, para a classificação do nível de eficiência de edifícios condicionados artificialmente é obrigatório que os sistemas de condicionamento de ar possuam a eficiência conhecida. Os condicionadores de ar do tipo janela e *split* devem apresentar a etiqueta do INMETRO. Para os equipamentos não etiquetados pelo INMETRO, o regulamento possui uma metodologia específica para a definição dos níveis de eficiência, onde o coeficiente de desempenho deve enquadrar o equipamento dentro dos limites aceitáveis de acordo com o tipo de equipamento e capacidade (INMETRO, 2010).

2.2. Normas e regulamentações de eficiência energética e desempenho térmico

No Brasil, os primeiros programas governamentais e legislações específicas que buscavam a eficiência energética, surgiram na década de 1980 com a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). O PBE tem como objetivo informar os consumidores sobre o desempenho dos produtos, considerando condições como a eficiência energética, o ruído e outros critérios. O PROCEL possui o objetivo de promover a racionalização do consumo de energia elétrica para combater o

desperdício e diminuir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética (PROCEL, 2015).

Em 2001, o Brasil enfrentou uma crise no setor energético e a atenção da população se voltou para este problema. Nesta ocasião, o governo teve que buscar medidas mais eficazes vinculadas à racionalização do consumo de energia elétrica. O primeiro passo foi à publicação da Lei 10.295, em 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001b), a qual determina que os equipamentos consumidores de energia produzidos no país, ou importados, bem com as edificações construídas no país deveram atender a requisitos mínimos de eficiência energética. Em dezembro do mesmo ano, foi publicado o Decreto n° 4.059 que regulamentou a Lei n° 10.295, estabelecendo que o Ministério de Minas e Energia administrasse as atividades para determinação dos níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos por equipamentos. O decreto também estabeleceu a criação do Grupo de Trabalho Edificações, o qual apresentou uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica no país (BRASIL, 2001a).

Depois de alguns anos de discussão e de trabalhos, o INMETRO publicou o RTQ-C, em 2009, e, em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Como esse trabalho trata de análise de eficiência energética em edifícios de escritório, foi feita uma avaliação detalhada apenas do RTQ-C, conforme tratado a seguir.

2.2.1. RTQ-C

O RTQ-C tem como objetivo desenvolver condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, discriminando os requisitos técnicos a serem avaliados e os métodos para classificação de edificações quanto à eficiência energética para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE pode ser concedida em duas fases, para o projeto e para o edifício construído avaliado através de inspeção in loco após a conclusão da execução do projeto (INMETRO, 2010).

A avaliação do projeto pode ser realizada através de dois métodos, o método prescritivo, que é um método simplificado, ou o método de simulação. O método prescritivo foi desenvolvido através da utilização do método estatístico de

regressão linear múltipla, para isso foram utilizados os dados de consumo de energia fornecidos pela simulação de diferentes edificações comerciais (CARLO, 2008). De acordo com Melo (2012), os métodos simplificados em geral estabelecem poucos dados de entrada e são desenvolvidos usando diversas suposições quanto ao clima, padrões de uso e tipo de construções, podendo envolver uma dúvida considerável em seus resultados, comprometendo o processo de certificação dos edifícios.

Para classificação do nível de eficiência da edificação observando o método prescritivo, o RTQ-C avalia três sistemas individuais: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar, considerando pesos de 30%, 30% e 40%, respectivamente. Pode ser concedida uma etiqueta parcial (envoltória, envoltória e iluminação, envoltória e condicionamento de ar) ou geral para o edifício, onde são avaliados os três sistemas, resultando em uma classificação final. A classificação varia sempre de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (INMETRO, 2010). Na avaliação, são calculados os equivalentes numéricos para envoltória, iluminação e ar condicionado, considerando ambientes condicionados artificialmente, para áreas de permanência prolongada. O indicador de consumo da envoltória (ICenv) é encontrado através de equações que são determinadas de acordo com a zona bioclimática onde localiza-se o projeto. Para cada uma dessas zonas há duas diferentes equações, uma para edifícios com área de projeção (Ape) menor que 500m² e outra para edifícios com área de projeção maior que 500m² (INMETRO, 2010).

Nestas equações são consideradas variáveis como o Fator Altura (área de projeção da cobertura/área total construída), Fator Forma (área da envoltória/volume do edifício) do projeto, o Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT), o Fator Solar dos vidros e Ângulos de sombreamento Verticais e Horizontais. A análise da envoltória também apresenta pré-requisitos específicos como transmitância térmica e absorvância solar de coberturas e paredes externas, com limites para cada nível de acordo com as zonas bioclimáticas (INMETRO, 2010).

Para a classificação geral da edificação, ainda deve-se calcular o equivalente numérico do sistema de iluminação (EqNumDPI) e o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar (EqNumCA). Conforme já mencionado, a avaliação do sistema de iluminação pode ser feita através de dois

métodos: método da área do edifício e método das atividades. Na análise do sistema de condicionamento de ar, os sistemas regulamentados pelo INMETRO, possuem o nível de eficiência conhecido. Quando o sistema não é regulamentado pelo INMETRO, o RTQ-C avalia as especificações dos diferentes componentes do sistema e COP (coeficiente de performance) para determinar o nível de eficiência. Os sistemas de iluminação e o sistema de condicionamento de ar também possuem pré-requisitos específicos que devem ser atendidos (INMETRO, 2010).

Após conhecer os equivalentes numéricos de cada sistema individual, deve-se calcular a pontuação total, que define a classificação geral de edificação. Também é necessário atender os pré-requisitos gerais, além disso, a classificação considera possíveis bonificações (INMETRO, 2010).

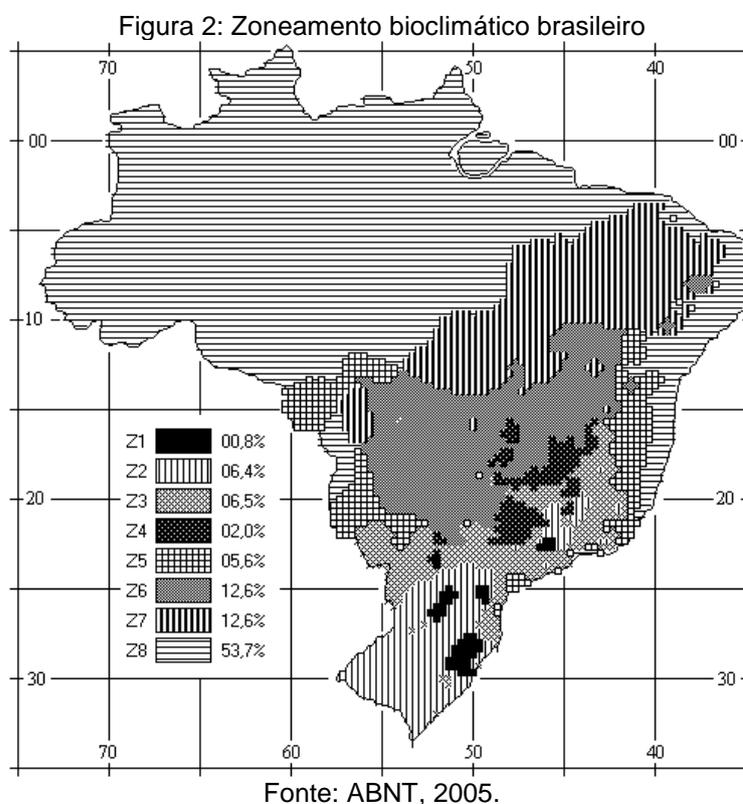
No método de simulação a análise da eficiência energética da edificação é realizada através de programas de simulação computacional. Esse método é aplicado para edifícios condicionados artificialmente, para edifícios ventilados naturalmente e para edifícios com ambientes condicionados artificialmente e ambientes ventilados naturalmente. Em edifícios condicionados artificialmente, a avaliação é feita através da comparação do consumo de energia anual entre o edifício real e um edifício de referência, o qual apresenta as características de acordo com o nível de eficiência pretendido. Já nas edificações ventiladas naturalmente é necessário comprovar, através da simulação, que o ambiente está adequado às temperaturas de conforto durante um percentual de horas ocupadas (INMETRO, 2010).

A etiquetagem tem caráter voluntário, mas é esperado que dentro de alguns anos ela torne-se obrigatória. No caso das edificações públicas federais, foi publicado no dia 5 de Junho de 2014, no Diário Oficial, a Instrução Normativa que torna obrigatório que os projetos e a construção de novas edificações públicas federais se desenvolvam visando à obtenção da ENCE Geral de Projeto Nível A. A instrução dispensa as edificações cujo valor da obra seja inferior ao equivalente ao Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB Médio Brasil) atualizado aplicado a uma edificação de 500m² ou edificações com até 500m² de área construída. Nas obras de *retrofit* deve-se obter a ENCE Parcial dos sistemas individuais de iluminação e de condicionamento de ar (BRASIL, 2014).

2.2.2. NBR 15.220 – parte 3

A criação de normas de avaliação de desempenho térmico no Brasil teve início em 2005, com a consolidação da NBR 15.220, para avaliação do desempenho térmico de interesse social e avançou com a NBR 15.575, Edificações habitações – Desempenho, publicada em 2013. Como o foco principal deste trabalho, não é desempenho térmico, foi revisada somente a NBR 15.220-3 por conter o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2005)

De acordo com Roriz (2012), o zoneamento bioclimático brasileiro foi elaborado com base nas normais climatológicas de 330 municípios, com a interpolação de dados climáticos do resto do território nacional. Desta forma, as cidades brasileiras foram divididas em oito zonas bioclimáticas, conforme Figura 2. Para cada uma delas, a norma apresenta um conjunto de recomendações e estratégias construtivas que tiveram como base Givoni (1991). Cabe ressaltar que as recomendações e estratégias são destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.



Na zona bioclimática 1 (ZB 1), estão localizadas as cidades como por exemplo, Bom Jesus, no Rio Grande do Sul, Curitiba, no Paraná e Campos do Jordão, em São Paulo (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 2 (ZB 2), encontram-se cidades como Santa Maria e Pelotas, no Rio Grande do Sul, e Laguna, em Santa Catarina (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 3 (ZB 3), estão localizadas as cidades de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul e Belo Horizonte, em Minas Gerais (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 4 (ZB 4), encontram-se cidades de clima seco, como Brasília (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 5 (ZB 5), estão localizadas, cidades como Vitória da Conquista, na Bahia, e Governador Valadares, em Minas Gerais (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 6 (ZB 6), localiza-se cidades como Goiânia, em Goiás e Catanduva, em São Paulo (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 7 (ZB 7), estão localizadas cidades como Campo Grande, no Mato Grosso e Teresina no Piauí (ABNT, 2005).

Na zona bioclimática 8 (ZB 8), estão localizadas cidades como Fortaleza, no Ceará, e Natal, no Rio Grande do Norte (ABNT, 2005).

2.3. Simulação de desempenho termoenergético de edificações

Segundo Mendes et al. (2005), a avaliação do desempenho energético de edificações compreende uma série de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares, tornando-se uma tarefa complexa. Sendo assim, torna-se fundamental a presença do computador, pois permite a simulação de diferentes cenários, para analisar o comportamento térmico e energético de edificações. Conforme Hensen e Lamberts (2011), a simulação computacional normalmente é baseada em métodos numéricos que visam proporcionar uma solução aproximada da complexidade real, com uma abordagem multidisciplinar, ampla e direcionada ao problema. A simulação de desempenho termoenergético pode ser compreendida como “modelos matemáticos detalhados para previsão de alguns aspectos do desempenho de edificações” (HAVES, 2004 *apud* CARLO, 2008).

Através de simulações termoenergéticas, pode-se conhecer o comportamento de cada elemento construtivo e também tratar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de condicionamento e de iluminação, solucionando de

forma mais adequada às condicionantes do clima e da função do edifício (LAMBERTS et al., 2014).

De acordo com Mendes et al. (2005), os programas de simulação possibilitam a avaliação do desempenho térmico e energético de edificações, para variadas soluções de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Através da simulação computacional, é possível estimar o consumo de energia e o custo desse consumo, antes mesmo da execução do projeto. Neste sentido, Westphal (2007) afirma que através da simulação computacional, os benefícios de determinada alternativa de projeto, podem ser quantificados, em fase de projeto, evitando os custos de execução de uma proposta que possa não ter o retorno econômico desejado.

As primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas na década de 1970, nos Estados Unidos da América. Em 1996, a agência de energia dos EUA (US DOE), começou a desenvolver uma nova ferramenta de simulação de energia para edificações, *EnergyPlus*, baseando-se na união de dois programas já existentes o DOE-2 e o BLAST. O programa EnergyPlus pode ser considerado uma referência na nova era de programas, pois permite a integração de módulos desenvolvidos independentemente, sendo capaz de estimar trocas térmicas, consumo energético, níveis de iluminação e o fluxo de ar em diferentes zonas térmicas (CRAWLEY et al., 2001).

Atualmente, o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos da América mantém um diretório de ferramentas de programas energéticos para edificações que reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis. Neste diretório, estão cadastrados 417 programas computacionais, desenvolvidos para avaliar a eficiência energética, energia renovável e sustentabilidade em edifícios (US DOE, 2015).

No Brasil, um dos programas de simulação que está sendo desenvolvido é o Domus. Esse programa foi criado pela PUC (Pontifícia Universidade Católica) do Paraná, em parceria com a Eletrobrás. Ele permite a simulação higratérmica e energética de edificações, fornecendo perfis de temperatura e umidade para qualquer intervalo de tempo, além de apresentar valores de temperatura e umidade relativa para cada zona da edificação. Também possibilita a avaliação da eficiência

energética conforme os métodos prescritivo e de simulação do RTQ-C, sendo um importante instrumento de auxílio no desenvolvimento do programa brasileiro de Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações (DOMUS, 2013).

Segundo Mendes et al. (2005), o uso de ferramentas computacionais é muito complexo, tornando-se pouco viável na prática dos escritórios de arquitetura, sendo assim centros de pesquisas de universidades e institutos apresentam uma maior utilização da simulação computacional.

Para executar a simulação de forma precisa, é necessário informar uma grande quantidade de dados de entrada, conforme Westphal (2007),

Na maioria das vezes, o usuário não sabe qual a importância de cada fonte de calor no balanço energético global da edificação e pode dedicar-se por muito tempo na definição de parâmetros menos relevantes. O desenvolvimento de uma análise de sensibilidade sobre os dados de entrada poderia viabilizar a identificação de tais variáveis durante as fases iniciais da modelagem. (Westphal, 2007, p. 43).

Westphal (2007) estabeleceu uma metodologia de apoio ao processo de calibração. A calibração de modelos computacionais tem sido desenvolvida com a intenção de minimizar a complexidade da simulação computacional, assim o usuário procura ajustar os dados de entrada do seu modelo para obter uma representação adequada do comportamento energético da edificação em análise. No trabalho, foi possível identificar que, para um modelo base de edifícios de escritório, os parâmetros de densidade de cargas internas, os padrões de uso e o coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar foram os parâmetros de maior impacto no consumo de energia.

2.4. Edifícios de escritório e a densidade de carga interna

O consumo de energia em edifícios de escritório é dominado por aquecimento, equipamentos elétricos, refrigeração e iluminação. Nos últimos anos, devido ao uso extensivo de sistema de ar condicionado e de equipamentos de escritório (aparelhos eletrônicos e computadores), observou-se um constante aumento no consumo de energia (BOYANO, HERNANDEZ; WOLF, 2013).

De acordo com Westphal (2002), nos edifícios com uso característico de escritório (públicos e comerciais), o aumento no consumo de eletricidade tem sido

provocado especialmente pela inclusão de novos microcomputadores. Além do próprio consumo de eletricidade, esses equipamentos acarretam no aumento da geração interna de calor da edificação, e por consequência, um aumento no consumo do sistema de condicionamento de ar.

A respeito disso, Keeler e Burke (2010) relatam que as edificações não habitacionais apresentam um número maior de usuários do que as edificações habitacionais. As pessoas geram calor, aumentando a carga de refrigeração variável dos ambientes. As edificações não habitacionais possuem um número maior de equipamentos eletrônicos. Tais aparelhos emitem calor, aumentando a carga de refrigeração sensível. O calor gerado internamente pelo grande número de usuários, equipamentos e lâmpadas elétricas acaba resultando na necessidade de resfriar parte ou toda edificação até mesmo em locais onde as temperaturas externas são baixas.

De acordo a ASHRAE (2009), nos Estados Unidos, os novos edifícios apresentam uma melhora nos materiais utilizados na envoltória, em resposta aos regulamentos de energia mais restritivos. Aliado ao aumento de ganho de calor interno, pelo uso de computadores e a densidade de ocupação, contribuem de forma decisiva na carga de resfriamento da edificação.

A soma da densidade de carga de equipamentos, da quantidade de pessoas e a quantidade de potência de iluminação resultam na densidade de carga interna. A ASHRAE (2009), classifica os escritórios em quatro níveis em relação à densidade de carga de equipamentos, conforme a Tabela 1 a seguir. A NBR 16.401, que trata de sistemas centrais e unitários para projetos das instalações, também utiliza esta classificação, e são esse os valores de referência para densidade de equipamentos utilizados nesse trabalho (ABNT, 2008).

Tabela 1: Densidade típica de carga de equipamentos para diversos tipos de escritórios.

Tipo de carga	Densidade W/m ²	Descrição do escritório Assumido:
Leve	5,4	15,5 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada posto de trabalho, mais impressora e fax. Fator de diversidade ¹ de 0,67, exceto 0,33 para impressoras.
Média	10,8	11,6 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada posto de trabalho, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras.
Média/alta	16,1	9,3 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada posto de trabalho, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras.
Alta	21,5	7,8 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada posto de trabalho, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 1,0, exceto 0,50 para impressoras.

Fonte: adaptado de ASHRAE (2009)

A quantidade de calor emitida por usuários em edifícios de escritórios está relacionada com a taxa metabólica (que depende do sexo, idade e atividade física que está sendo exercida), da quantidade de pessoas e da agenda de ocupação. Quanto à quantidade de calor sensível e latente emitidos por seres humanos, a ASHRAE (2009) estabelece, para uma atividade de escritório moderada, que uma pessoa emitiria uma quantidade de calor de 130 W. Quanto a densidade de potência de iluminação, ganho de calor por iluminação por metro quadrado, a ASHRAE (2009) determina o valor máximo de 12W/m² para ambientes de escritório. Para este trabalho, os valores referentes à potência de iluminação seguem as recomendações do RTQ-C, o qual estabelece valores máximos de potência de iluminação de acordo com o nível de eficiência pretendido. Neste trabalho, o valor adotado é de 9,7W/m², referente ao nível A de eficiência energética, pelo método da área do edifício do RTQ-C.

¹ Relação entre a máxima soma, em qualquer instante, das correntes consumidas pelos circuitos principais envolvidos e a soma das correntes nominais de todos circuitos principais do conjunto.

Para melhor compreensão dos valores de carga interna de equipamento utilizadas neste trabalho, foi realizado um levantamento em um departamento da Universidade Federal de Pelotas com objetivo de quantificar a densidade de carga interna de equipamentos e de pessoas e comparar com os valores utilizados na pesquisa. O levantamento foi realizado na sala da Pró Reitoria de Extensão localizada no Campus Anlgo, as Figuras 3 e 4 a seguir ilustram o local.

Figura 3: Sala Pró Reitoria de Extensão



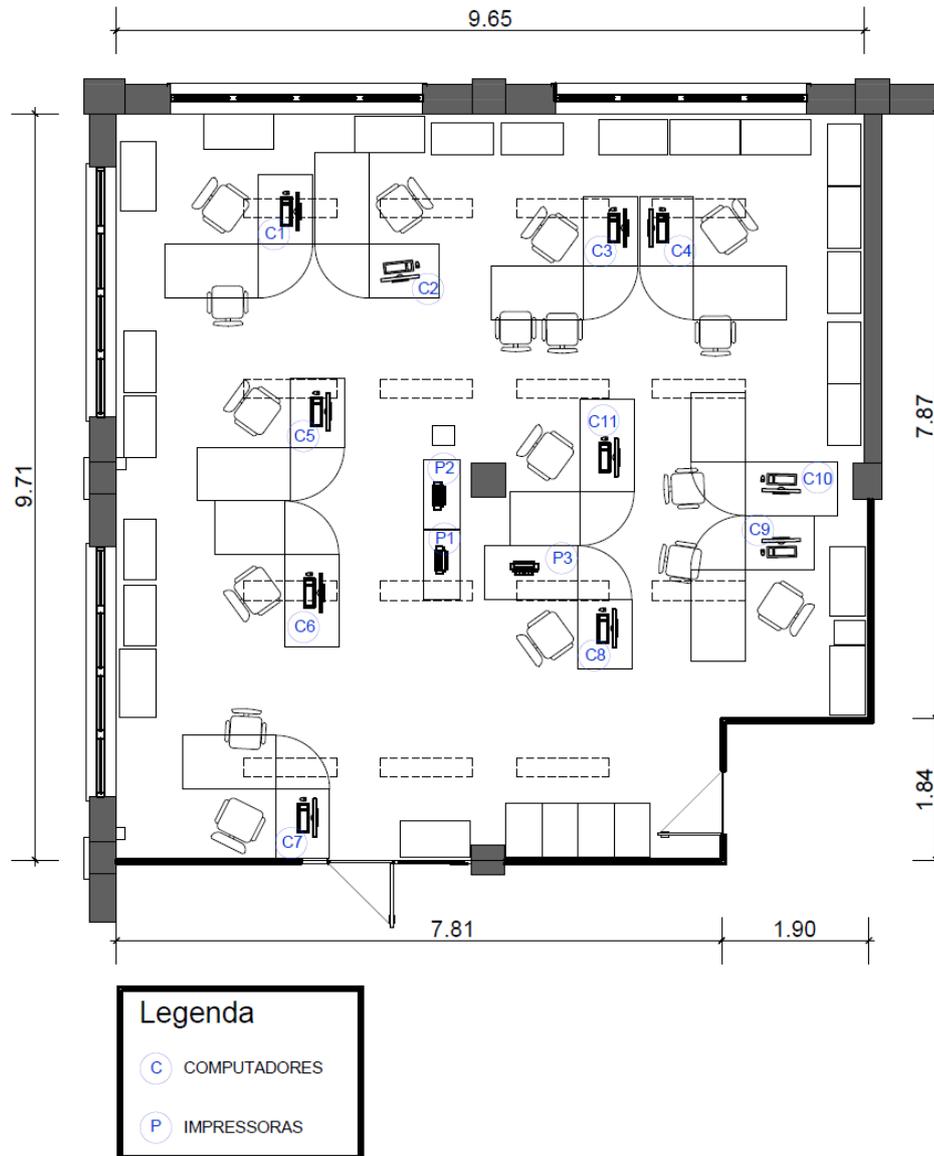
Figura 4: Sala Pró Reitoria de Extensão



Foram criados 3 cenários, primeiro o cenário real como a sala é utilizada, o segundo cenário com o aumento da densidade de carga interna e o terceiro cenário a carga interna de equipamentos e pessoas foi reduzida.

A sala analisada tem uma área de 90,42m², trabalham 11 funcionários e possui 11 computadores, duas impressoras multifuncionais e uma impressora a laser. A Figura 5 a seguir apresenta a planta baixa da sala com os equipamentos.

Figura 5: Planta baixa sala Pró Reitoria de Extensão – cenário 1 (existente)



Para calcular a densidade de carga interna de equipamentos e pessoas, foram adotados os valores da ASHRAE (2009). A norma orienta que em uma atividade de escritório moderada, uma pessoa emite uma quantidade de calor de 130W. Em relação aos equipamentos, foram adotados os valores nominais para computadores e impressoras. A ASHRAE considera que, para equipamentos de escritório com valor nominal inferior a 1.000 W, a taxa real de ganho de calor varia em 25% a 50% do valor nominal. No trabalho foi adotado 25% do valor nominal. Também foi considerado no cálculo o fator diversidade que é a relação entre a máxima soma, em qualquer instante, das correntes consumidas pelos circuitos principais envolvidos e a soma das correntes nominais de todos circuitos principais

do conjunto. Na Tabela 2 seguir são apresentados os valores utilizados para o cálculo da carga interna de equipamentos e pessoas nos três cenários avaliados.

Tabela 2: Valores utilizados no cálculo da DCI

Carga interna	Quantidade			Consumo de energia nominal (W)			Densidade de equipamento (W)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Computador Desktop	11	11	6	690	690	690	1.423	1.423	693,45
Monitor	11	11	6	240	240	240	495	495	241,20
Copiadoras/ impressoras	2	11	2	600	600	600	150	825	150
Impressora Laser	1	-	-	430	-	-	53,75	-	-
Pessoas	11	11	6	-	-	-	1.430	1.430	780
Total							3.551,75	4.173	1864,65
Área							90,42	90,42	90,42
Total DCI equi./Área							39,28W/m ²	46,15W/m ²	20,62W/m ²

Legenda: C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2 e C3 – Cenário 3.

No primeiro cenário avaliado, conforme o existente, o total de carga interna (pessoas mais equipamentos) encontrado foi de 39,27W/m², sendo que somente para a DCI de equipamentos o valor de 23,46W/m².

No segundo cenário analisado foi considerado, em cada posto de trabalho, um computador e uma impressora, totalizando 11 computadores e 11 impressoras, a quantidade de pessoas foi mantida. Neste caso o valor da DCI de equipamentos foi de 30,33 W/m², e o valor total da DCI de 46,14 W/m², ressaltando que, neste cálculo, não está sendo considerada a densidade de potência de iluminação.

No terceiro cenário observado, a DCI foi reduzida, sendo assim foi considerado 6 computadores, duas impressoras e somente 6 pessoas trabalhando. Neste cenário a DCI de equipamentos encontrada foi de 12,00W/m² apenas 1,00 W/m² acima da DCI média considerada pela ASHRAE (2009) e o total de DCI (pessoas mais equipamentos) foi de 20,62 W/m².

Analisando os três cenários foi possível concluir que o cenário 1, conforme o existente, apresenta uma DCI de equipamento aproximado do que a Norma ASHRAE (2009) considera alta (21,5 W/m²), porém um pouco maior. Já o Cenário 3 se aproximou da densidade de equipamento considerada média pela norma ASHRAE (2009). Com este estudo foi possível perceber que os valores de DCI utilizada na pesquisa estão próximos do valores existente em um ambiente real.

2.5 Dados climáticos das cidades analisadas

Com objetivo de compreender os climas das cidades analisadas, para poder avaliar as necessidades de aquecimento e resfriamento, e a utilização do isolamento térmico nas edificações foi realizado um estudo dos dados climáticos das cidades analisadas. Primeiro foi observado dados das normais climatológicas e após foi feita uma análise de conforto adaptativo.

De acordo com a organização Meteorológica Mundial (OMM), as normais climatológicas são obtidas através do cálculo das médias de elementos meteorológicos. O valor médio correspondente a um número de anos deve ser suficientemente longo para se admitir que ele represente o valor predominante daquele elemento no local considerado. Segundo a OMM, essas médias correspondem a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990. No Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a realizada de forma sistemática. O primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960. Como a OMM preconiza que as normais climatológicas sejam calculadas em períodos consecutivos padronizados de 30 anos, e não períodos intercalados como de 1971 a 2000, as normais climatológicas apresentadas neste trabalho são dos anos de 1961 a 1990. Esses dados são do Instituto Nacional de Meteorologia e estão disponíveis pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. A Tabela 3, a seguir apresenta as temperaturas média das máximas, média das médias e média das mínimas e também a média anual da umidade relativa das três cidade estudadas.

Tabela 3: Normais Climatológicas

Cidades	Temperaturas			Média anual umidade relativa
	Média das Máximas	Média das Médias	Média das Mínimas	
Curitiba (ZB1)	22,70°C	16,50°C	12,30°C	80,00%
Brasília (ZB4)	26,60°C	21,20°C	16,10°C	67,00%
Cuiabá (ZB7)	32,50°C	25,60°C	20,60°C	73,10%

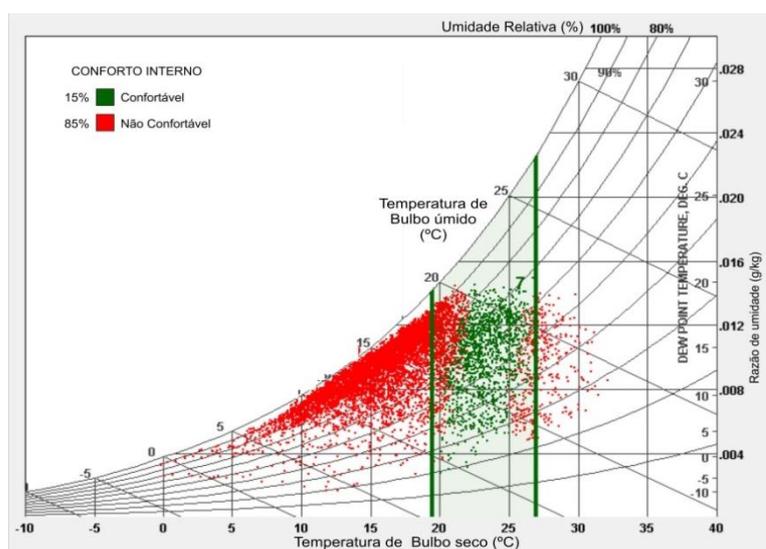
Ao avaliar as normais climatológicas em relação as médias das temperaturas e da média anual da umidade relativa é possível observar diferenças significativas nas cidades analisadas. A cidade de Curitiba apresenta a média das mínimas mais baixa em relação às outras cidades e a umidade relativa mais elevada. A umidade relativa quanto muito alta, causa dificuldade em evaporar o

suor, aumentando a sensação de desconforto térmico (LAMBERTS et al., 2014). Já a cidade de Brasília demonstra uma umidade relativa mais baixa comparada as outras cidades e as temperaturas variam entre 16°C e 27°C, por apresentar o ar mais seco os dias tende a ser mais quentes e as noites frias. A cidade de Cuiabá é a que apresenta as temperaturas mais elevadas, sendo a média das mínimas 20,60°C e a média da umidade relativa é de 73,10%.

Para uma melhor compreensão do clima das cidades analisadas, foi realizada uma carta bioclimática com os mesmos arquivos EPW utilizados nas simulações. Foi feita uma análise de conforto adaptativo de acordo com a norma ASHRAE 55 (2010), para isso foi utilizado o programa Climate Consultant 6.0. A norma ASHRAE 55 (2010) adota o princípio adaptativo para ambientes ventilados naturalmente, este método considera que os ocupantes podem adaptar-se as condições térmicas. A temperatura operativa é considerada indicadora de conforto, e é estabelecida uma temperatura de conforto (temperatura neutra). A norma define faixas de conforto em relação à temperatura neutra, para índices de 90% e 80% de pessoas com aceitabilidade às temperaturas de conforto estabelecidas.

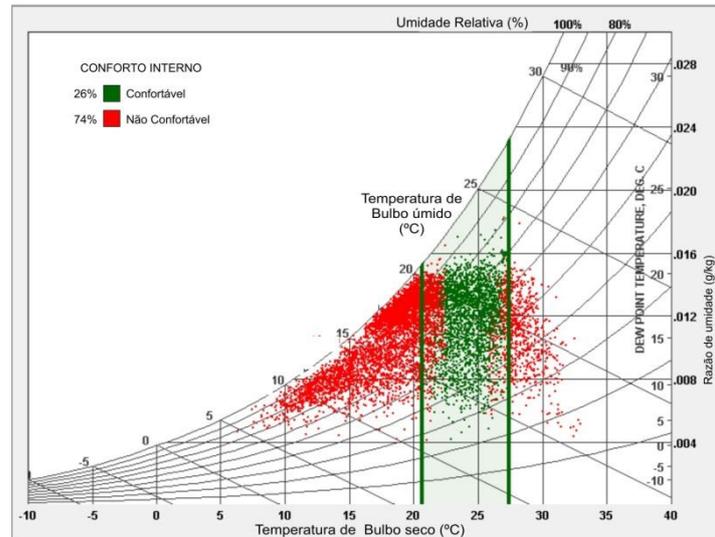
Para a cidade de Curitiba 15% das horas do ano encontram-se em conforto, enquanto que 85% não encontram-se em conforto. Grande parte do desconforto é causada pelas baixas temperaturas (abaixo de 20°C) e pela alta umidade relativa (acima de 80%), conforme Figura 6.

Figura 6: Carta Bioclimática cidade de Curitiba (ZB1)



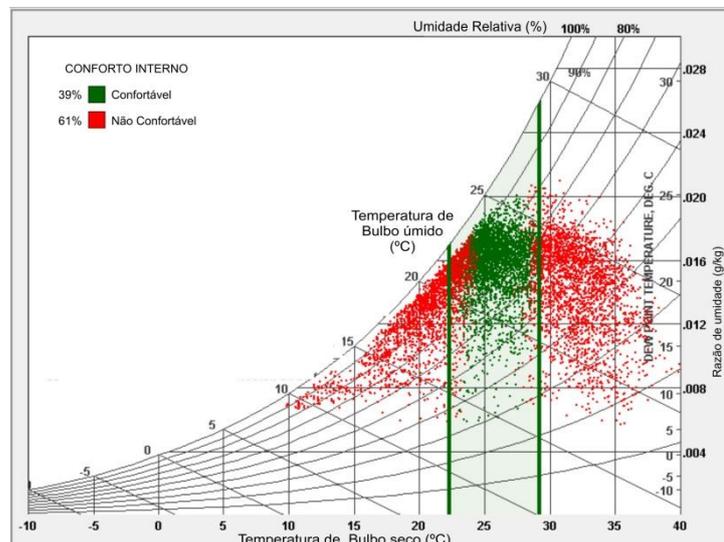
Já para a cidade de Brasília foi possível observar que zona de conforto obteve as temperaturas aproximadamente entre 20°C e 27°C. Sendo que 26% das horas do ano obtiveram conforto e 74% das horas do ano apresentaram desconforto. A maior parte do desconforto foi causada por apresentar a temperatura abaixo dos 21°C e a umidade relativa abaixo dos 80%, Figura 7.

Figura 7: Carta Bioclimática cidade Brasília (ZB4)



Para a cidade de Cuiabá foi possível observar que a zona de conforto obteve temperaturas aproximadamente entre 22°C e 29°C. Sendo que 39% das horas do ano demonstraram estar em conforto, enquanto que 61% das horas do ano apresentaram desconforto. Para a cidade de Cuiabá pode-se observar que grande parte do desconforto foi causada pelas altas temperaturas (acima de 29°C) e baixa umidade relativa (abaixo dos 70%), conforme Figura 8.

Figura 8: Carta Bioclimática cidade de Cuiabá (ZB 7)



Ao observar as normais climatológicas e a análise de conforto aditivo, pode-se compreender que as três cidades apresentam diferenças no clima. Sendo que a cidade de Curitiba demonstra uma maior necessidade de estratégias para aquecimento, enquanto que as cidades de Brasília e Cuiabá apresentaram temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, necessitando assim estratégias para resfriamento.

2.6 Trabalhos realizados de eficiência energética em edificações de escritórios

O trabalho realizado por Carlo (2008) teve como objetivo elaborar uma metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações comerciais e institucionais, a partir da qual foi desenvolvido o RTQ-C. O trabalho iniciou a partir de um estudo de campo, no qual foram coletadas características da envoltória como área de janela, tipo de vidro, existência de proteções solares, proporção das menores fachadas em relação às maiores, número de pavimentos e forma das edificações. Este estudo realizou-se em cinco cidades brasileiras, Recife, Salvador, Belo Horizonte, São Paulo e Florianópolis. Foram selecionadas três atividades para formar cinco modelos de edificações: grandes e pequenos escritórios, grandes e pequenas lojas e hotéis.

Com as informações coletadas foi possível observar as características mais comuns para cada atividade e desenvolver modelos representativos. Os modelos representativos foram adaptados para criar protótipos representativos e protótipos ineficientes para avaliar o desempenho energético através do programa EnergyPlus (CARLO, 2008).

Os modelos comerciais representativos sofreram alguns ajustes para se tornarem protótipos de edificações comerciais para simulação computacional. O primeiro ajuste consistiu em alterar o Percentual de Área de Janela na Fachada (PJF), para simplificar a análise, um só PJF foi adotado para todas as fachadas. Em seguida os sistemas de condicionamento de ar também foram alterados, optou-se pelo modelo mais simples, o aparelho de janela. Na Tabela 4 a seguir encontram-se parâmetros dos envoltórios dos protótipos representativos para grandes escritórios (CARLO, 2008).

Tabela 4: Características do envoltório dos protótipos representativos

Atividade	Nº Pav.	PJF _p (%)	FS	AVS (graus)	AHS (graus)	UparP (W/m ² K)	Ucob (W/m ² K)
Grandes escritórios	5	25	0,83	0	0	2,39	1,17

Fonte: adaptado CARLO, 2008, p.95.

As características dos protótipos representativos foram utilizadas para as simulações dos parâmetros globais que são: densidade de carga interna, eficiência do condicionador de ar, orientação da edificação e volumetria. A Tabela 5, a seguir, apresenta os parâmetros utilizados na DCI (CARLO, 2008).

Tabela 5: Parâmetros da DCI

Modelo	DCI original	DCI alternativa
Grande escritório:	18,90 W/m ²	28,90 W/m ²
Pequeno escritório	30,56 W/m ²	20,56 W/m ²

Fonte: adaptado CARLO, 2008, p. 98

A eficiência do condicionador de ar estabelecida foram duas, uma A, que possui um COP para resfriamento de 3,19 W/W e a outra eficiência do condicionador de ar de eficiência G que possui um COP de 1,82 W/W (segundo a classificação do INMETRO no ano de 2005). Quanto à orientação solar, optou-se por avaliar os efeitos das maiores fachadas das edificações na orientação leste e oeste e também na orientação norte e sul (CARLO, 2008).

Para analisar a volumetria, Carlo utilizou-se, da planta do pavimento tipo de três protótipos representativos (grande loja, escritório e pequena loja), alterou-se o número de pavimentos, e as demais características foram uniformizadas: densidade de carga interna, padrão de uso, percentual de área de abertura na fachada, orientação solar, eficiência do condicionador de ar, tipo de vidro e materiais que compõem as paredes e coberturas. As alternativas de volumetrias para o modelo de escritório podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6: Alternativas de volumetrias para o modelo de escritório

Atividade comercial	Número de pavimentos	Dimensões (m)	Pé Direito (m)	Área Total (m ²)	Fator de Forma (Aenv/Vtot)	Fator Altura (Acob/Atot)
Escritório	1	7,5 x 27 x 2,6	2,6	202,5	0,73	1,00
	2	7,5 x 27 x 5,2	2,6	405,0	0,53	0,50
	5	7,5 x 27 x 13,0	2,6	1.012,5	0,42	0,20
	10	7,5 x 27 x 26,0	2,6	2.025,0	0,38	0,10
	15	7,5 x 27 x 39,0	2,6	3.037,5	0,37	0,07
	25	7,5 x 27 x 65,0	2,6	5.062,5	0,36	0,04

Fonte: adaptado CARLO, 2008, p.100.

Para as simulações da envoltória, os protótipos representativos foram utilizados para a criação dos protótipos ineficientes. Após as modificações realizadas nos protótipos representativos, criaram-se protótipos ineficientes. Estes protótipos de envoltória pouco eficientes tiveram características estabelecidas através do levantamento (CARLO, 2008). Desta forma, as características adotadas para protótipos ineficientes ou casos-base de simulação da envoltória para o modelo grandes escritórios estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Características do envoltório do caso-base ineficiente para o modelo Grande escritório

Atividade	Nº Pav.	PJF _p (%)	FS	AVS (graus)	AHS (graus)	UparP (W/m ² K)	Ucob (W/m ² K)
Grandes escritórios	5	80	0,83	0	0	2,39	2,38

Fonte: adaptado CARLO, 2008, p.97.

Nos protótipos ineficientes foram aplicadas Medidas de Conservação de Energia (MCE) para criar opções de envoltória na simulação do consumo de energia elétrica. As MCE são formadas pelas características secundárias, que compõem a envoltória da edificação. Foram definidas a partir das características presentes nos protótipos ineficientes e foram gradativamente alteradas a fim de elevar a eficiência da envoltória das alternativas de simulação. As MCE para o protótipo dos Grandes escritórios estão apresentadas na Tabela 8 (CARLO, 2008).

Tabela 8: Medidas de Conservação de Energia usadas nas simulações enfocando o envoltório.

Atividade	PJFp (%)	FS	AVS (graus)	AHS (graus)	UparP (W/m ² K)	UparL (W/m ² K)	Ucob (W/m ² K)
Grandes escritórios	60	0,61	35	45	1,80	2,25	1,17
	40	0,39	45		1,00	1,20	0,70
	25	0,22			0,50	0,25	

Fonte: adaptado CARLO, 2008, p.110.

As Medidas de Conservação de Energia foram simuladas com melhoramentos gradativos nas alternativas a partir do caso base ineficiente. O processo de simulação é composto por ciclos de simulações contendo cada um cerca de 5 a 6 blocos. Primeiramente, foi simulado em cada bloco todas as MCE, individualmente, junto ao caso base. A cada simulação, o Custo da Energia Conservada (CEC) da MCE é calculado e o menor de todos os CEC de cada bloco é inserido ao caso base, sendo um novo caso a ser adotado no bloco seguinte. Assim, depois de todas as simulações dos blocos necessários, obtém-se uma edificação com um nível de eficiência elevada (CARLO, 2008).

Estas simulações forneceram os dados de consumo de energia que foram utilizados para desenvolvimento da equação de regressão linear multivariada com o objetivo de criar um indicador de eficiência energética da envoltória. Dois grupos de variáveis foram utilizados na equação, as características primárias que consistem nos parâmetros globais analisados e as características secundárias que compõem a envoltória (CARLO, 2008).

A análise das características visando o desenvolvimento de uma equação de regressão multivariada indicou os seguintes parâmetros a serem incluídos: densidade de carga interna, padrão de uso, volumetria, descrita pelos indicadores

Fator de Forma e Fator Altura e Medidas de Conservação de Energia (CARLO, 2008).

Os exemplos mais eficientes destes parâmetros foram utilizados para compor a equação: eficiência A do condicionador de ar de janela e maiores fachadas voltadas a norte e a sul. A transmitância térmica das paredes externas foi excluída devido à complexidade de seus resultados (CARLO, 2008).

Como o objetivo principal é analisar a envoltória, foram padronizados os parâmetros a densidade de carga interna e padrão de uso para 25 W/m² e 11 horas, respectivamente. Além da eficiência do condicionador de ar e orientação solar, como já mencionado (CARLO, 2008).

Como resultado do trabalho Carlo (2008), apresentou duas equações de regressão linear relacionadas à volumetria da edificação. Em relação aos modelos baseados no protótipo representativo dos grandes escritórios, Carlo (2008) conclui que o condicionador de ar apresenta maior impacto no consumo de energia, alcançando a um aumento de 18 kWh/m². Em seguida, a envoltório apresenta um impacto significativo que pode chegar a 14 kWh/m² e a orientação solar da edificação pode acarretar aumentos de apenas 6 kWh/m². Já a DCI demonstra variações no consumo dependendo da densidade utilizada. A partir deste trabalho foi possível observar que o aumento da DCI provocou uma diferença de consumo energético de 42 kWh/m² de um sistema de iluminação eficiente, que gerou uma DCI 18,90 W/m², para um sistema ineficiente, que resultou em uma DCI de 28,90 W/m² (CARLO, 2008).

Melo (2007) realizou uma pesquisa sobre o desempenho energético de edificações comerciais com base na influência da transmitância e da capacidade térmica das paredes externas e coberturas. Foram feitas análises em relação ao consumo de energia elétrica através da simulação computacional. Para isso, foram selecionadas duas tipologias, a tipologia 1 representando um edifício de 5 pavimentos (27m x 7,5m x 2,5m) e área total construída de 1.001m² e a segunda tipologia, uma edificação comercial de 1 pavimento (50m x 50m x 5m) e área total de 2.500m².

Foram realizadas simulações com diferentes combinações dos seguintes parâmetros: área de janela nas fachadas, carga interna instalada; padrões de uso;

absortância externa do envelope; tipo de vidro e infiltração de ar. Na Tabela 9 encontra-se os valores adotados para cada parâmetro.

Tabela 9: Dados de entrada e seus respectivos valores adotados para as simulações.

Parâmetros	Valores adotados
1- Tipologias arquitetônicas	2- tipologias diferentes
2 - Clima	Florianópolis; Curitiba; São Luís
3- Padrão de uso (h/dia)	8; 12
4-Densidade de carga interna instalada (W/m ²)	30; 70
5- Percentual de área de janela nas fachadas (%)	20; 50; 80
6- Fator Solar (FS)	0,87 (claro); 0,58 (refletivo)
7- Absortância das paredes à radiação solar	0,20 (branca); 0,90 (preta)
8- Absortância das coberturas à radiação solar	0,20 (branca); 0,90 (preta)
9- Transmitância térmica das paredes e coberturas (W/m ² K)	1,00; 1,50; 2,00; e 4,00
10- Inércia e isolante térmico	3 paredes com diferentes construções e com a mesma transmitância térmica de 4W/m ² K
11- Infiltração de ar (m ³ /s)	0,3 trocas de ar por hora
12- Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar (W/W)	3,19

Fonte: adaptado MELO, 2007, p.32.

Na tipologia 1, por ser um edifício de 5 pavimentos, há uma maior influência de ganhos solares através das paredes. Melo (2007) optou por variar somente o valor da transmitância térmica das paredes e adotando o valor da transmitância térmica da cobertura igual a 2W/m²K. Já na tipologia 2, de 1 pavimento, adotou um valor de transmitância térmica igual a 2W/m²K para as paredes e alternou o valor da transmitância térmica da cobertura.

Com o objetivo de comparar os valores limites máximos de transmitâncias térmicas das paredes e coberturas para edificações comerciais adotados pela ASHRAE Standard 90.1 para as cidades brasileiras, com os valores utilizados na

pesquisa, Melo (2007) realizou simulações com os valores adotados pela ASHRAE Standard 90.1 (Tabela 10).

Para classificar o clima, a ASHRAE Standard 90.1 baseia-se no cálculo dos graus-dia de aquecimento e resfriamento. Sendo assim, de acordo com o critério térmico estabelecido pela Standard 90.1, para a definição das zonas climáticas, observa-se que o clima de Florianópolis e Curitiba pertencem a zona climática 2 e a cidade de São Luís pertence a zona climática 1.

Tabela 10: Limites da transmitância térmica adotados pela ASHRAE *Standard* 90.1

Cidade brasileira	Zona	Paredes externas		Coberturas	
		Transmitância (W/m ² K)		Transmitância (W/m ² K)	Tipo
		Estrutura em madeira	Massa		
Florianópolis (SC)	2	0,504	3,293	0,369	Metálica
				0,192	Sótão
Curitiba (PR)	2	0,504	3,293	0,369	Metálica
				0,192	Sótão
São Luís (MA)	1	0,504	3,293	0,369	Metálica
				0,192	Sótão

Fonte: adaptado MELO, 2007, p.34.

Observando os resultados, pode-se perceber na tipologia 1, de 5 pavimentos, que a densidade de carga interna alta em conjunto com a baixa absorvância solar das superfícies externas, e o aumento da transmitância térmica da paredes proporcionaram uma redução do consumo energia elétrica para todos os climas avaliados. Já para a tipologia 2, foi possível observar que o aumento da transmitância térmica da cobertura representou um aumento do consumo anual da edificação nos três climas analisados (MELO, 2007).

Com os resultados, foi possível perceber que os limites estabelecidos pela ASHRAE *Standard* 90.1 poderiam ser excedidos. Observa-se que, dependendo das cargas internas e padrão de uso utilizados nas simulações, as paredes externas podem possuir uma transmitância térmica maior que 3,29W/m²K, a qual é adotada pela ASHRAE *Standard* 90.1. Visto que, para os três climas avaliados, o aumento da transmitância térmica da parede auxilia na dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo reduzindo o consumo do sistema de condicionamento de ar (MELO, 2007).

Melo (2012) realizou um trabalho com o objetivo desenvolver um modelo simplificado mais preciso para estimar o consumo de energia de edificações comerciais, a partir de um método estatístico que representasse de uma maneira melhor a relação entre os dados de entrada e saída. Visto que o atual modelo simplificado para a avaliação da envoltória do RTQ-C apresenta as seguintes limitações: não abrange todos os tipos de volumetria, sendo necessário dividir em dois grupos de fator de forma, o parâmetro da transmitância térmica não pode ser inserido na equação, foram observadas diferenças consideráveis entre os níveis de eficiência de edificações com grande volumetria quando analisadas pelos dois métodos do RTQ-C (método prescritivo e método de simulação).

Para desenvolver o novo método, primeiro Melo (2012) avaliou a precisão do modelo simplificado, presente no Método Prescritivo do RTQ-C. Para isto, Melo (2012) adotou diferentes casos BESTEST com base na ASHRAE Standard 140, e comparou os resultados de demanda de energia destes com os valores encontrados adotando o modelo simplificado presente no RTQ-C. Em seguida, foram adotadas quatro diferentes tipologias, localizadas em Florianópolis e também foi realizada uma comparação entre os níveis de eficiência da envoltória para variados tipos de edifícios com base no método prescritivo e no método de simulação do RTQ-C.

Através dos resultados, foi possível observar que, para a maioria dos casos do BESTEST, o modelo simplificado presente no RTQ-C (SMRTQ-C) ultrapassou o limite máximo aceitável do intervalo de confiança em até 60%. Apenas em um caso o resultado do SMRTQ-C apresentou-se inferior em 17% ao limite mínimo aceitável. Um dos fatores que influenciou neste resultado, foi a pequena área de piso do BESTEST, uma vez que o modelo simplificado é normalmente aplicado à edificações mais complexas (MELO, 2012).

Ao avaliar a comparação dos dois métodos do RTQ-C, foi possível observar que, para as 4 tipologias adotadas, o método prescritivo resulta em um nível de eficiência inferior quando comparado ao método de simulação. Pode-se concluir que, o método estatístico de regressão linear múltipla utilizado na criação do modelo simplificado do RTQ-C não capturou de forma adequada a relação entre os dados de entrada e o consumo de energia para edificações comerciais no Brasil (MELO, 2012).

Em seguida Melo (2012), realizou uma comparação entre duas técnicas de modelagem estatística: regressão linear múltipla (utilizada para desenvolver o método prescritivo do RTQ-C) e a redes neurais artificiais. Foram utilizados como base os mesmos dados de entrada e saída adotados pelo modelo simplificado presentes no RTQ-C.

O método da regressão linear múltipla estima o valor provável de uma variável y (variável dependente), com relação aos valores de outras variáveis k (variáveis independentes) que também são denominadas de variáveis explicativas ou repressores, porque esclarecem a variação em y . Porém, a regressão linear não apresenta resultados satisfatórios quando a relação entre os dados de entrada e o de saída não é linear (MELO, 2012).

O método das Redes Neurais Artificiais (RNA) baseia-se no funcionamento do cérebro humano, mais especificamente no modo de comportamento dos neurônios. Os neurônios apresentam dois ou mais receptores de entrada, esses, através de suas conexões com os demais neurônios são responsáveis por analisar e produzir uma saída. São as conexões que determinam quando é possível um nó influenciar o outro. O processo de elaboração de uma rede neural contém as seguintes etapas: organização da base de dados, arquitetura da rede, treinamento e teste do desempenho da rede (MELO, 2012).

A utilização do método estatístico de redes neurais tem apresentado um futuro promissor para resolver problemas com grande grau de complexidade. Este método ajuda no reconhecimento de padrões, adotando uma base de dados (MELO, 2012).

Como resultados da comparação dos dois métodos estatísticos, Melo (2012) notou que o método de redes neurais demonstrou resultados próximos aos resultados de consumo de energia do programa de simulação (EnergyPlus), enquanto que o método estatístico adotado para o desenvolvimento do modelo simplificado do RTQ-C apresentou diferenças significativas.

Na seguinte etapa da pesquisa, Melo (2012) analisou duas técnicas de amostragem, a mudança de somente um parâmetro para cada novo caso e o método Hipercubo Latino (MHL). As duas técnicas foram aplicadas nos casos utilizados para o desenvolvimento do modelo simplificado do RTQ-C.

O RTQ-C foi desenvolvido adotando a técnica de amostragem, a qual altera somente um parâmetro para cada novo caso. Com esta técnica pode-se analisar a influência de cada parâmetro no resultado do dado de saída da simulação, porém, esta técnica não permite identificar a influência da interação de dois ou mais parâmetros em cada simulação (MELO, 2012).

Na técnica de amostragem Hipercubo Latino, são selecionados diferentes valores “n” para cada uma das “k” variáveis adotadas. Cada variável é dividida em 57 intervalos com mesma probabilidade, sendo que de cada intervalo estabelecido é selecionado um valor aleatoriamente. O número de sorteios é diretamente proporcional à probabilidade de cada faixa, os valores obtidos para $nX1$ são combinados de forma aleatória com os valores de $nX2$, que são também combinados com $nX3$, e assim por diante (MELO, 2012).

Com a aplicação do método Hipercubo Latino, pode-se analisar a influência da mudança da combinação de diferentes fatores, e determinar diferentes probabilidades para os dados de entrada, selecionando estes valores aleatoriamente (MELO, 2012).

Depois de avaliar as duas técnicas de amostragem e criar os novos casos com o método Hipercubo Latino, Melo (2012) usou a técnica de modelagem estatística de redes neurais artificiais nos casos gerados com a aplicação das duas técnicas de amostragem.

Os resultados demonstram que as duas técnicas de amostragem apresentaram resultados satisfatórios de coeficiente de determinação, média e desvio padrão. Porém, o método Hipercubo Latino foi o que apresentou um melhor resultado de média e desvio padrão dos erros. Também foi possível observar que o método Hipercubo Latino reduz o número de casos a serem gerados para determinada análise quando comparado com técnica que altera somente um parâmetro por caso (MELO, 2012).

Para a elaboração de um novo modelo simplificado, Melo (2012) necessitou ampliar a base de dados adotada anteriormente. Para o novo modelo, foram utilizadas 16 tipologias com diferentes características de área construída, área condicionada, área de fachada externa, área de cobertura, entre outros fatores. Além de estabelecer limites mínimo e máximo, de diferentes dados de entrada,

representando de forma mais ampla as características construtivas presentes nas edificações comerciais do Brasil. O método Hipercubo Latino foi utilizado para selecionar as amostras, permitindo a interação entre diferentes tipologias adotadas e suas características. A partir destas novas amostras, foram feitas simulações, com base nos dados de entrada e saída, aplicou-se o método de modelagem estatística de redes neurais artificiais para o desenvolvimento de um novo modelo simplificado. Com este novo método foi possível descrever a relação entre os dados de entrada e saída que não possuem comportamento linear, admitindo a criação de modelos simplificados mais precisos (MELO, 2012).

Boyanoa, Hernandezb e Wolf (2013), desenvolveram uma pesquisa com dois objetivos: primeiro, fornecer novos dados sobre o consumo de energia e o perfil da demanda de energia de edifícios europeus de escritório, e, segundo, identificar e quantificar possíveis medidas de redução da energia que possam ser facilmente implementadas. A metodologia do trabalho baseou-se na simulação computacional com a utilização do programa *EnergyPlus*. Para isto, foi escolhido um edifício de forma retangular, com área de 4.620 m², que representa a tipologia de escritórios mais encontrada na Europa. Três cidades (Tallinn, Londres e Madri) foram selecionadas para representar as três zonas climáticas em que a Europa está dividida.

No trabalho foram propostos dois cenários com diferentes controles de iluminação, um maior isolamento das janelas e das paredes externas e a troca de orientação do edifício. Quanto à iluminação, o primeiro cenário teve controle de iluminação em 50% das instalações do edifício de escritório, apresentando uma economia de 9% a 37% do total da energia consumida e entre 14% e 47% dos custos anuais de energia. Essas variações dependem do local da construção, que apresentam diferentes disponibilidades de luz natural. Quanto ao segundo cenário, o controle de iluminação foi instalado em todo o edifício. A economia de energia estimada para o sistema de iluminação foi de 18% a 37 %, com um valor médio de 28 %, que representa um total de economia anual de custos de energia entre 28% e 47%, com um valor médio próximo de 40%. O prédio, localizado em Madri foi o que apresentou uma maior economia de energia, 35% a 37%.

Em relação ao isolamento dos vidros, foram avaliados vidros duplos e triplos, com percentual de abertura na fachada de 30% e 50%. Os resultados demonstraram

uma redução no consumo de eletricidade de 10%, 7% e 16% para Tallinn, Madri e Londres, respectivamente. De acordo com os resultados, foi possível observar que os ganhos de calor em edifícios de escritórios são dos equipamentos de escritório, iluminação e principalmente, em locais de clima quente, por radiação solar. Estes ganhos de calor necessitam ser compensados pelo sistema de condicionamento de ar para refrigeração, o que foi observado no edifício de escritório localizado em Madri. Quanto à orientação, pode ser observado que os edifícios orientados com a maior face para norte e sul, apresentaram uma economia média no consumo de energia de 3% a 6% (BOYANOVA, HERNANDEZB E WOLF, 2013).

Pino et al. (2012) realizaram um estudo com objetivo de analisar o comportamento térmico e lumínico de um prédio de escritórios em Santiago do Chile, para diferentes condições de projeto, durante todo o ano. Para isso, realizaram uma análise térmica e de iluminação com diferentes cenários, modificando os seguintes parâmetros: percentual de abertura na fachada, uso de proteção solar externa, uso de vidros simples e duplos, orientação solar e uso da ventilação noturna.

Para a análise térmica, os autores realizaram simulações computacionais através do programa EDSL Tas e para a avaliação da iluminação natural utilizou-se o programa Daysim. O edifício analisado neste estudo possui 10 andares e dimensões de 16mx16m com pé direito de 2,8m. Em cada andar encontram-se 12 escritórios com as dimensões de 4mx4m (PINO et al., 2012).

Os seguintes parâmetros construtivos são iguais para todos os casos analisados: paredes de concreto armado, com 30 mm poliestireno expandido de isolamento ($U=1.0W/m^2K$); cobertura de concreto, com isolamento de poliestireno expandido de 60mm, 40mm de camada de ar e telha de aço galvanizado com 0,8mm de espessura ($U= 0,5 W/m^2K$) (PINO et al., 2012).

A cidade de Santiago do Chile, apresenta um clima temperado, janeiro é o mês mais quente e julho o mais frio, as temperaturas máximas, em janeiro, são de 29,7°C, enquanto que as temperaturas médias de julho são de 3,9°C (PINO et al., 2012).

A densidade de carga interna definida na pesquisa foi estabelecida para escritórios pequenos, considerando ocupação uma DCI de 10,5W/m², iluminação de

11W/m² e para equipamentos foi determinada um DCI de 11,25W/m² (PINO et al., 2012).

Para as análises de conforto foram considerados os seguintes parâmetros: para o verão, a temperatura entre 23 e 26,5°C e umidade relativa de 30-70%; para o inverno, a temperatura 20-23,5°C e umidade relativa abaixo de 65% (PINO et al., 2012).

A ventilação noturna foi avaliada no período de outubro a março, das 22:00 até as 07:00, de domingo até sexta-feira. A taxa de ventilação foi considerada de 8 trocas de ar por hora (PINO et al., 2012).

Para a análise da iluminação natural, o objetivo foi estudar a incidência de luz sobre a superfície de trabalho, portanto, a altura foi fixada em 80 centímetros de altura do piso térreo. A simulação foi realizada para diferentes orientações e diversos casos de proteção solar. O período estabelecido foi das 9:00 até as 19:00 horas (PINO et al., 2012).

Os resultados encontrados por Pino et al. (2012) demonstraram que, para o clima de Santiago do Chile, com baixa nebulosidade durante a primavera e, no verão, muito quente (mais de 28 °C), pode ocorrer superaquecimento em edifícios de escritórios em todas as orientações analisadas. Este fenômeno ocorre na maioria dos edifícios com grandes percentuais de abertura na fachada e sem proteção solar. Os vidros simples demonstraram perder muito calor por condução no inverno, enquanto que os vidros duplos demonstram um melhor desempenho. No entanto, durante o verão, os vidros duplos são prejudiciais por não permitirem que o calor interno se dissipe. Em todos os casos estudados, o percentual de abertura na fachada demonstrou ser o fator com maior influência no consumo energético para aquecimento e resfriamento. O melhor desempenho é obtido através de pequenas janelas (percentual de abertura na fachada igual 20%), orientada para o norte com proteção solar. Já na orientação leste e oeste, janelas com persianas horizontais e vidros low-e. Os vidros low-e, que barram a entrada de calor, mas permitem a entrada de luz, demonstraram aumento na necessidade de aquecimento no inverno, mas diminuíram a quantidade de resfriamento no verão, portanto, também são uma boa alternativa. Quanto à proteção solar, nos casos estudados, apresentaram uma demanda de energia menor do que para os casos sem proteção solar (PINO et al., 2012).

A ventilação noturna se mostrou uma estratégia eficiente em reduzir a demanda de energia para resfriamento, isto devido principalmente à oscilação de temperatura entre dia e noite. Esta estratégia demonstrou uma redução de 37% da demanda anual do sistema de condicionamento de ar (PINO et al., 2012).

Quanto à iluminação natural considerando-se um resultado satisfatório com um percentual de abertura na fachada de 20%, vidros low-e e utilização de proteção solar nas quatro orientações principais. A luz do dia na área de trabalho se mostrou adequada para uma média de 80% das horas de trabalho para fachadas orientadas para o norte, leste e oeste, e por quase 90% do tempo para escritórios orientados para o sul (PINO et al., 2012).

2.7. Revisão Crítica da Literatura

Os edifícios comerciais em conjunto com os edifícios públicos ocupam o segundo lugar no consumo energético dos diferentes setores no Brasil, conforme o BEN 2014. Nestas edificações grande parte do consumo energético está atribuído ao uso do sistema de condicionamento de ar.

A maioria dos trabalhos na literatura indica que edifícios com isolamento térmico demonstram um melhor desempenho energético. O RTQ-C também considera que quanto maior o isolamento térmico, melhor o desempenho energético. No entanto, pode-se observar que muitos destes trabalhos são analisados em climas frios e em edificações residenciais.

Alguns estudos com edificações comerciais demonstram que dependendo da densidade de carga interna, da forma da edificação e do clima em que está inserida a edificação a utilização do isolamento térmico pode aumentar o consumo energético. Nestes estudos pode-se analisar que em climas quentes edifícios comerciais com uma alta densidade de carga interna e com isolamento térmico, podem demonstrar um superaquecimento devido o calor interno não conseguir se dissipar para o meio externo.

Neste estudo optou-se por analisar edifícios de escritório com diferentes densidades de carga interna de equipamentos. No trabalho de Carlo (2008) foi analisado diferentes valores de DCI, no entanto para o desenvolvimento do RTQ-C foi utilizado apenas um valor. Por isso, foi definido para esta pesquisa analisar a DCI

de acordo com a norma ASHRAE (2009), para poder observar a influência da DCI no método prescritivo do RTQ-C.

De acordo com a revisão de literatura pode-se observar que edifícios mais compactos demonstram um melhor desempenho energético, sendo assim para a pesquisa optou-se por analisar diferentes fatores de forma para as edificações. Os modelos analisados foram definidos de acordo com Carlo (2008) e o RTQ-C.

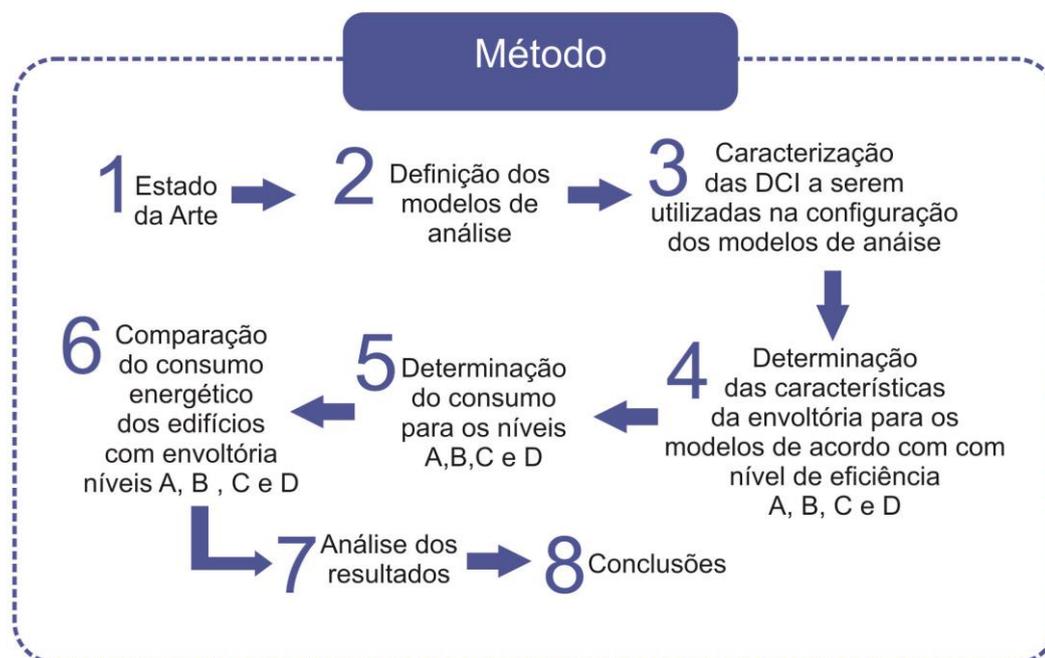
Através da revisão da literatura também pode-se observar que o clima o qual está inserido o edifício influencia na utilização do isolamento térmico. Desta forma o trabalho estabeleceu analisar três zonas bioclimáticas do zoneamento brasileiro. A zona bioclimática 1 a qual apresenta temperaturas mais baixas, a zona bioclimática 4 que demonstra períodos de baixa umidade relativa e temperatura elevadas e a zona bioclimática 7 a qual possui temperaturas elevadas durante todo o ano.

Com o desenvolvimento do presente trabalho será possível identificar se com diferentes valores de DCI, as envoltórias de acordo com os pré requisitos do RTQ-C demonstram um diferente desempenho energético dependendo da forma e do clima em que está inserida a edificação.

3. Método

Este capítulo apresenta o método adotado para estimar o consumo de energia elétrica, em edifícios de escritórios, de acordo com os pré requisitos específicos da envoltória do RTQ-C. São apresentados o programa de simulação utilizado, a escolha das tipologias de edificações comerciais e os parâmetros adotados com seus respectivos valores. A Figura 9 apresenta um diagrama representativo do método da pesquisa.

Figura 9: Diagrama representativo do método



3.1. Etapas da pesquisa

A presente dissertação foi desenvolvida em 7 etapas caracterizadas a seguir. A primeira parte do trabalho consta da revisão bibliográfica, adquirindo conhecimento aprofundado sobre o estado da arte, a partir da bibliografia existente e de trabalhos que foram e estão sendo realizados nesta área.

Na segunda etapa, foram definidos os modelos a serem analisados. Os modelos foram definidos com base em estudos já existentes e também nos Fatores de Forma mínimo e máximo estabelecidos pelo RTQ-C.

Na terceira etapa, foi caracterizada a densidade de carga interna utilizada nos modelos de análise. Essa caracterização foi definida com base na ASHRAE (2009), NBR 16.401 (ABNT 2008) e também foi adotada a DCI utilizada por Carlo (2008) para o desenvolvimento da equação de regressão linear que originou o RTQ-C.

Na quarta etapa, foram determinadas as características da envoltória de acordo com o RTQ-C. A envoltória dos modelos de análises foi definida conforme os pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C para cada nível de eficiência.

Na quinta etapa, foi determinado o consumo energético para os modelos com diferentes características de envoltória e também com variadas densidades de carga interna. Para isso, foi utilizado o programa de simulação computacional DesignBuilder, versão 3.20.070.

Na sexta etapa, foi realizada a comparação do consumo energético dos modelos com características da envoltória atendendo aos pré-requisitos do nível A, B, C e D do RTQ-C.

Na sétima e última etapa, foi realizada a análise dos resultados do consumo energético dos modelos, para cada zona bioclimática estudada. Esta etapa foi dividida, primeiro são apresentados os resultados para a zona bioclimática 1, em seguida para a zona bioclimática 4 e depois os resultados da zona bioclimática 7. Por último foi feita uma análise com o modelo baseado em Carlo (2008) e utilizando a DCI estabelecida para o desenvolvimento da equação de regressão linear que originou o RTQ-C.

3.2. Definição dos modelos de análise

As tipologias arquitetônicas utilizadas na pesquisa foram baseadas no estudo realizado por Carlo (2008), porque o RTQ-C foi desenvolvido a partir desta tipologia, e no RTQ-C. O RTQ-C limita um Fator de Forma mínimo, para áreas de projeção maiores que 500m², e um Fator de Forma máximo, para áreas de projeção menores que 500m², de acordo com a zona bioclimática (Tabela 11). O Fator de Forma é determinado pela razão entre a área de envoltória e o volume total da edificação. Todos os modelos analisados são climatizados artificialmente e foram avaliados com a maior fachada na orientação norte e sul, devido um estudo piloto realizado, no qual não demonstrou diferenças significativas no desempenho dos níveis de eficiência energética quando avaliados na orientação leste e oeste.

Tabela 11: Fator de Forma Máximo e Mínimo de acordo com a zona bioclimática

Fator de Forma/área de projeção	Zona bioclimática 1 e 7	Zona bioclimática 2 e 3	Zona bioclimática 4 e 5	Zona bioclimática 6 e 8
Fator de Forma Mínimo (Ape > 500m ²)	0,17	0,15	Livre	0,17
Fator de Forma Máximo (Ape ≤ 500m ²)	0,60	0,70	0,75	0,48

Fonte: adaptado do INMETRO, 2010, p.32.

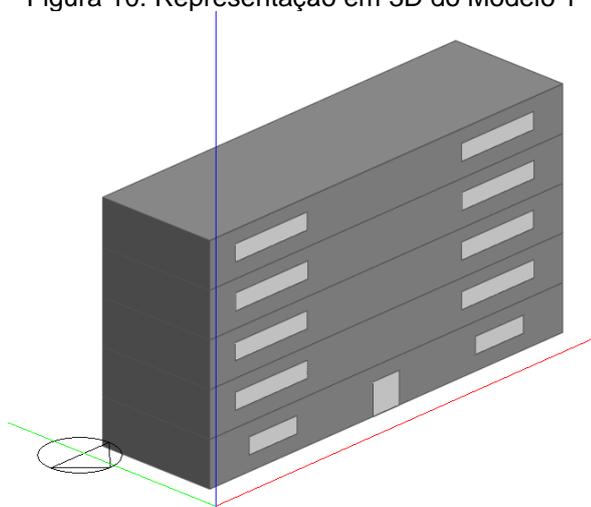
3.2.1. Modelo de análise 1

O primeiro modelo analisado foi definido com base no estudo desenvolvido por Carlo (2008), que, através de um levantamento fotográfico, pode observar volumetrias típicas, mais frequentes na paisagem urbana, para algumas atividades comerciais. A partir do levantamento, foi possível gerar um modelo representativo para cada atividade. O modelo 1 foi identificado com o nome de grandes escritórios e caracterizado como edificação vertical, área de pavimento menor que 500m², possuindo 5 pavimentos, forma retangular e proporção das fachadas relativa às áreas sendo maior de 3:1. São apresentadas as características da volumetria na Tabela 12 e o modelo na Figura 10. A área de aberturas presente na figura é somente uma representação, pois este parâmetro será variado conforme as simulações. Este modelo foi analisado nas três zonas bioclimáticas avaliadas, 1,4 e 7.

Tabela 12: Características da volumetria do modelo 1.

Modelo 1	
Dimensão	27m x 7,8m
Altura	15m
Área por pavimento	210,6 m ²
Área total	1.053 m ²
Fator Forma	0,39
Fator Altura	0,20
Número de pavimentos	5

Figura 10: Representação em 3D do Modelo 1



3.2.2. Modelos estabelecidos com base no RTQ-C

Por este trabalho analisar o RTQ-C, optou-se por estabelecer os modelos conforme os limites de fator forma (mínimo e máximo) do regulamento. O RTQ-C estabelece, para as zonas bioclimáticas 1 e 7, o Fator de Forma mínimo de 0,17 para edificações com área de projeção maior que 500m² e o Fator de Forma máximo de 0,60 para edifícios com área de projeção menor que 500m². Para cada Fator de Forma (mínimo e máximo) foram definidos dois modelos com o intuito de avaliar as diferenças entre uma área maior de cobertura e uma área maior de paredes, conforme ilustra a Figura 11. Sendo assim, os modelos 2 e 3, com Fator de Forma mínimo, apresentam 10 e 2 pavimentos respectivamente. E os modelos 4 e 5, com Fator de Forma máximo, possuem 10 e 1 pavimentos respectivamente. As características da volumetria de cada modelo podem ser observadas na Tabela 13.

Figura 11: Esquema dos modelos de análise para as zonas bioclimáticas 1 e 7

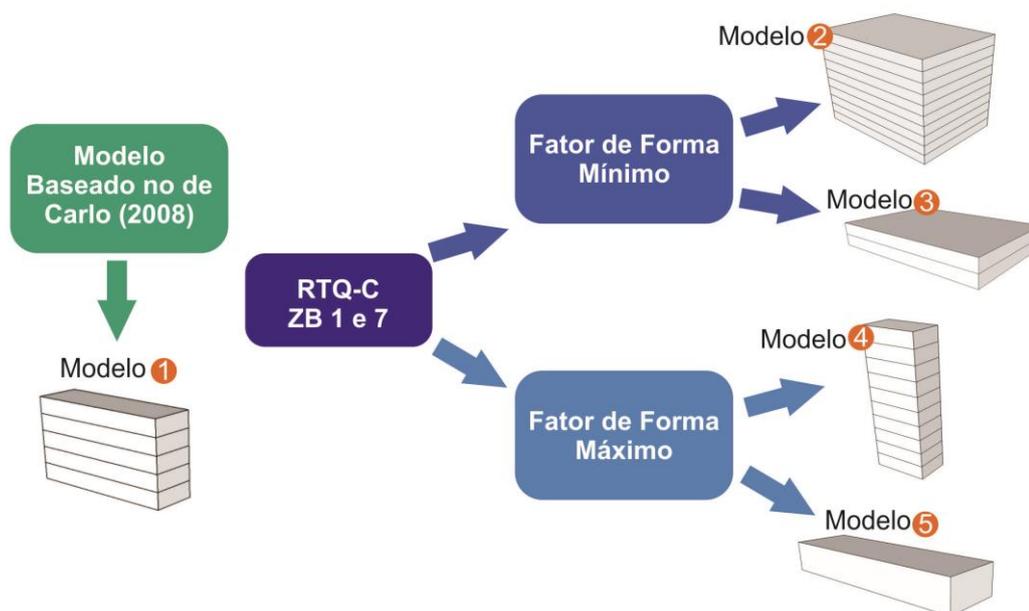


Tabela 13: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para zona bioclimática 1 e 7

Variáveis	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Dimensão	35,00m x 25,00m	70,00m x 45,00m	10,00m x 6,00m	27,00m x 7,50m
Altura	30,00m	10,00m	30,00m	4,00m
Área por pavimento	875m ²	3.150m ²	60m	211m ²
Área total	8.750m ²	6.300m ²	600m ²	211m ²
Fator Forma	0,17	0,17	0,60	0,60
Fator Altura	0,10	0,50	0,10	1,00
Número de pavimentos	10,00	2,00	10,00	1,00

As zonas bioclimáticas 1 e 7 apresentam valores iguais de Fator de Forma mínimo e máximo, portanto, os modelos utilizados nestas duas zonas bioclimáticas são os mesmos. Já a zona bioclimática 4, apresenta diferentes valores de Fator de Forma, por isso foram utilizados outros modelos para esta zona bioclimática.

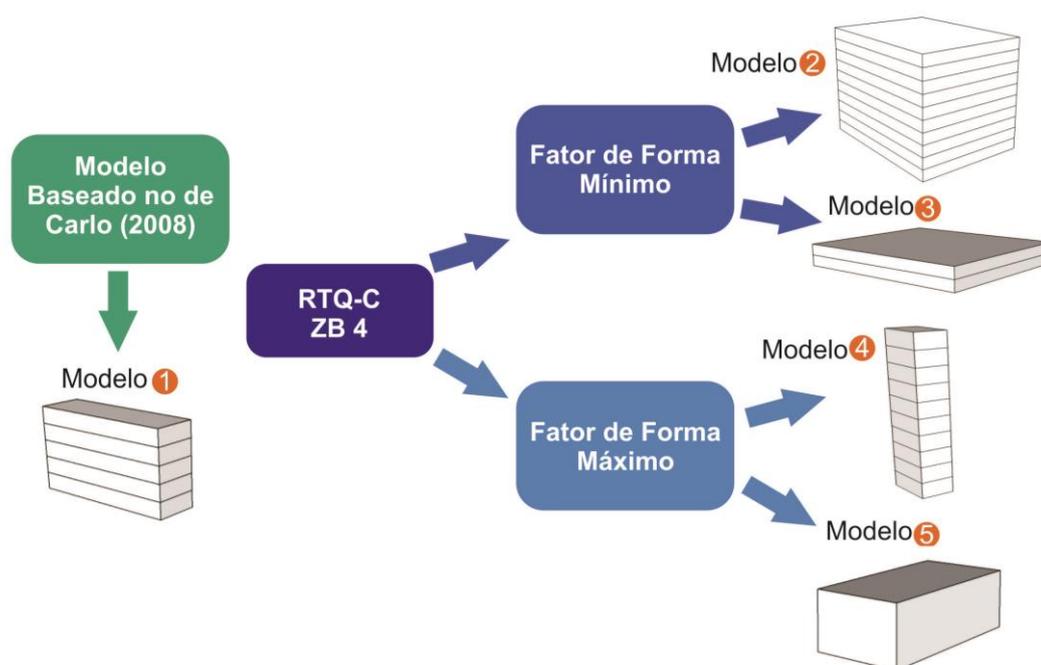
Para a zona bioclimática 4, o Fator de Forma mínimo é livre, então foi estabelecido o Fator de Forma mínimo de 0,15, que é o menor Fator de Forma mínimo determinado pelo o RTQ-C. Para o Fator de Forma máximo o RTQ-C define o valor de 0,75. Na zona bioclimática 4, também foram estabelecidos dois modelos para cada Fator de Forma, um térreo e outro em altura. Na Tabela 14 apresentam-

se as características da volumetria dos modelos da zona bioclimática 4 e a Figura 12 ilustra os modelos de análise.

Tabela 14: Características da volumetria dos modelos baseados no RTQ-C para zona bioclimática 4

Variáveis	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Dimensão	40,00m x 30,00m	85,00m x 70,00m	7,00m x 4,60m	12,00m x 6,00m
Altura	30,00m	10,00m	30,00m	4,00m
Área por pavimento	1.200 m ²	5.950m ²	32,20m	72m ²
Área total	1.2000m ²	11.900m ²	322m ²	72m ²
Fator Forma	0,15	0,15	0,75	0,75
Fator Altura	0,10	0,50	0,10	1,00
Número de pavimentos	10,00	2,00	10,00	1,00

Figura 12: Esquema dos modelos de análise para a zona bioclimática 4



3.3. Caracterização das Densidades de Carga interna utilizadas na configuração dos modelos de análise

A densidade de carga interna é definida pela soma das três principais fontes de calor internas (W/m²): iluminação, equipamentos elétricos e pessoas. O sistema de iluminação dos modelos, foi configurado com a densidade de potência de iluminação 9,7W/m², classificada como nível A pelo RTQ-C. Porém, o programa *DesingBuilder* permite somente a utilização de número inteiros, portanto, a

densidade de potência de iluminação foi arredondada para $10\text{W}/\text{m}^2$ por ser o número inteiro mais próximo de $9,7\text{W}/\text{m}^2$.

A ASHRAE (2009) classifica os escritórios em quatro tipos de densidade de carga interna de equipamentos. Neste trabalho, foram avaliados somente dois tipos de densidade, a média e a alta. A densidade média foi determinada porque, segundo a ASHRAE (2009), a maioria dos escritórios apresenta essa DCI de equipamentos. Já a DCI de equipamentos alta, foi estabelecida por ser a DCI que gera maior quantidade de calor interno. A densidade de pessoas foi estabelecida conforme a densidade de equipamentos, média e alta, e de acordo com NBR 16.401 (2008), a qual estabelece a densidade de pessoas para escritório com baixa, média e alta densidade, adaptada da ASHRAE (2004).

Também foi avaliada a DCI $25\text{W}/\text{m}^2$, a qual Carlo (2008) utilizou para desenvolvimento da equação de regressão linear que originou o RTQ-C. Carlo (2008) adotou este valor considerando equipamentos, pessoas e iluminação.

Para configurar a densidade de pessoas, considerou-se o fato do trabalho ser realizado em edificações do tipo comercial, adotou-se o valor de 130W de calor dissipado por pessoa, representando a atividade de escritório moderada de acordo com ASHRAE (2009). A Tabela 15 caracteriza os valores adotados para a densidade de carga interna, a densidade de pessoas está dividida em duas colunas uma em pessoas por m^2 , que é como se configura no programa *DesingBuilder*, e outra em W/m^2 .

Tabela 15: Caracterização das densidades de carga interna utilizadas nos modelos de análise

Tipo de Escritório	DCI Equipamentos (W/m^2)	Densidade de Pessoas (pessoas/ m^2)	Densidade de Pessoas (W/m^2)	Potência de iluminação (W/m^2)	Total (W/m^2)
Média densidade	11,00	0,14	16,71	10,00	37,70
Alta densidade	21,00	0,20	23,88	10,00	54,88
RTQ-C	8,00	0,07	8,00	9,00	25,00

Fonte: Adaptada de ASHRAE (2009); ABNT (2008); INMETRO (2010)

3.4. Determinação das características da envoltória para os modelos de acordo com nível de eficiência A, B, C e D.

Esta etapa do método foi dividida em duas partes. Primeiramente, foram definidas as propriedades térmicas das paredes externas e da cobertura. Em seguida, foi estabelecido o Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT) para cada modelo.

3.4.1. Determinação das características térmicas da envoltória

O RTQ-C determina que a transmitância térmica das paredes externas e da cobertura e a absorvância são pré-requisitos específicos da envoltória. Estes pré-requisitos possuem limites estabelecidos para cada zona bioclimática, de acordo com o nível de eficiência energética que se pretende alcançar. Nas Tabelas 16, 17 e 18 são apresentados os pré-requisitos da envoltória para as zonas bioclimáticas 1, 4 e 7, respectivamente. Os pré-requisitos da transmitância térmica das paredes e coberturas que estão nas Tabelas 16, 17 e 18 foram utilizados na pesquisa. Já no caso da absorvância, optou-se por não analisar sua influência e definiu-se o valor de 0,20 para paredes e coberturas, pois este valor atende aos pré-requisitos para Nível A.

Tabela 16: Características da envoltória para a zona bioclimática 1

Pré Requisitos Envoltória	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Térmica Cobertura (W/m ² .K)	0,50	1,00	2,00
Transmitância Térmica Parede externa (W/m ² .K)	1,00	2,00	3,70
Absortância Cobertura	Livre	Livre	Livre
Absortância Parede externa	Livre	Livre	Livre

Fonte: Adaptada de INMETRO (2010)

Tabela 17: Características da envoltória para a zona bioclimática 4

Pré -Requisitos Envoltória	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Térmica Cobertura (W/m ² .K)	1,00	1,50	2,00
Transmitância Térmica Parede externa (W/m ² .K)	3,7		
Absortância Cobertura	$\alpha < 0,50$	$\alpha < 0,50$	Livre
Absortância Parede externa	$\alpha < 0,50$	Livre	Livre

Fonte: Adaptada de INMETRO (2010)

Tabela 18: Características da envoltória para a zona bioclimática 7

Pré -Requisitos Envoltória	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Térmica Cobertura (W/m ² .K)	1,0	1,50	2,0
Transmitância Térmica Parede externa	2,5 (W/m ² .K), para paredes com capacidade térmica ≤ 80 kJ/m ² K 3,7 (W/m ² .K), para paredes com capacidade térmica > 80 kJ/m ² K		
Absortância Cobertura	α < 0,50	α < 0,50	Livre
Absortância Parede externa	α < 0,50	Livre	Livre

Fonte: Adaptada de INMETRO (2010)

3.4.2. Definição do Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT)

O Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT) foi determinado através do cálculo do PAFT limite para cada nível de eficiência de acordo com cada modelo. Como, para cada zona bioclimática, existem duas equações, uma para edifícios com área de projeção maior que 500m² e Fator de Forma mínimo e outra para edifícios com área de projeção menor que 500m² e Fator de Forma máximo, foram utilizadas no total 6 equações.

Primeiro, calculou-se o indicador de consumo máximo para cada volumetria (IC_{máxD}), o qual representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D. Acima desse valor, a edificação passa a ser classificada como E, para isso utilizaram-se as equações 1 (Fator de Forma mínimo) e 2 (Fator de Forma máximo) para zona bioclimática 1, as equações 3 (Fator de Forma mínimo) e 4 (Fator de Forma máximo) para zona bioclimática 4 e as equações 5 (Fator de Forma mínimo) e 6 (Fator de Forma máximo) para a zona bioclimática 7, um total de 6 equações.

$$IC_{env 1} = 10,47.FA + 298,74.FF + 38,41PAFT - 1,11.FS - 0,11AVS + 0,24AHS - 0,54.PAFT . AHS + 47,53 \quad (\text{Equação 1})$$

$$IC_{env 2} = - 43,0.FA - 316,62FF + 16,83.PAFT + 7,39.FS - 0,20.AVS + 0,20.AHS + 132,5 FA/FF - 77FA.FF - 0,92.FF.PAFT.AHS + 182,66 \quad (\text{Equação 2})$$

$$IC_{env 3} = 511,12.FA + 0,92.FF - 95,71.PAFT - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - 380,83.FA.FF + 4,27/FF + 729,20PAFT.FS + 77,15 \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{ICenv 4} = 105,39.FA - 207,12.FF + 4,61.PAFT + 8,08.FS - 0,31.AVS - 0,07.AHS - 82,34.FF.FA + 3,45.PAFT.FS - 0,005.PAFT.FS.AVS.AHS + 171,27 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{ICenv 5} = - 69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAFT + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + 19,25/FF + 0,04.AHS / (PAFT.FS) - 306,35 \quad (\text{Equação 5})$$

$$\text{ICenv 6} = 32,62.FA - 580,03.FF - 8,59.PAFT + 18,48.FS - 0,62.AVS - 0,47.AHS + 200.FA/FF - 192,5.FA.FF + 70,22.FF.PAFT - 0,55.PAFT.AHS + 318,65 \quad (\text{Equação 6})$$

onde, ICenv = Indicador de consumo da envoltória;

FA = Fator altura (A_{pco}/A_{tot});

FF = Fator de forma (A_{env}/V_{tot});

PAFT = Percentual de abertura na fachada total;

FS = Fator solar;

A_{pco} = Área de projeção da cobertura em (m²);

A_{env} = Área da envoltória (m²);

A_{tot} = Área total de piso (m²);

V_{tot} = Volume total de piso (m³).

Em seguida, com as mesmas equações, calculou-se o indicador de consumo Mínimo (IC_{mín}) para cada volumetria. Os limites IC_{máxD} e IC_{mín} representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em quatro partes. Cada parte se refere a um nível de classificação que varia de A a E, conforme a equação 7.

$$I = \frac{(\text{ICmáxD} - \text{ICmín})}{4} \quad (\text{Equação 7})$$

onde, I = Intervalo;

IC_{máxD} = Indicador de consumo máximo da envoltória;

IC_{mín} = Indicador de consumo mínimo da envoltória.

A partir do indicador de consumo máximo, do indicador de consumo mínimo e do intervalo, é possível encontrar o intervalo para cada nível de eficiência energética, conforme a Tabela 19.

Tabela 19: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. Mín.		IC _{máx D} - 3i + 0,01	IC _{máx D} - 2i + 0,01	IC _{máx D} - i + 0,01	IC _{máx D} + 0,01
Lim. Máx.	IC _{máx D} - 3i	IC _{máx D} - 2i	IC _{máx D} - i	IC _{máx D}	

Fonte: Adaptada de INMETRO (2010)

Após encontrar o indicador de consumo limite máximo de cada nível, foi calculado o Percentual de Abertura de Fachada Total (PAFT) limite para cada nível de eficiência em cada modelo. Para o cálculo, foi utilizada a equação do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) isolando a variável PAFT, conforme as Equações 8 (Fator de Forma mínimo) e 9 (Fator de Forma máximo) para zona bioclimática 1, Equações 10 (Fator de Forma mínimo) e 11 (Fator de Forma máximo) para zona bioclimática 4 e as Equações 12 (Fator de Forma mínimo) e 13 (Fator de Forma máximo) para a zona bioclimática 7.

$$\text{PAFT} \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} - 10,47\text{FA} - 298,74\text{FF} + 1,11\text{FS} - 47,53}{38,41} \quad (\text{Equação 8})$$

$$\text{PAFT} \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} + 43,0 \cdot \text{FA} + 316,62 \cdot \text{FF} - 7,29 \cdot \text{FS} - 132,5\text{FA}/\text{FF} + 77\text{FA} \cdot \text{FF} - 182,66}{16,38} \quad (\text{Equação 9})$$

$$\text{PAFT} \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} - 511,12 \cdot \text{FA} - 0,92 \cdot \text{FF} + 99,79 \cdot \text{FS} + 380,83 \cdot \text{FA} \cdot \text{FF} - \frac{4,27}{\text{FF}} - 77,15}{729,20 \cdot \text{FS} - 95,71} \quad (\text{Equação 10})$$

$$\text{PAFT} \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} - 105,39 \cdot \text{FA} + 207,12 \cdot \text{FF} - 8,08 \cdot \text{FS} + 82,34 \cdot \text{FA} \cdot \text{FF} - 171,27}{4,61 + 3,45 \cdot \text{FS}} \quad (\text{Equação 11})$$

$$\text{PAFT } \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} + 69,48 \cdot \text{FA} - 1.347,78 - \frac{3,03 \cdot \text{FS}}{\text{FF}} - 19,25 + 306,35}{37,74} \quad (\text{Equação 12})$$

$$\text{PAFT} \langle R \rangle = \frac{\text{ICR} - 32,62 \cdot \text{FA} + 580,03 \cdot \text{FF} - 18,48 \cdot \text{FS} - \frac{200 \cdot \text{FA}}{\text{FF}} + 192,50 \cdot \text{FA} \cdot \text{FF} - 318,65}{70,22 \cdot \text{FF} - 8,59} \quad (\text{Equação 13})$$

onde, ICR = Indicador de consumo do modelo de referência (adimensional);

FA = Fator altura (A_{pco}/A_{tot});

FF = Fator de forma (A_{env}/V_{tot});

PAFT<R> = Percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação);

FS = Fator solar;

A_{pco} = Área de projeção da cobertura em (m²);

A_{env} = Área da envoltória (m²);

A_{tot} = Área total de piso (m²);

V_{tot} = Volume total de piso (m³).

Os modelos foram configurados com um PAFT inicial de 0,05, e sofreram variações de acréscimo de 0,05, até o PAFT limite para cada nível de eficiência, sendo o PAFT=0,50 o máximo analisado neste trabalho. Os PAFTs limites encontrados para cada nível de eficiência energética, de cada modelo, para cada zona bioclimática podem ser observados nas Tabelas 20, 21 e 22. Como os pré-requisitos da envoltória são os mesmos para o Nível de eficiência C, D e E, o que os diferencia é o percentual de abertura na fachada, portanto só existem modelos de eficiência nível D após o PAFT limite para nível C. Nas Tabelas 23, 24 e 25 estão os percentuais de abertura utilizados em cada modelo, de acordo com o nível de eficiência.

Tabela 20: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 1

Níveis de Eficiência Energética	PAFTs Limites				
	Modelo 1	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
		Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Nível A	0,15	0,18	0,18	0,15	0,10
Nível B	0,26	0,32	0,32	0,26	0,13
Nível C	0,37	0,46	0,46	0,37	0,17
Nível D	0,48	0,60	0,60	0,47	0,21

Tabela 21: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 4

Níveis de Eficiência Energética	PAFTs Limites				
	Modelo 1	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
		Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Nível A	0,10	0,15	0,15	0,13	0,10
Nível B	0,15	0,25	0,25	0,31	0,15
Nível C	0,20	0,35	0,35	0,57	0,20
Nível D	0,25	0,43	0,40	-	0,25

Tabela 22: Percentuais de abertura limites para cada nível de eficiência energética para zona bioclimática 7

Níveis de Eficiência Energética	PAFTs Limites				
	Modelo 1	Fator de Forma Mínimo		Fator de Forma Máximo	
		Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Nível A	0,13	0,18	0,18	0,15	0,15
Nível B	0,20	0,31	0,31	0,25	0,25
Nível C	0,27	0,45	0,45	0,35	0,35
Nível D	0,35	-	-	0,45	0,45

Tabela 23: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 1

Percentual de Abertura na Fachada - PAFT										
Modelo 1										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40	0,45	
Nível E										0,50
Modelo 2										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30				
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
Nível D										0,50
Modelo 3										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30				
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
Nível D										0,50
Modelo 4										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40	0,45	
Nível E										0,50
Modelo 5										
Nível A	0,05	0,10								
Nível B	0,05	0,10								
Nível C	0,05	0,10	0,15							
Nível D				0,20						
Nível E					0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

Tabela 24: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 4

Percentual de Abertura na Fachada - PAFT										
Modelo 1										
Nível A	0,05	0,10								
Nível B	0,05	0,10	0,15							
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20						
Nível D					0,25					
Nível E						0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Modelo 2										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40		
Nível E									0,45	0,50
Modelo 3										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40		
Nível E									0,45	0,50
Modelo 4										
Nível A	0,05	0,10								
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30				
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Modelo 5										
Nível A	0,05	0,10								
Nível B	0,05	0,10	0,15							
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20						
Nível D					0,25					
Nível E						0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

Tabela 25: Percentuais de abertura utilizados em cada modelo para zona bioclimática 7

Percentual de Abertura na Fachada - PAFT										
Modelo 1										
Nível A	0,05	0,10								
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20						
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível D						0,30	0,35			
Nível E								0,40	0,45	0,50
Modelo 2										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30				
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
Nível D										0,50
Modelo 3										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30				
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
Nível D										0,50
Modelo 4										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40	0,45	
Nível E										0,50
Modelo 5										
Nível A	0,05	0,10	0,15							
Nível B	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25					
Nível C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35			
Nível D								0,40	0,45	
Nível E										0,50

3.5. Determinação do consumo energético dos modelos com características da envoltória de acordo com nível de eficiência A, B, C e D

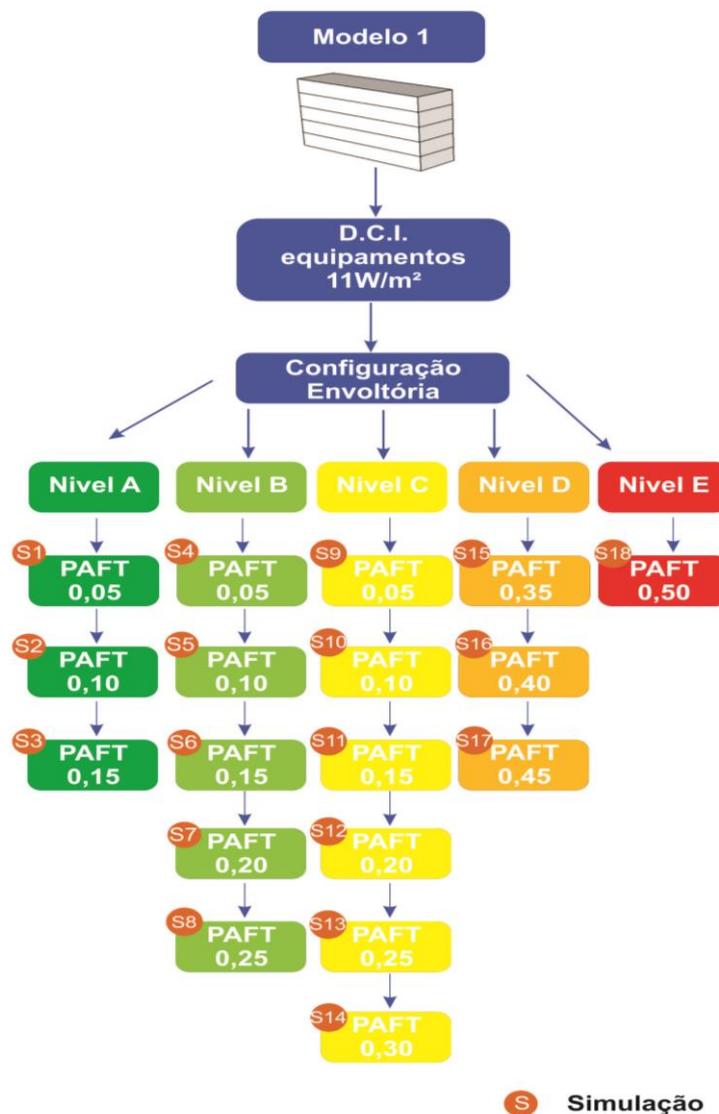
Para verificar se as transmitâncias da envoltória para níveis de eficiência A, B, C e D, de acordo com o RTQ-C, apresentam desempenho energético compatível com os diferentes níveis de eficiência energética, foi necessário simular os modelos analisados. Para isso, foram simuladas as seguintes combinações:

- 1) transmitância térmica das paredes externas e cobertura (de acordo com os pré-requisitos da envoltória do RTQ-C);
- 2) percentual de abertura translúcida na fachada;

3) densidade de carga interna.

Em virtude da grande quantidade de variáveis avaliadas, resultando em um número significativo de simulações necessárias, optou-se para que, em cada simulação, ocorresse a mudança de um parâmetro. Na Figura 13, estão exemplificadas as simulações para o modelo 1, com densidade de carga interna de $37,70\text{W/m}^2$ e para a zona bioclimática 1. Em seguida, foram realizadas as mesmas simulações com a densidade de carga interna de $54,88\text{W/m}^2$ e depois com a DCI de 25W/m^2 , conforme Carlo (2008). O mesmo método foi utilizado nos demais modelos e repetido nas diferentes zonas bioclimáticas. Como resultados, serão apresentadas análises comparativas das simulações, em forma de gráficos de consumo anual, com relação aos níveis de eficiência do RTQ-C, e em forma de tabelas.

Figura 13: Esquema das simulações realizadas para o modelo1



3.5.1. Programa utilizado

Para a análise do desempenho energético das edificações, foi adotado o programa *DesignBuilder*, versão 3.2.0.070, como interface do programa *EnergyPlus* versão V7-0-0. Esse programa cumpre os pré-requisitos específicos do RTQ-C e permite a avaliação de parâmetros como consumo anual de energia e a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente. Os cálculos são baseados no comportamento térmico e energético da edificação, no clima em que a edificação está inserida e nos ganhos internos da edificação. O programa possibilita a avaliação em intervalos anuais, mensais, diários e horários. Optou-se por este programa, pois ele foi utilizado na disciplina de Simulação Computacional de Eficiência Energética em Arquitetura, do PROGRAU/UFPeI, o que possibilitou o aprendizado e o acesso ao *software* através do LabCEE. As configurações e dados adotados para o programa estão descritos a seguir.

3.5.2. Arquivo climático

O arquivo climático da cidade de Curitiba (PR_Curitiba.epw) foi utilizado para a zona bioclimática 1. Para a zona bioclimática 4 foi utilizado o arquivo climático da cidade de Brasília (BrasíliaTRY1962_05CSV.epw) e para a zona bioclimática 7 utilizou-se o arquivo climático da cidade de Cuiabá (MT_Cuiabá.epw). Para a inserção no programa *EnergyPlus* a formatação dos dados TRY ou TMY devem ser transformados em um arquivo de texto chamado *EnergyPlus Weather File* (EPW). Este arquivo utiliza as unidades no sistema internacional, possibilitando a inclusão de um número maior de dados, como de iluminância da abóbada celeste. Estes arquivos em EPW utilizados nesta pesquisa encontram-se disponíveis no sítio eletrônico do laboratório de eficiência energética em edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2012).

3.5.2.1. Temperatura do Solo

A temperatura do solo foi determinada com o programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*, o qual simula a influência que o solo exerce nas temperaturas da edificação, através do cálculo da temperatura média mensal do solo a partir da temperatura média do ar interna e da temperatura média externa. Primeiro, o edifício em análise é simulado com todos os padrões de uso e ocupação, característica da envoltória e com o arquivo climático, para obtenção das temperaturas médias

internas, cujo contato com solo foi considerado sob uma condição isolada. Logo, essas temperaturas são inseridas no *EnergyPlus* para originar um arquivo com as temperaturas médias mensais a serem utilizadas nas configurações de temperatura de solo. Sendo assim, cada modelo analisado possui uma temperatura de solo de acordo com a densidade de carga interna analisada e conforme o arquivo climático.

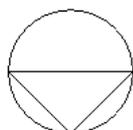
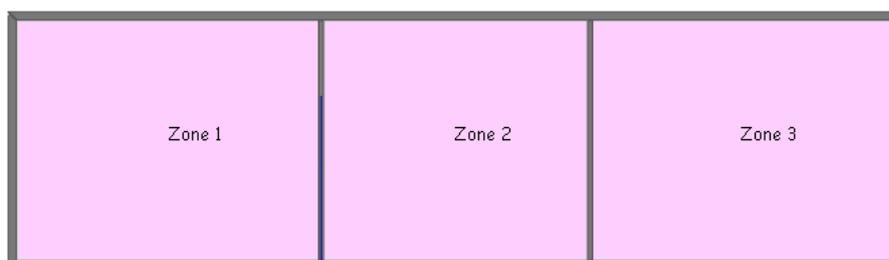
3.5.3. Modelagem

Após inserir os dados climáticos no programa de simulação, foram modeladas as tipologias analisadas. Os modelos foram desenhados, considerando o pé direito de cada ambiente e as aberturas de portas e janelas. Em todas as tipologias foram modelados todos os pavimentos.

3.5.4. Definição das Zonas Térmicas

As zonas térmicas são espaços que compartilham das mesmas características, como componentes construtivos, orientação e densidade de carga interna. Neste trabalho, cada pavimento foi considerado uma zona térmica. Apenas no modelo 1, o qual foi baseado em Carlo (2008), os pavimentos foram divididos em três zonas térmicas, conforme a Figura 14. Neste modelo também foi considerada climatização em todas as zonas térmicas.

Figura 14: Zonas Térmicas Modelo 1



3.5.5. Configurações dos modelos

Para a realização da simulação, é necessário descrever detalhadamente as características construtivas do envelope, a forma como a edificação é ocupada e utilizada. Os detalhes das configurações são apresentados a seguir.

3.5.5.1 Definição dos horários de ocupação

No programa, foi definida a agenda, com horários das 8:00h até as 12:00h, com 100% de ocupação. Das 12:00h até as 14:00h, com 10% de ocupação, e das 14:00h até as 18:00h, com 100% de ocupação. Os valores adotados representam um período de 10h, os quais são característicos para o uso de edificações de escritórios. Estes valores foram estabelecidos entre segunda-feira e sexta-feira, considerando os doze meses do ano e utilizados para pessoas, equipamentos, iluminação e sistema de condicionamento de ar.

3.5.5.2 Densidade de carga interna

Após definir os horários de ocupação, foi configurada, no programa, a densidade de carga interna referente a pessoas, equipamentos e iluminação. Conforme já exposto, as densidades de carga interna de equipamentos avaliadas nesta pesquisa foram duas: densidade média ($11\text{W}/\text{m}^2$) e a densidade alta ($21\text{W}/\text{m}^2$), sendo estes valores de referência da norma ASHRAE Fundamentals (2009). A densidade de pessoas foi estabelecida conforme a densidade de equipamentos, média ($0,14$ pessoa/ m^2) e alta ($0,20$ pessoa/ m^2), considerando que os usuários exercem uma atividade leve de escritório.

A iluminação foi caracterizada como nível A do RTQ-C ($9,7\text{W}/\text{m}^2$), porém o programa de simulação só considera números inteiros, sendo assim, foi configurada no programa como $10\text{W}/\text{m}^2$, por ser o número inteiro mais próximo como já dito anteriormente. A iluminância de 500 lux, de acordo com valores recomendados pela NBR ISO 8995 – Iluminação de ambientes de trabalho (ABNT, 2013). Foi configurado o controle automático de iluminação Linear. Este controle utiliza a iluminação artificial de forma a complementar a iluminação natural, o fluxo luminoso diminui conforme aumenta a iluminação natural e quando diminui a iluminação natural, aumenta o fluxo luminoso, permanecendo sempre os 500 lux no ambiente.

Sendo assim foram configuradas uma DCI total de 37,70 W/m² e outra com 54,88 W/m². Também foi configurada, no programa, a DCI total de 25 W/m² de acordo com o estudo de Carlo (2008), como dito anteriormente. Neste caso utilizou-se na DCI de equipamentos o valor de 8 W/m², a densidade de pessoas foi configurada no valor de 0,07 (pessoas/m²) e a potência de iluminação utilizou-se o valor de 9 W/m².

3.5.5.3. Sistema de condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar adotado foi *split* com coeficiente de performance (COP) de 3,21 Wtérmico/Welétrico (Watts de capacidade de refrigeração por Watt potência), o qual é considerado um eficiente sistema de condicionamento de ar, Nível A, pelo programa brasileiro de etiquetagem. Tanto a iluminação como o sistema de condicionamento de ar foram considerados Níveis A, para poder analisar de forma isolada a influência da densidade de carga interna de equipamentos na envoltória. O sistema de condicionamento de ar foi adotado para o ano todo, estabelecendo a temperatura de *setpoint* de 18°C para aquecimento e 24°C para resfriamento, esses valores foram os mesmos utilizados na pesquisa de Carlo (2008).

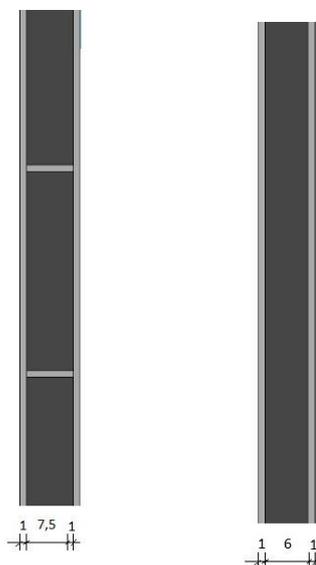
3.5.5.4. Configuração da envoltória

Para configurar a envoltória (paredes e coberturas) no programa *DesignBuilder*, foi necessário fazer o cálculo de equivalência para obter as características de um material ideal, homogêneo, com mesmo comportamento que a parede real. Desta forma, foi utilizado como referência o trabalho de Ordenes et al. (2003) que desenvolveu um modelo de construção de um componente equivalente para ser inserido no programa. Neste método, são mantidas constantes a resistência térmica total (Rt) e capacidade térmica (CT) entre as superfícies do componente e são modificadas as espessuras e densidades de massa aparente dos materiais.

Tomando como exemplo a parede utilizada na zona bioclimática 7, de bloco de concreto celular de 7,5 centímetros de espessura, com valor de transmitância térmica (U) de 1,85 W/m²K, capacidade térmica (CT) 77,45 kJ/(m²K) e densidade de massa aparente (ρ) 450 (kg/m³), foi possível calcular a densidade aparente de um material equivalente (ρ) para a camada de concreto celular e argamassa com valor

igual a $613,66 \text{ kg/m}^3$, tendo-se para este caso uma espessura equivalente de $6,00 \text{ cm}$ (Figura 15).

Figura 15: Parede original e sua equivalente



Conforme já exposto, a configuração da envoltória foi realizada de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C para cada zona bioclimática analisada. Nas Tabelas 26 e 27, podem ser observados os materiais utilizados na configuração das paredes externas e coberturas respectivamente, para zona bioclimática 1.

Como isolamento térmico adotou-se o poliestireno extrudado nas paredes e coberturas dos modelos, pois mesmo quando este isolante é utilizado em pequenas espessuras apresenta uma boa capacidade de isolamento térmico. O valor da condutividade térmica do poliestireno extrudado é de $0,035 \text{ W/mK}$ (ABNT 2005, PARTE 2).

Optou-se em colocar a camada de poliestireno extrudado antes da camada de concreto ou de tijolo, pois, de acordo com Melo (2007) esta ordem de camadas possui um melhor desempenho térmico frente a camada de poliestireno inserida após a camada de concreto ou tijolo.

Tabela 26: Composição paredes externas para zona bioclimática 1

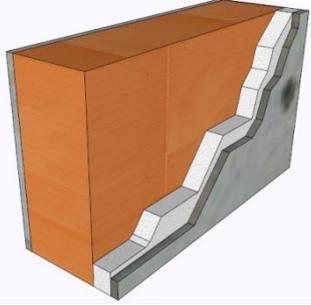
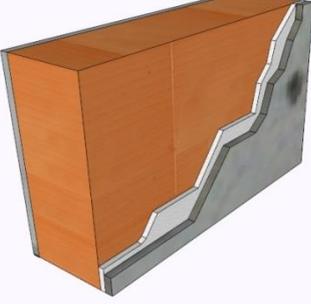
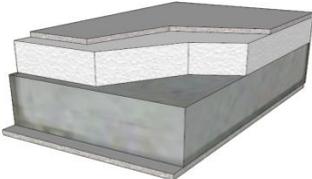
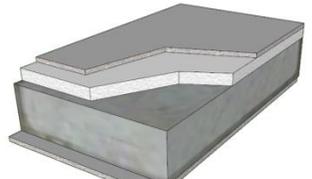
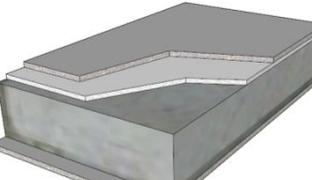
Nível de Eficiência Energética	Composição das paredes externas	Transmitância Térmica	Figuras
Nível A	Argamassa de reboco externo 1,00cm	1,00 W/(m ² K)	
	Poliestireno extrudado - 2,45cm		
	Tijolo cerâmico maciço - 10,00cm		
	Argamassa de reboco interno 1,00cm		
Nível B	Argamassa de reboco externo 1,00cm	2,00 W/(m ² K)	
	Poliestireno extrudado - 0,70cm		
	Tijolo cerâmico maciço - 10,00cm		
	Argamassa de reboco interno 1,00cm		
Nível C e D	Tijolo cerâmico maciço - 10,00cm	3,70 W/(m ² K)	

Tabela 27: Composição cobertura da zona bioclimática 1

Nível de Eficiência Energética	Composição das coberturas	Transmitância Térmica	Figuras
Nível A	Argamassa de reboco externo 1,00cm	0,50 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado – 6,00cm		
	Laje de concreto - 10,00cm		
	Argamassa de reboco interno 1,00cm		
Nível B	Argamassa de reboco externo 1,00cm	1,00 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado - 2,50cm		
	Laje de concreto - 10,00cm		
	Argamassa de reboco interno 1,00cm		
Nível C	Argamassa de reboco externo 1,00cm	2,00 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado - 0,85cm		
	Laje de concreto - 10,00cm		
	Argamassa de reboco interno 1,00cm		

Nas Tabelas 28 e 29, encontram-se as configurações das paredes externas para as zonas bioclimáticas 4 e 7, respectivamente. Na zona bioclimática 4 todos os níveis de eficiência energética apresentam a mesma parede, apenas a cobertura que possui limites de transmitância térmica diferente, conforme o nível de eficiência energética. Já a zona bioclimática 7, apresenta duas configurações de parede, a primeira com transmitância térmica 1,85 W/(m²K) e capacidade térmica menor que 80 kJ/(m²K), e a segunda, com transmitância térmica de 3,70 W/(m²K) e capacidade térmica maior que 80 kJ/(m²K). Estas duas paredes são utilizadas para todos os níveis de eficiência energética, assim como na zona bioclimática 4, também na zona bioclimática 7, apenas as coberturas possuem diferentes limites de transmitância térmica conforme o nível de eficiência energética.

Tabela 28: Composição parede externa para zona bioclimática 4

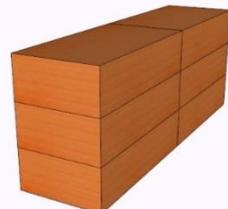
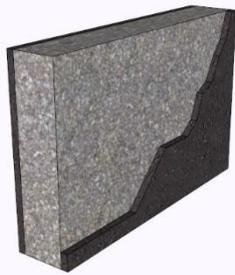
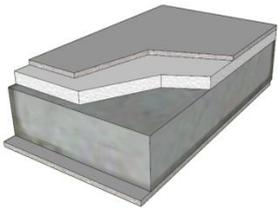
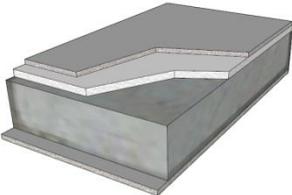
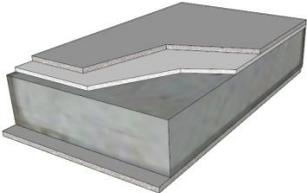
Nível de Eficiência Energética	Composição da parede externas	Transmitância Térmica	Figuras
A, B, C e D	Tijolo cerâmico maciço 10,00cm	3,70 W/(m²K)	

Tabela 29: Composição das paredes externas para zona bioclimática 7

Nível de Eficiência Energética	Composição das paredes externas	Transmitância Térmica	Capacidade Térmica	Figuras
A, B , C e D	Tijolo cerâmico maciço – 10,00cm	3,70 W/(m²K)	133 kj/(m²K)	
A, B , C e D	Argamassa de reboco externo- 1,00cm	1,85 W/(m²K)	79,12 kj/(m²K)	
	Concreto celular – 6,00cm			
	Argamassa de reboco interno- 1,00cm			

As coberturas das zonas bioclimáticas 4 e 7 apresentam os mesmos limites de transmitância térmica, portanto foram configuradas com os mesmo materiais, conforme Tabela 30.

Tabela 30: Composição da cobertura da zona bioclimática 4 e 7

Nível de Eficiência Energética	Composição das Coberturas	Transmitância Térmica	Figuras
Nível A	Argamassa de reboco externo - 1cm	1,00 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado - 2,5 cm		
	Laje de concreto - 10 cm		
	Argamassa de reboco interno 1cm		
Nível B	Argamassa de reboco externo 1cm	1,50 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado – 1,6 cm		
	Laje de concreto - 10 cm		
	Argamassa de reboco interno 1cm		
Nível C	Argamassa de reboco externo 1cm	2,00 W/(m²K)	
	Poliestireno extrudado - 0,85 cm		
	Laje de concreto - 10 cm		
	Argamassa de reboco interno 1cm		

Nas aberturas foram configurados vidros simples incolor de 3mm com fator solar de 0,87. O piso dos modelos foi configurado com camada de aterro de 45cm, uma contrapiso de concreto de 10cm, uma camada de argamassa de 2,5cm e piso cerâmico de 1,00 cm, resultando em uma transmitância térmica de 1,90 W/(m².K).

Quanto ao valor de infiltração do ar, foi adotado 0,5 trocas de ar por hora baseado no trabalho de Carlo (2008). Para este parâmetro, considerou-se o período de 24h.

3.6. Comparação do consumo dos edifícios com envoltória Nível A, B, C e D com diferentes densidades de carga interna de equipamento

A partir das simulações, foi obtido o consumo energético anual de cada modelo. Com esses dados foi possível avaliar e comparar o desempenho energético para as diferentes configurações da envoltória de acordo com o RTQ-C. Os modelos atendendo aos pré-requisitos da envoltória para o nível de eficiência energética A, apresentam paredes e coberturas mais isoladas que os demais níveis de eficiência energética do RTQ-C. Em virtude dos edifícios de escritório apresentarem uma quantidade de equipamentos que geram calor significativo no interior do ambiente, é importante esta análise para observar qual é a envoltória mais adequada para este tipo de edificação. Nos resultados, é possível verificar o desempenho energético de cada modelo com diferentes densidades de carga interna.

3.7. Análise dos Resultados

A análise dos resultados foi dividida para cada zona bioclimática. Primeiro foram avaliadas as densidade de equipamento média e alta, de acordo com a ASHRAE (2009) em cada zona bioclimática estudada. A análise da zona bioclimática 1, está dividida conforme o item abaixo, já para as zona bioclimáticas 4 e 7, foi realizada apenas a análise do consumo anual de energia.

Após, foi feita uma análise da DCI 25W/m² a qual foi adotada por Carlo (2008). Nesta avaliação utilizou-se somente o modelo 1, o qual também é baseado no estudo de Carlo (2008) e foram analisados os resultados para as zonas bioclimáticas 1,4 e 7.

Ao observar os resultados encontrados nas zonas bioclimáticas analisadas, foi possível propor valores de transmitância térmica para envoltória diferentes dos limites encontrados atualmente no RTQ-C. Esses limites foram propostos a partir dos resultados do consumo energético obtidos nas simulações, considerou-se o modelo com pior desempenho energético, o indicador de consumo máximo da envoltória e o modelo com menor consumo energético, o indicador de consumo mínimo da envoltória. Em seguida foi calculado o intervalo, para encontrar o valor de consumo energético limite para cada nível. No apêndice, apresenta-se o cálculo do intervalo e o limite do consumo energético para cada nível. Com o limite energético, foram propostos valores limites de transmitância térmica para paredes e coberturas. Na zona bioclimática 1, optou-se por considerar os valores limites da cobertura já existente e variar somente os valores limites da transmitância térmica das paredes.

3.7.1. Análise dos Resultados para a zona bioclimática 1

Na zona bioclimática 1, foi realizada a análise anual do consumo de energia e também uma análise outono e inverno e primavera e verão. Apenas nesta zona bioclimática foi realizada esta avaliação porque é a única entre as zonas bioclimáticas analisadas que apresenta inverno e verão bem distintos.

Outra particularidade da Zona Bioclimática 1 é que, ao avaliar os resultados foi possível perceber que os modelos com Fator de Forma mínimo (0,17) não apresentaram diferença nos resultados na densidade média e alta. Enquanto que para o modelo com Fator de Forma máxima (0,60), pode-se observar que a densidade de carga interna influenciou os resultados. Depois desta análise procurou-se encontrar a partir de qual Fator de Forma a densidade de carga interna não demonstrava alteração nos resultados. Para isso foram criados outros modelos, como o modelo 1, possui Fator de Forma 0,39 e a DCI influenciou nos resultados, os novos modelos para os edifícios em altura foram criados com Fator de Forma entre o 0,39 e o Fator de Forma de 0,17 (mínimo).

As características da volumetria de três novos modelos criados estão na Tabela 31. Foram selecionados os modelos com Fator de Forma 0,25; Fator de Forma 0,30 e o Fator de Forma 0,35, porque com estes modelos é possível observar até qual Fator de Forma a DCI influencia nos resultados. As Figuras 16, 17 e 18 ilustram os modelos.

Tabela 31: Características da volumetria Fator de Forma 0,25; 0,30 e 0,35

	Modelo Fator de Forma 0,25	Modelo Fator de Forma 0,30	Modelo Fator de Forma 0,35
Dimensão	53,00m x 11,00m	40,00m x 9,00m	27,00m x 8,00m
Altura	30,00m	30,00m	30,00m
Área por pavimento	583,00m ²	360,00m ²	216,00m ²
Área total	5.830,00m ²	3.600,00m ²	2.160,00m ²
Fator Forma	0,25	0,30	0,35
Fator Altura	0,10	0,10	0,10
Número de pavimentos	10,00	10,00	10,00

Figura 16: Modelo Fator de Forma 0,25 - edifício em altura

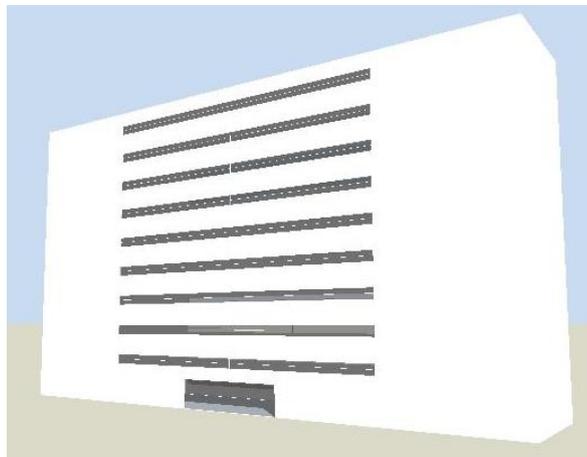


Figura 17: Modelo Fator de Forma 0,30 - edifício em altura

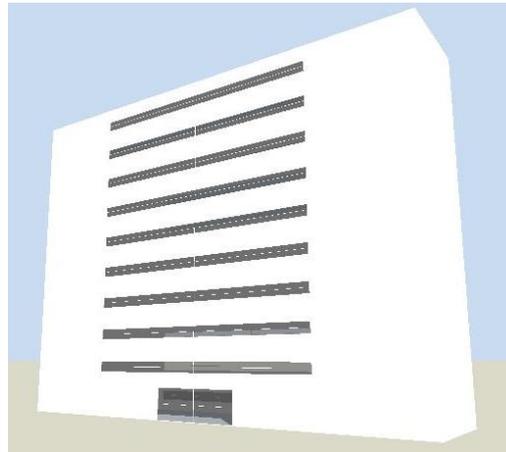
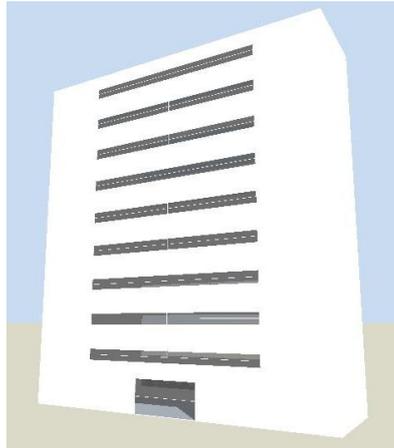


Figura 18: Modelo Fator de Forma 0,35 - edifício em altura



Para os edifícios de um pavimento, foram criados 4 novos modelos, entre o Fator de Forma mínimo 0,17 e o Fator de Forma máximo 0,60. As características da volumetria desses modelos estão na Tabela 32, a seguir, e as Figuras 19, 20, 21 e 22 ilustram os modelos.

Tabela 32: Características da volumetria dos modelos de 1 pavimento

	Modelo Fator de Forma 0,25	Modelo Fator de Forma 0,30	Modelo Fator de Forma 0,35	Modelo Fator de Forma 0,45
Dimensão	70m x 55m	75m x 65m	50m x 30m	20m x 16m
Altura	5 m	4 m	4 m	4 m
Área por pavimento	3.850 m ²	4.875m ²	1.500 m ²	320
Área total	3.850 m ²	4.875m ²	1.500 m ²	320
Fator Forma	0,25	0,30	0,35	0,45
Fator Altura	1	1	1	1
Número de pavimentos	1	1	1	1

Figura 19: Modelo Fator de Forma 0,25 - edifício de 1 pavimento

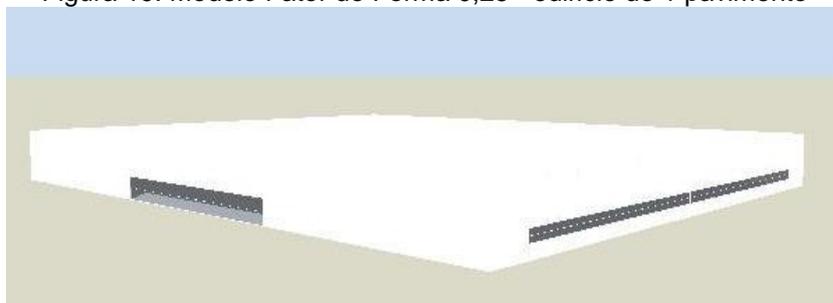


Figura 20: Modelo Fator de Forma 0,30 - edifício de 1 pavimento

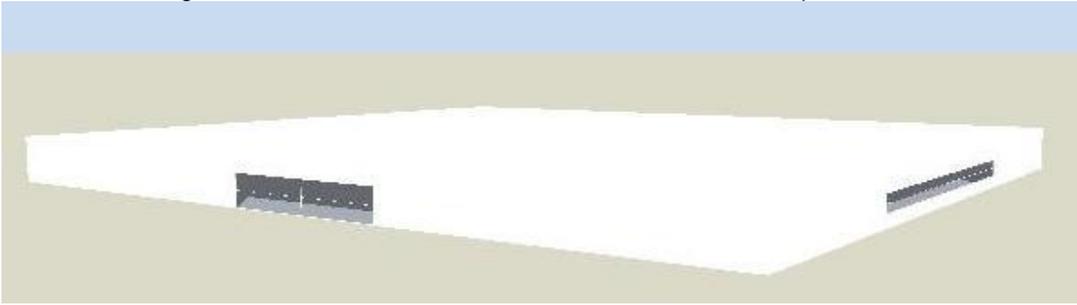


Figura 21: Modelo Fator de Forma 0,35 - edifício de 1 pavimento

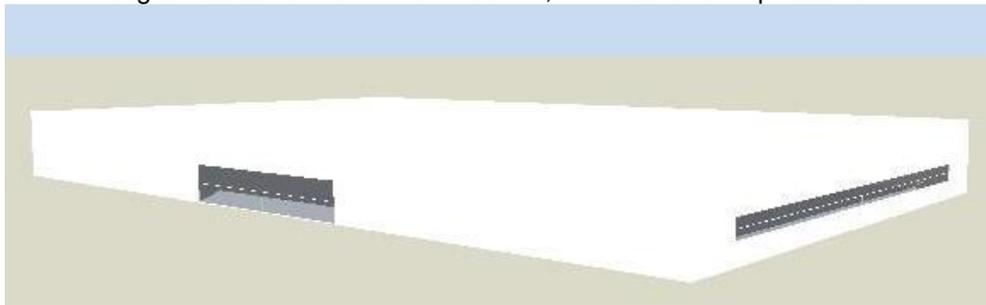
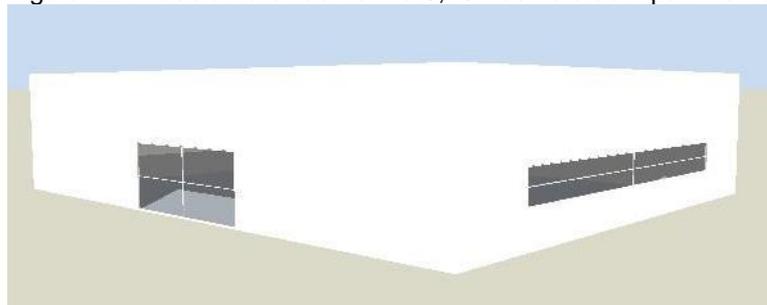


Figura 22: Modelo Fator de Forma 0,45 - edifício de 1 pavimento



4. Análise dos Resultados

Neste capítulo são analisados os resultados do desempenho energético das transmitâncias térmicas da envoltória para níveis de eficiência de acordo com o RTQ-C. Primeiro, são apresentados os resultados da zona bioclimática 1, em seguida da zona bioclimática 4 e por último da zona bioclimática 7.

4.1. Resultados zona bioclimática 1

Na zona bioclimática 1, os resultados foram divididos em duas partes: primeiro foi feita uma análise anual, em seguida foi feita uma análise do outono e inverno e primavera e verão. Apenas nessa zona bioclimática foi realizada esta análise porque é a única entre as zonas bioclimáticas analisadas que apresenta inverno e verão bem distintos, como já comentado antes.

4.1.1. Análise do consumo energético anual

4.1.1.1. Resultados do Modelo 1

No modelo 1, edifício de escritórios baseado no modelo de Carlo (2008), foi possível observar que, para os casos com densidade média ($37,70\text{W}/\text{m}^2$), os exemplares configurados atendendo aos pré-requisitos da envoltória para nível B apresentaram o melhor desempenho energético, enquanto que os exemplares atendendo aos pré-requisitos da envoltória para nível A (Figura 23) demonstraram o maior consumo energético, devido principalmente ao fato desta envoltória ser mais isolada, impedindo a troca do calor interno para o meio externo. No modelo com percentual de área de abertura na fachada total (PAFT) 0,15, o aumento da transmitância da envoltória do nível A para o nível B diminuiu o consumo anual em 6,30% (2.300 kWh). Neste caso, o consumo do sistema de ar condicionado apresentou uma redução de 45,59% (2.805 kWh), sendo que o condicionamento de

ar para resfriamento demonstrou uma redução de 47,65% (2.886 kWh), conforme Tabela 33.

A partir do PAFT 0,20 o nível C apresenta um menor consumo energético, uma pequena diferença de (67 kWh) em relação ao modelo nível B. Tanto os modelos níveis B e C diminuíram o consumo para aquecimento no PAFT 0,20 em relação ao PAFT 0,15, como aumentam para resfriamento, de acordo com a Tabela 34. Porém, o nível C, por apresentar uma maior transmitância permite uma maior troca com o meio externo necessitando um menor consumo energético para resfriamento, apresentando assim um menor consumo energético.

Figura 23: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1 – DCI média

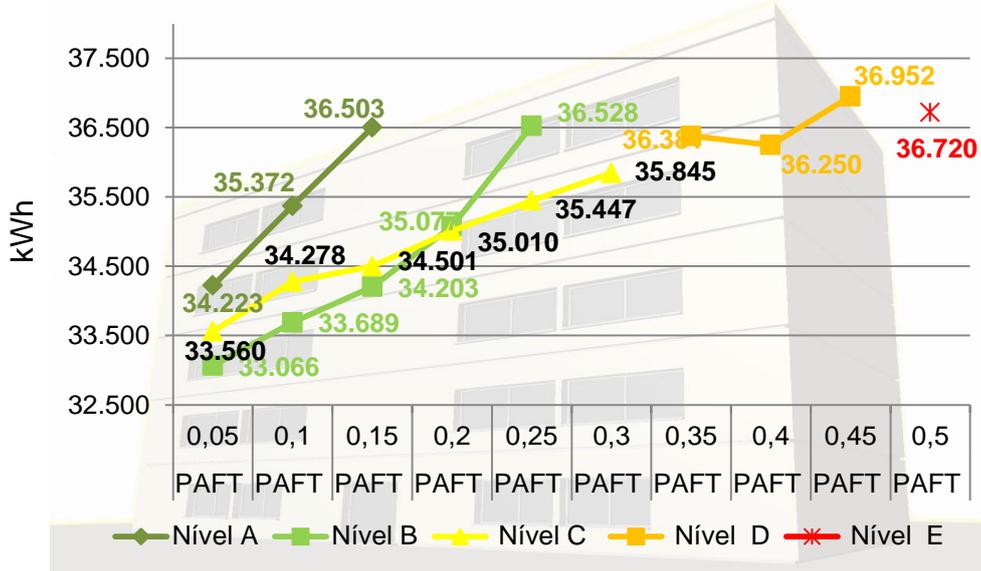


Tabela 33: Consumo do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	96 kWh	6.057 kWh	6.153 kWh
Nível B	177 kWh	3.171 kWh	3.348 kWh
Nível C	796 kWh	2.727 kWh	3.523 kWh

Tabela 34: Consumo do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,20 – DCI média

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível B	124 kWh	4.099 kWh	4.223 kWh
Nível C	650 kWh	3.426 kWh	4.076 kWh

Analisando os modelos com a densidade alta ($54,88 \text{ W/m}^2$), a envoltória que apresenta um maior isolamento térmico (nível A) demonstrou um consumo energético superior às amostras com envoltórias de maior transmitância térmica (nível B e C). Os modelos com características da envoltória nível C apresentaram o melhor desempenho energético (Figura 24). Com o aumento do calor interno, os edifícios mais isolados (nível A e B) necessitam um maior uso do sistema de condicionamento de ar para resfriamento, por não permitirem que o calor interno se dissipe para o meio externo.

No modelo PAFT 0,15, o aumento da transmitância térmica da envoltória do nível A para o nível B e C, reduziu o consumo anual em 6,54% (4.177 kWh) e 10,86% (6.932 kWh) respectivamente. Analisando somente o sistema de condicionamento de ar, a economia foi de 33,90% (4.178,41 kWh) para o Nível B. Já para o modelo com envoltória atendendo aos pré-requisitos para o nível C, a redução do consumo do ar condicionado foi de 49,77% (6.134,24 kWh). Importante salientar, que para este percentual de abertura na fachada, o consumo de condicionamento de ar para aquecimento do modelo com envoltória para nível A é insignificante conforme pode ser visto na Tabela 35.

Figura 24: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1 – DCI alta

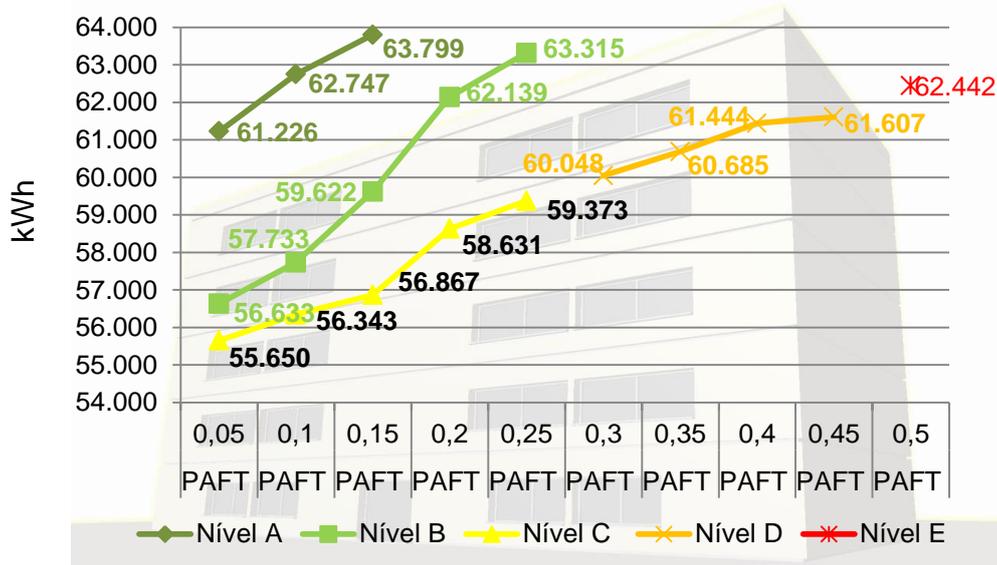


Tabela 35: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI alta

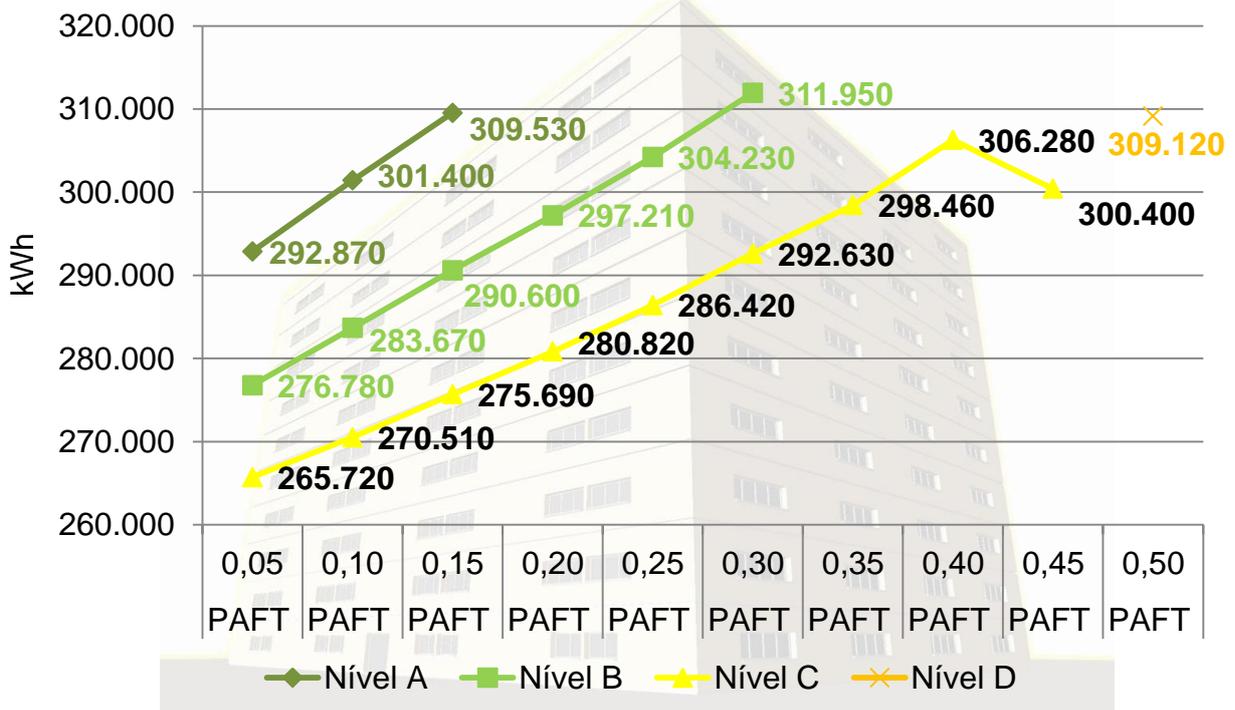
Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	1,78 kWh	12.322 kWh	12.323,78 kWh
Nível B	41,37 kWh	8.104 kWh	8.145,37 kWh
Nível C	405,54 kWh	5.784 kWh	6.189,54 kWh

Nestes casos pode-se perceber que a envoltória mais isolada termicamente (nível A), apresenta um consumo energético superior, ocasionado pelo o aumento da densidade de carga interna que causa um acréscimo de calor interno, o qual não consegue se dissipar para o meio externo.

4.1.1.2. Resultados do modelo 2

No modelo 2, com Fator de Forma mínimo e dez pavimentos, nos exemplares com densidade média (37,70 W/m²), os modelos que apresentam um maior isolamento térmico (nível A) na envoltória, demonstraram um maior consumo de energia elétrica comparados com os modelos com maior transmitância térmica (nível B e nível C). Pode-se observar, no Figura 25, que os exemplares com a envoltória atendendo aos pré-requisitos para o nível C obtiveram o melhor desempenho energético.

Figura 25: Gráfico 3 - Consumo energético anual do modelo 2 – DCI média



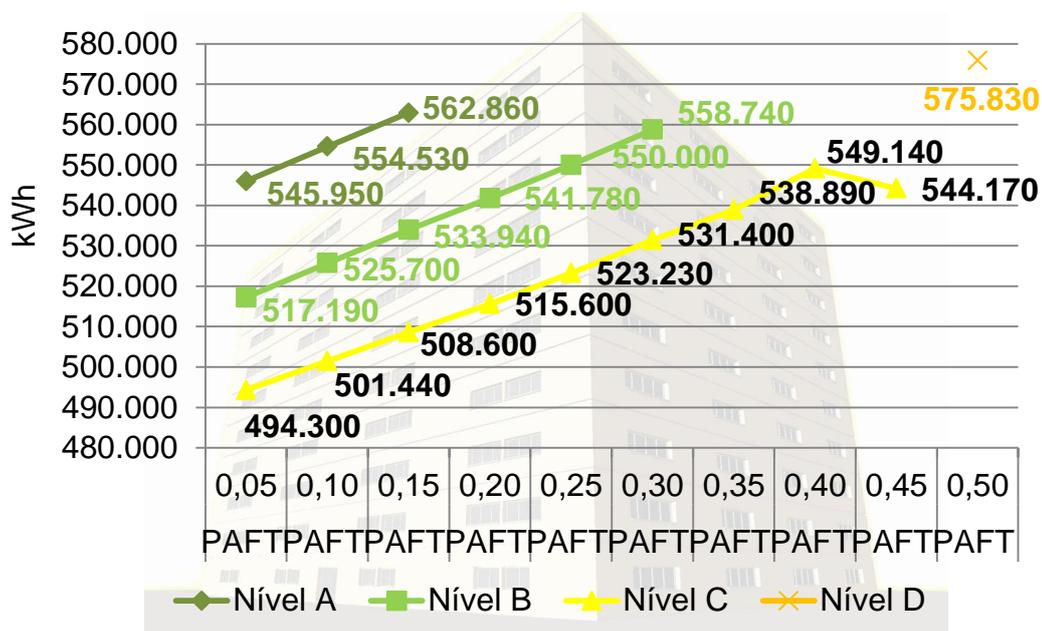
Em relação à envoltória, atendendo aos pré-requisitos para o nível A, o modelo com PAFT 0,15 apresentou as maiores diferenças de consumo energético em comparação com a envoltória com características para o nível B e nível C, sendo estas de 6,12% (18.930 kWh) e 10,93% (33.840 kWh), respectivamente. Neste caso, avaliando o sistema de condicionamento de ar (Tabela 36), o aumento da transmitância do nível A para o nível B apresentou uma economia de energia elétrica de 27,90% (19.046 kWh) e em relação à envoltória de nível C uma redução de 49,57% (33.840 kWh).

Tabela 36: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	10 kWh	68.250 kWh	68.260 kWh
Nível B	14 kWh	49.200 kWh	49.214 kWh
Nível C	960 kWh	33.460 kWh	34.420 kWh

Neste modelo a densidade de equipamentos, não influenciou nos resultados. Na DCI alta (54,88 W/m²) também foi a envoltória com maior transmitância térmica (nível C), que apresentou o melhor desempenho energético, conforme pode ser observado no Figura 26. Este fato acontece pelo superaquecimento que ocorre no interior da edificação, em virtude do isolamento térmico do modelo nível A que não permite que o calor interno se dissipe para o meio externo, principalmente pelas paredes, e isto já pode ser percebido na DCI média.

Figura 26: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2 – DCI alta



No modelo com PAFT 0,15, o aumento da transmitância da envoltória do nível A para o nível B reduziu o consumo anual de energia em 5,13% (28.920 kWh), e em relação ao nível C apresenta uma economia ainda maior de 9,64% (54.260 kWh). Neste caso, avaliando o sistema de condicionamento de ar (Tabela 37), o aumento da transmitância do nível A para o nível B demonstrou uma redução no consumo de energia de 20,30% (28.920 kWh), e em relação à envoltória de nível C uma economia anual de 22% (31.342 kWh). O modelo com a envoltória atendendo aos pré-requisitos para o nível A não necessitou do sistema de condicionamento de ar para aquecimento, embora a pesquisa tenha sido realizada para a cidade de Curitiba, a qual apresenta um inverno rigoroso. Este fato demonstra que o calor interno gerado pela grande quantidade de equipamentos é suficiente para suprir o aquecimento necessário para fim de conforto.

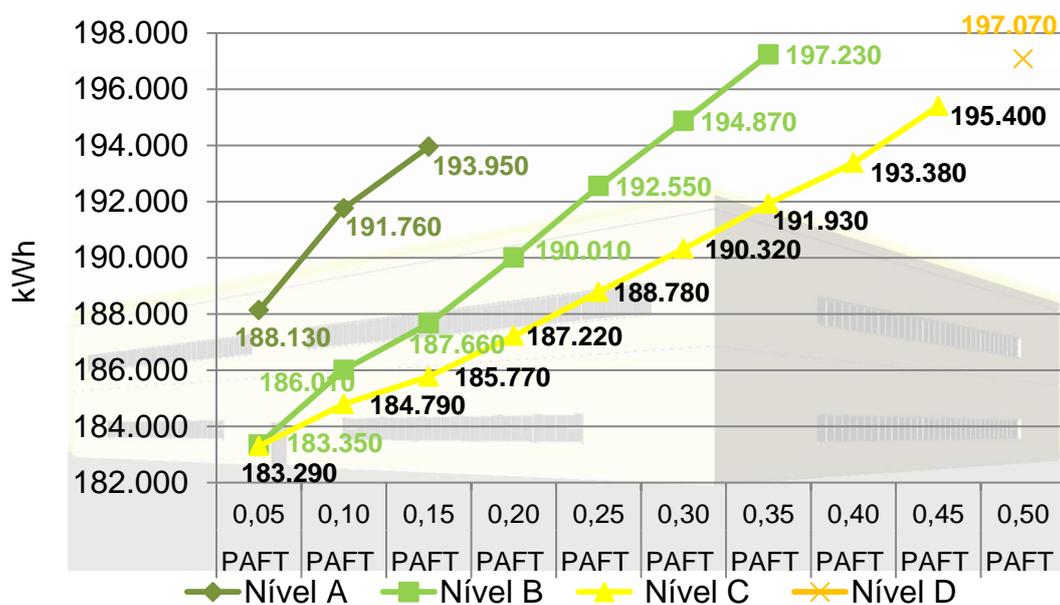
Tabela 37: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta

Consumo anual sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	142.470 kWh	142.470 kWh
Nível B	30 kWh	113.520 kWh	113.550 kWh
Nível C	270 kWh	87.950 kWh	111.128 kWh

4.1.1.3. Resultados do modelo 3

No modelo 3, com Fator de Forma mínimo e dois pavimentos, foi possível observar que, nos casos com densidade média (37,70 W/m²), os exemplares que apresentam um maior isolamento térmico na envoltória (nível A), demonstraram um maior consumo de energia elétrica em relação aos modelos com maior transmitância térmica (nível B e nível C). O modelo nível C apresentou o melhor desempenho energético, sendo no PAFT 0,05, o modelo com envoltória atendendo aos pré-requisitos para o nível B apresentou uma pequena diferença no consumo energético em relação ao modelo nível C, sendo esta uma diferença de 0,03% (60 kWh). A Figura 27 e apresenta os resultados para o modelo 3.

Figura 27: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3 – DCI média



Na amostra com PAFT 0,15, foi possível observar que aumento do isolamento térmico da envoltória para o nível A conduziu a um aumento no consumo anual de energia elétrica de 4,21% (8.180 kWh), e para o nível B de 1% (1.890 kWh) em relação ao modelo nível C.

Avaliando o sistema de condicionamento de ar, neste PAFT 0,15, o modelo atendendo aos pré-requisitos para o nível A apresenta maior consumo energético. Aumentando a transmitância térmica da envoltória para o nível B, reduziu-se o consumo em 23,78% (6.300 kWh). Já em relação a envoltória de acordo com o nível C obteve-se uma economia de 30,86 % (8.180 kWh) em comparação ao modelo nível A. A Tabela 38 apresenta os consumos anuais do condicionamento de ar para o modelo 3.

Tabela 38: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo anual sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	320 kWh	26.180 kWh	26.500 kWh
Nível B	980 kWh	19.220 kWh	20.200 kWh
Nível C	3.210 kWh	15.110 kWh	18.320 kWh

Neste modelo, assim como no modelo 2, a DCI de equipamentos não influenciou nos resultados. A envoltória que apresenta maior isolamento térmico (nível A) demonstra o maior o consumo anual de energia. E o modelo nível C

apresenta o melhor desempenho energético (Figura 28). A maior diferença de consumo energético entre os níveis pode ser observada no PAFT 0,15. Neste caso o aumento da transmitância térmica do modelo nível A para o nível B reduz o consumo energético em 3,77% (13.800 kWh) e para o nível C economiza 6,43% (23.570 kWh)

Em relação ao sistema de condicionamento de ar, envoltória com maior isolamento térmico (nível A) apresenta o maior consumo energético (Tabela 39). O aumento da transmitância térmica atendendo aos pré-requisitos para nível B e C, provoca uma economia de 21,01% (13.800 kWh) e 37,53% (24.650 kWh), respectivamente.

Figura 28: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3 – DCI alta

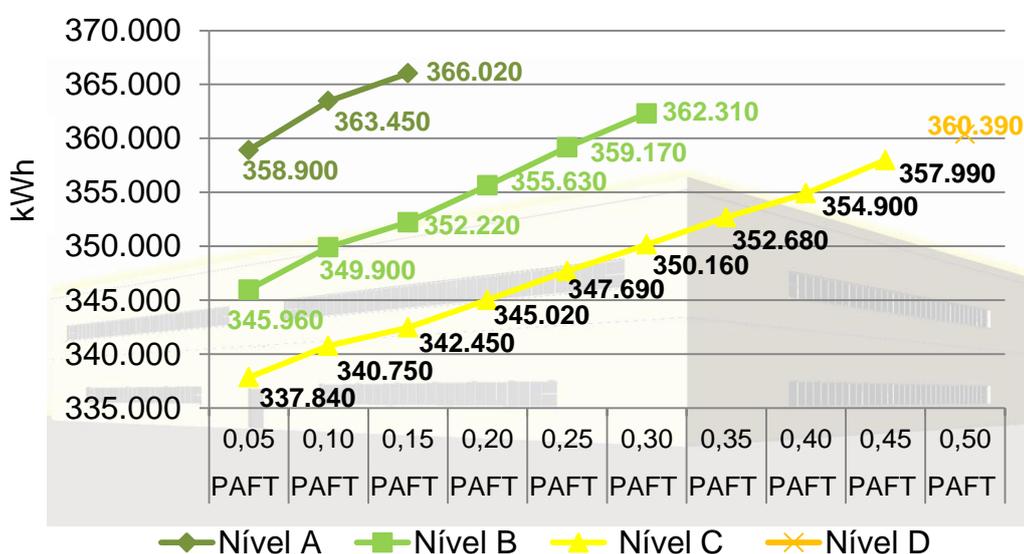


Tabela 39: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI alta

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	100 kWh	65.570 kWh	65.670 kWh
Nível B	390 kWh	51.480 kWh	51.870 kWh
Nível C	120 kWh	40.900 kWh	41.020 kWh

4.1.1.4. Resultados do modelo 4

No modelo 4, com Fator de Forma máximo e dez pavimentos, com densidade de equipamentos média (37,70 W/m²), pode-se observar, que conforme mudava o percentual de abertura na fachada, alterava os resultados (Figura 29). No PAFT 0,05, o modelo de nível C apresentou o maior consumo energético, uma diferença de 2,45% (459 kWh) para o modelo do nível A. O Modelo nível C, como

demonstrou as maiores perdas de calor pela envoltória (cobertura e parede), necessitou um maior consumo energético para aquecimento, por tanto consumiu mais energia que os modelos de outros níveis. A partir do PAFT 0,10, com o aumento de ganhos de calor por radiação, os modelos níveis A, começam a consumir mais energia. Isso ocorre devido ao superaquecimento provocado pelo isolamento da envoltória o qual dificulta que o calor se dissipe para o exterior da edificação. Desta forma, os modelos níveis A, apresentam um maior consumo energético para resfriamento, e por consequência consomem mais energia que os demais níveis (B e C).

O modelo nível A no PAFT 0,15 apresentou um consumo energético de resfriamento 44,10% (1.556 kWh) a mais que o modelo nível B e 56,77% (2.003 kWh) superior ao nível C. Já os modelos níveis B, foram que apresentaram melhor desempenho energético até o PAFT 0,15, em virtude de manter as temperaturas internas mais amenas, não necessitando muita energia nem para aquecer e nem para resfriar (Tabela 40). A partir do PAFT 0,20, quando aumentam os ganhos provenientes da radiação solar, os modelos níveis B necessitam maior consumo energético para resfriamento, o que acarreta um maior consumo energético em relação aos modelos níveis C.

Figura 29: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4 – DCI média

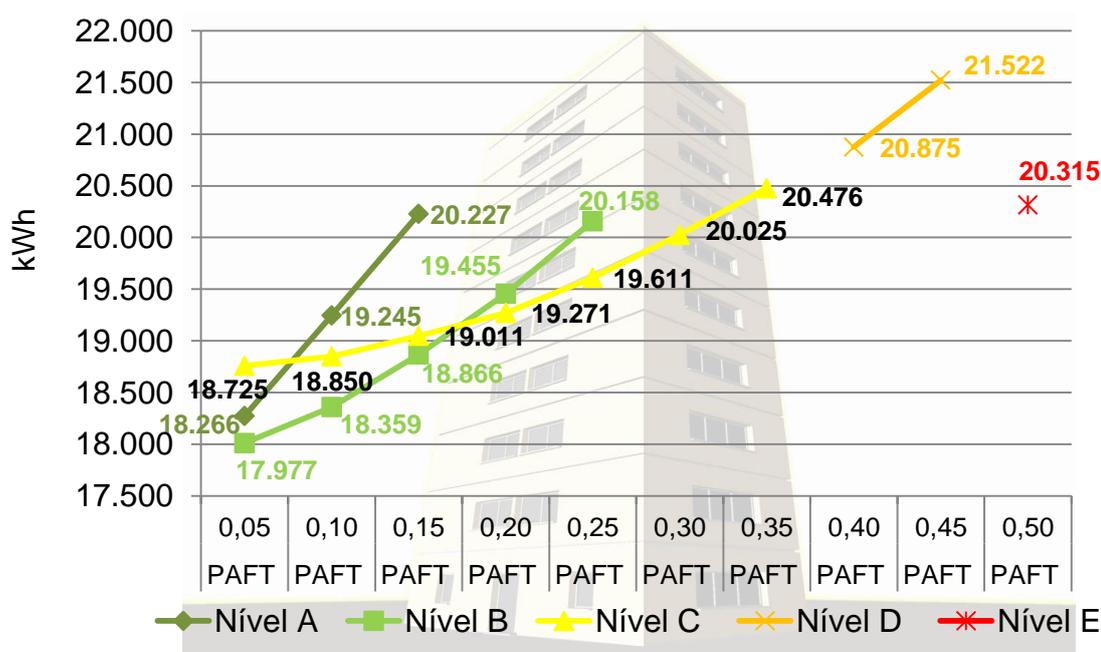


Tabela 40: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	16,43 kWh	3.528 kWh	3.544,43 kWh
Nível B	211 kWh	1.972 kWh	2.183 kWh
Nível C	803 kWh	1.525 kWh	2.328 kWh

Com o aumento da DCI de equipamentos, os modelos nível C apresentaram o melhor desempenho energético (Figura 30). Conforme já mencionado, os modelos nível C por apresentarem uma maior transmitância térmica, permitem uma maior troca com o meio externo, possibilitando assim que o calor gerado pelo aumento da DCI de equipamentos possa se dissipar para o meio externo, necessitando menor consumo energético para resfriamento. Ao avaliar a diferença de consumo entre os modelos com pré-requisitos do nível C e os modelos de nível A e B, pode-se perceber, no exemplar de PAFT 0,15, a diferença de 9,40% (3.335 kWh) e de 2,35% (765 kWh), respectivamente.

Os modelos mais isolados termicamente (nível A e B) acabam gerando um superaquecimento no interior da edificação, o que acarreta um maior uso do sistema de resfriamento e, por consequência, um maior consumo energético, como pode ser observado na Tabela 41. Analisando apenas o sistema de condicionamento de ar, no modelo de PAFT 0,15, o aumento da transmitância térmica da envoltória de acordo com nível A para os níveis B e C, provoca uma economia de 36,90% (2.570 kWh) e 47,90% (3.336 kWh), respectivamente no consumo anual.

Figura 30: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4 – DCI alta

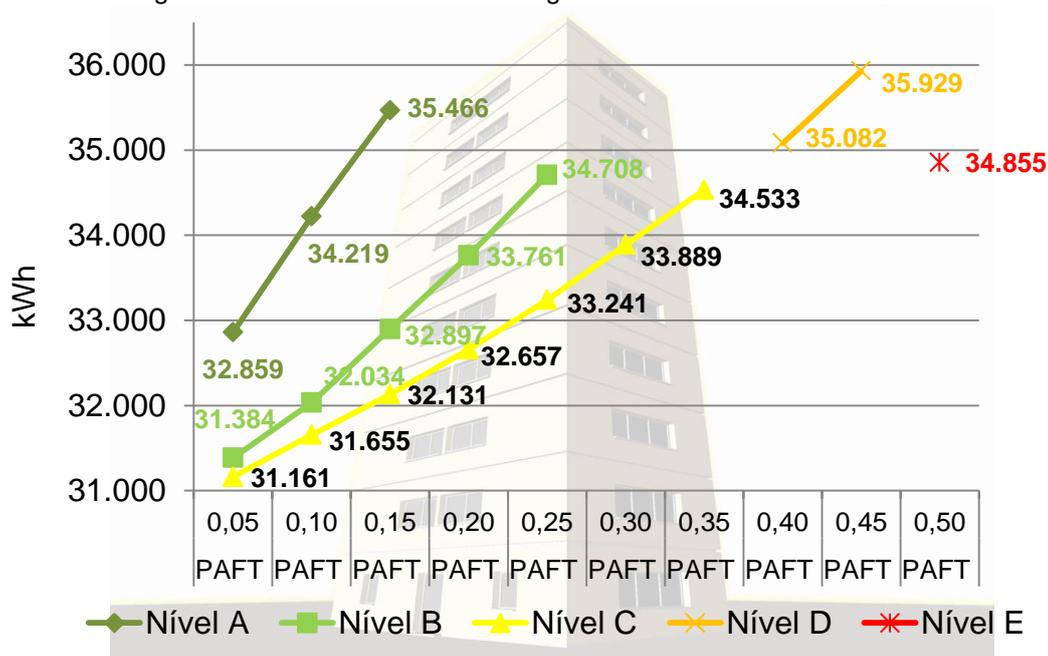


Tabela 41: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,15 – DCI alta

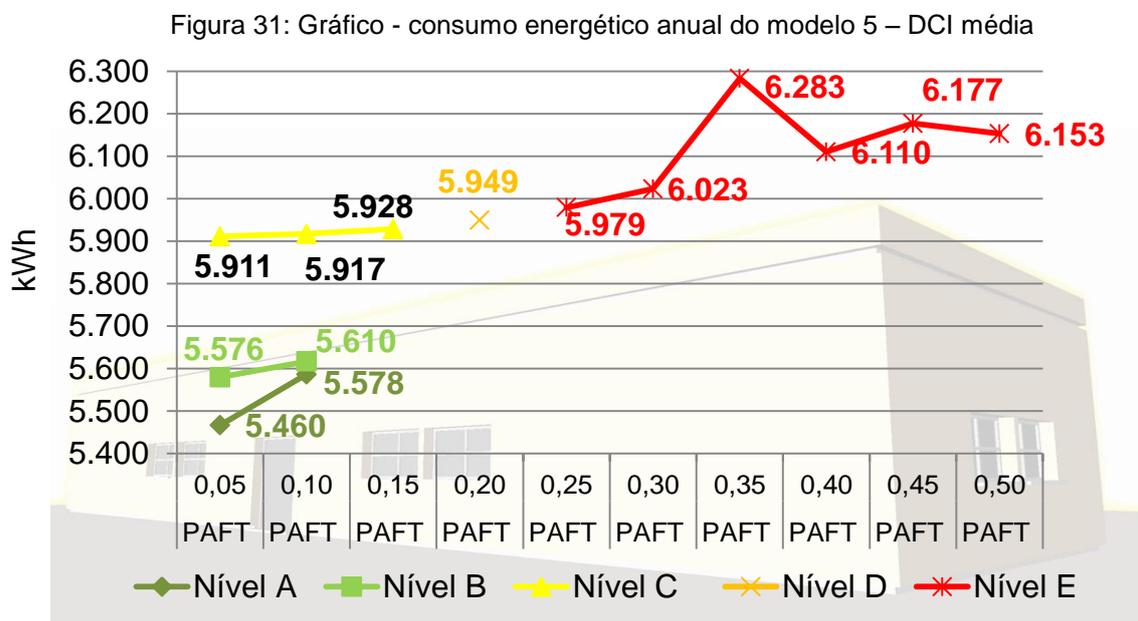
Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	3,00 kWh	6.960 kWh	6.963 kWh
Nível B	57 kWh	4.336 kWh	4.393 kWh
Nível C	348 kWh	3.279 kWh	3.627kWh

4.1.1.5. Resultados do modelo 5

No modelo 5, com Fator de Forma máximo e de um pavimento, com densidade de equipamentos média ($37,70 \text{ W/m}^2$), os exemplares com a envoltória atendendo aos pré-requisitos para nível A, apresentaram o menor consumo energético. Foi possível observar que os modelos níveis A tiveram uma maior perda de calor pelos vidros, piso térreo e infiltração. Já os modelos nível C obtiveram uma maior perda de calor pelas paredes e cobertura, como já era esperado, devido a apresentarem uma maior transmitância térmica nesses elementos. Sendo assim, por permitirem uma maior troca de calor com o meio externo, os modelos nível C apresentaram o maior consumo energético, tanto para aquecer quanto para resfriar a edificação, acarretando o maior consumo de energia em relação aos outros níveis.

No entanto, o modelo de PAFT 0,10 com envoltória atendendo aos pré-requisitos para nível B demonstra uma pequena diferença de 0,57% (32 kWh) em

relação ao modelo nível A. Já o aumento da transmitância térmica da envoltória nível A para nível C, ocasiona um acréscimo de 5,72% (339 kWh), no consumo de energia anual (Figura 31).



Analisando apenas o sistema de condicionamento de ar, no modelo de PAFT 0,10, o aumento da transmitância térmica da envoltória do nível A para o nível B e C, provoca um acréscimo de 7,00% (31 kWh) e 45,30% (337 kWh), respectivamente no consumo anual, conforme a Tabela 42.

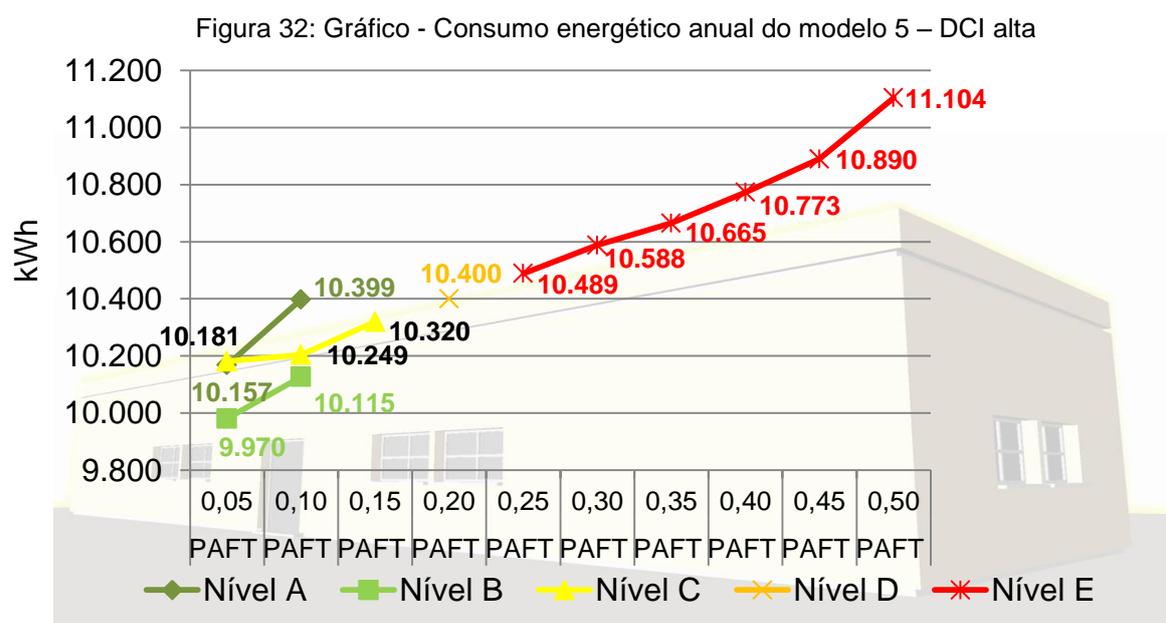
Tabela 42: consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	45 kWh	362 kWh	407 kWh
Nível B	177 kWh	261 kWh	438 kWh
Nível C	422 kWh	322 kWh	744 kWh

Na DCI alta (54,88 W/m²) no modelo com PAFT 0,05, o exemplar nível C apresentou o maior consumo energético, enquanto o nível B o menor (Figura 32). Isto se deve ao fato do modelo nível C apresentar um maior consumo energético para aquecimento, em virtude de ele apresentar maior perda de calor pelas paredes e cobertura, comparado com os modelos dos outros níveis. Já o modelo nível A, apresenta um maior consumo para resfriamento, pois apresenta as menores perdas de calor pelas paredes e cobertura, mantendo o ambiente superaquecido. Sendo assim, o modelo nível B, que é menos isolado que o nível A, apresentou o melhor

resultado, visto que ele necessita menor consumo energético para resfriamento e para aquecimento.

Já no PAFT 0,10, o modelo nível A apresentou o maior consumo energético. Com o aumento da abertura, aumentou os ganhos de calor por radiação, os quais, somados com o calor interno gerado pelos equipamentos acarretaram o aumento do superaquecimento. Sendo assim, o modelo necessitou um maior consumo energético para resfriamento, consumindo então mais energia que o modelo nível C.



Analisando os exemplares de PAFT 0,10, o modelo atendendo aos pré-requisitos da envoltória para o nível A, apresentou um consumo do sistema de condicionamento de ar para resfriamento de 35,60% (433 kWh) superior ao modelo com envoltória de acordo com o nível B. Enquanto o aumento da transmitância térmica da envoltória conforme o nível C ocasiona um aumento no consumo de condicionamento de ar para resfriamento de 37,5% (456 kWh) em relação, ao modelo de nível A, conforme a Tabela 43.

Tabela 43: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	44,63 kWh	1.216 kWh	1.260,63 kWh
Nível B	54,64 kWh	783 kWh	837,64 kWh
Nível C	210 kWh	760 kWh	970 kWh

4.1.2. Análise primavera e verão e outono e inverno

A zona bioclimática 1, apresenta diferenças significativas entre o inverno e verão. Portanto, foi realizada uma análise outono e inverno (de 21 de março a 23 de setembro) e primavera e verão (de 24 de setembro a 20 de março) com intuito de observar o comportamento das envoltórias configuradas de acordo com o RTQ-C, e analisar se, mesmo no inverno os modelos nível A sofrem superaquecimento. Os modelos foram analisados no PAFT 0,15, por ser o PAFT limite para o nível A. Apenas o modelo 5 foi avaliado no PAFT 0,10 por este ser o limite para o nível A. Na Tabela 44, a seguir, encontra-se a síntese dos resultados.

Tabela 44: Síntese dos resultados da análise de outono e Inverno e primavera e Verão

Resultados Outono/Inverno e Primavera/Verão							
Modelos	Densidade de Carga interna	Nível A		Nível B		Nível C	
		Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
 Modelo 1	Média (11W/m ²)	17.520 (kWh)	18.556 (kWh)	17.004 (kWh)	17.533 (kWh)	17.572 (kWh)	17.220 (kWh)
	Alta (21W/m ²)	30.941 (kWh)	33.449 (kWh)	29.049 (kWh)	31.151 (kWh)	28.879 (kWh)	30.202 (kWh)
 Modelo 2	Média (11W/m ²)	149.050 (kWh)	163.650 (kWh)	140.830 (kWh)	152.980 (kWh)	136.410 (kWh)	142.140 (kWh)
	Alta (21W/m ²)	277.720 (kWh)	289.850 (kWh)	261.150 (kWh)	277.200 (kWh)	248.880 (kWh)	264.980 (kWh)
 Modelo 3	Média (11W/m ²)	94.941 (kWh)	103.640 (kWh)	93.474 (kWh)	95.850 (kWh)	95.649 (kWh)	98.526 (kWh)
	Alta (21W/m ²)	177.510 (kWh)	191.760 (kWh)	171.120 (kWh)	184.200 (kWh)	171.440 (kWh)	184.580 (kWh)
 Modelo 4	Média (11W/m ²)	9.661 (kWh)	10.786 (kWh)	9.386 (kWh)	9.662 (kWh)	9.846 (kWh)	9.308 (kWh)
	Alta (21W/m ²)	16.987 (kWh)	18.821 (kWh)	16.012 (kWh)	17.201 (kWh)	15.990 (kWh)	16.427 (kWh)
 Modelo 5	Média (11W/m ²)	2.858 (kWh)	2.775 (kWh)	2.959 (kWh)	2.692 (kWh)	3.197 (kWh)	2.760 (kWh)
	Alta (21W/m ²)	5.113 (kWh)	5.374 (kWh)	5.062 (kWh)	5.146 (kWh)	5.216 (kWh)	5.118 (kWh)

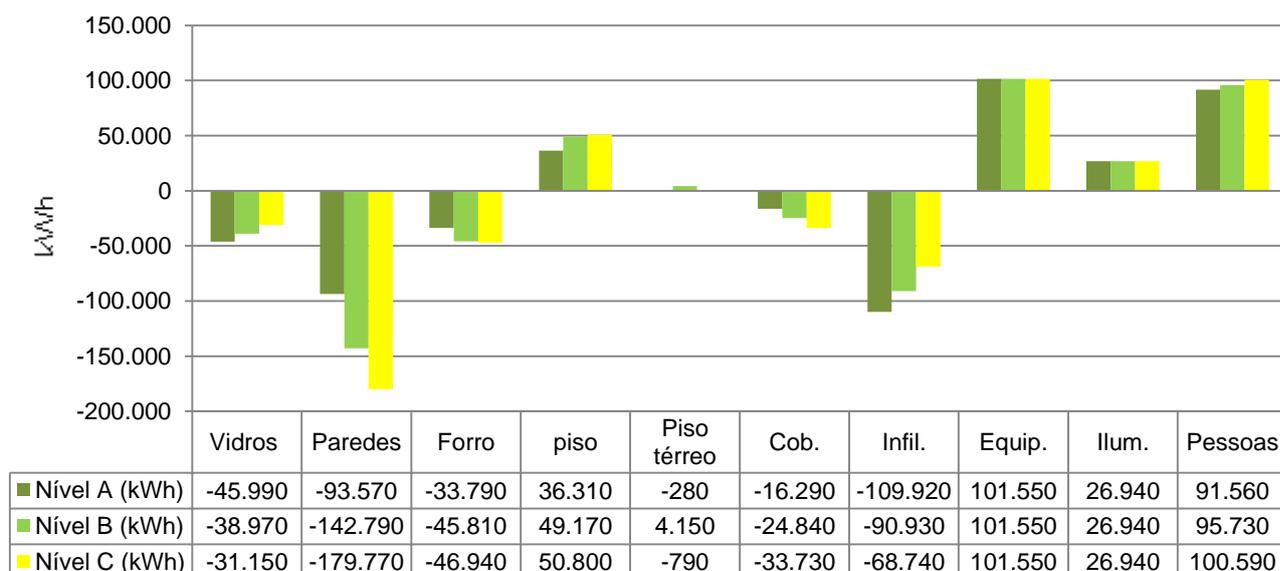
4.1.2.1. Análise DCI média outono e inverno

Nos resultados encontrados para a DCI média ($37,70 \text{ W/m}^2$), observa-se que no outono e inverno, o modelo nível A apresentou o maior consumo energético para o modelo 2, de 10 pavimentos. Já a envoltória de acordo com o nível C, demonstra os maiores consumos de energia em todos os modelos, exceto o modelo 2, o qual possui 10 pavimentos e Fator de Forma mínimo (0,17).

A envoltória configurada de acordo com o nível B apresentou o melhor desempenho energético em 3 modelos, modelo 1, de 5 pavimentos, modelo 3, de 2 pavimentos e o modelo 4, de 10 pavimentos. Já envoltória nível A apresenta o melhor desempenho apenas no modelo 5, o qual é de um pavimento. A envoltória conforme o nível C demonstra o menor consumo energético no modelo 2, o qual possui 10 pavimentos e Fator de Formar mínimo (0,17).

Para maior clareza dos resultados realizou-se uma análise dos fluxos térmico da edificação, considerado as trocas por condução, convecção e os ganhos internos. Para isso, selecionou-se o modelo 2, o qual é de 10 pavimentos e apresentou o maior consumo energético para o modelo nível A (Figura 33), e o modelo 5, de apenas 1 pavimento, no qual o exemplar nível A apresentou o melhor desempenho energético.

Figura 33: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI Média Outono e inverno



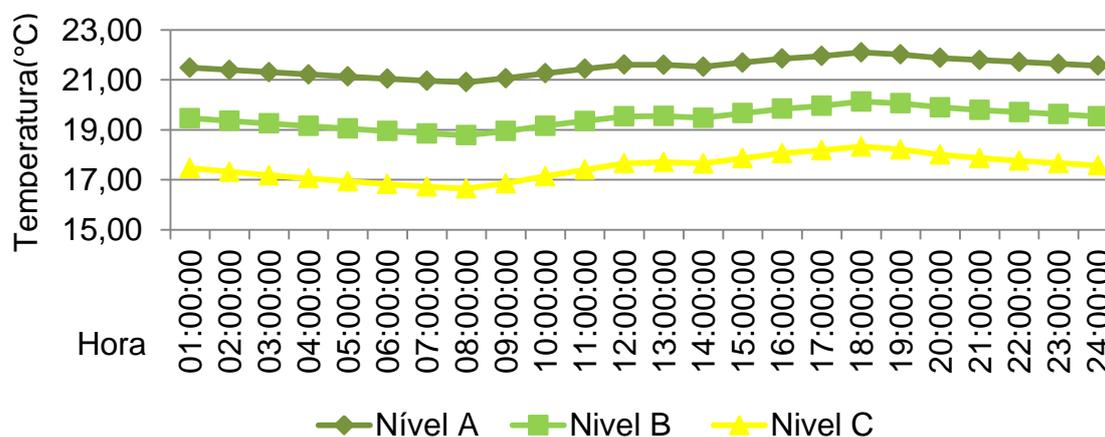
Ao avaliar os resultados do modelo 2, é possível observar que o modelo nível C apresenta uma maior perda de calor pela envoltória, principalmente pelas paredes (-179.770 kWh), como já esperado por apresentar uma maior transmitância térmica, e também demonstra uma perda significativa por infiltração (-68.740 kWh). Desta forma o modelo nível C apresentou um menor consumo para resfriamento como pode ser observado na Tabela 45.

Tabela 45: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	10 kWh	20.560 kWh	20.570 kWh
Nível B	12 kWh	12.220 kWh	12.232 kWh
Nível C	890 kWh	7.030 kWh	7.920 kWh

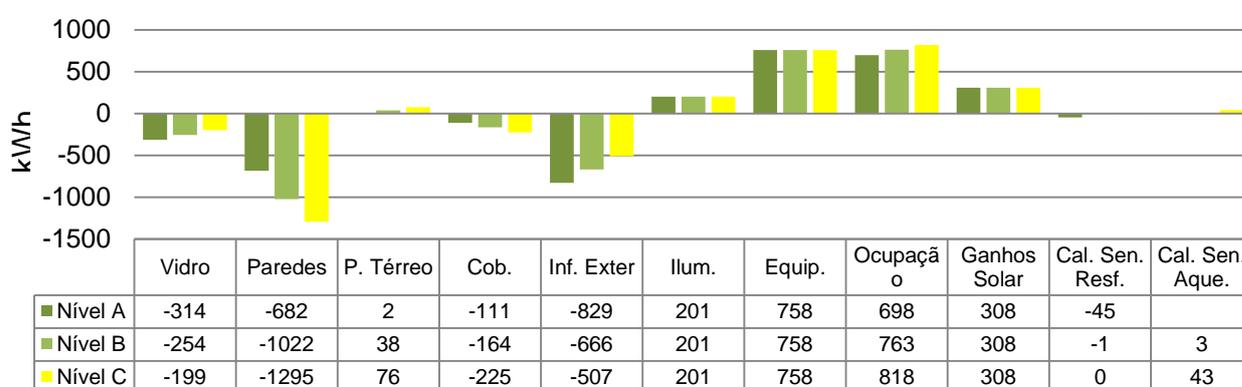
Pode-se observar que, mesmo no inverno todos os modelos (níveis A, B e C) necessitam resfriamento, principalmente o modelo nível A, por apresentar o maior isolamento. O modelo nível A apresentou a maior perda de calor por infiltração (109.920 kWh) devido às paredes demonstrarem uma maior temperatura radiante conforme Figura 34, desta forma, devido às trocas de calor por convecção, apresenta uma maior perda de calor por infiltração. As temperaturas radiantes foram simuladas para o PAFT 0,15 e o dia adotado foi 26 de junho, conforme o arquivo climático, é o dia mais frio, também foi realizado o fluxo térmico nesse mesmo dia (Figura 35). Deve ser observado que este fato ocorre no modelo com Fator de Forma mínimo (0,17) e com área de projeção maior que 500m². Este modelo mesmo na DCI média apresenta uma grande quantidade de calor interno necessitando assim resfriamento.

Figura 34: Gráfico - Temperatura radiante do modelo 2 no inverno



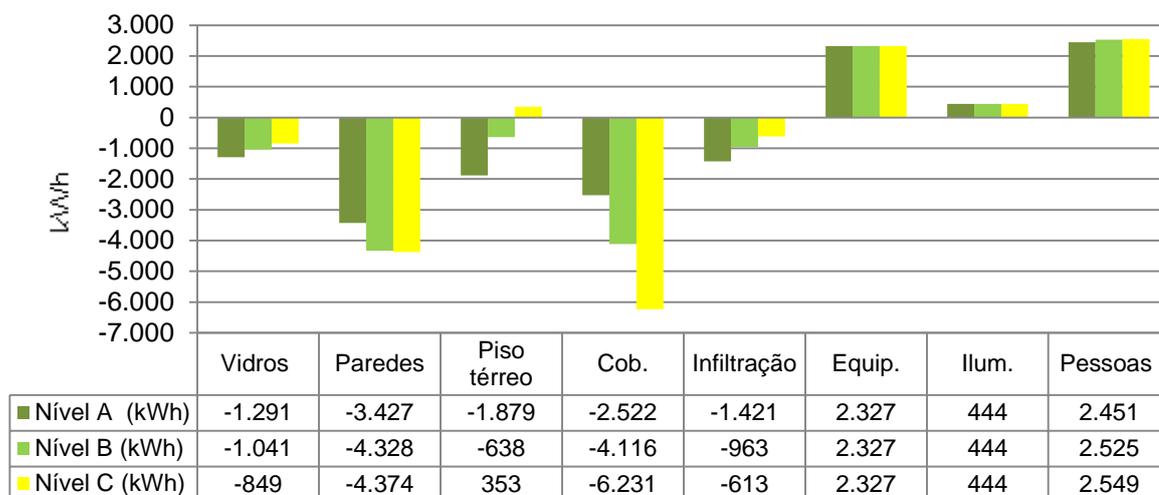
Com o fluxo térmico do dia 26 de junho (Figura 35) é possível observar que as paredes e cobertura de acordo com o nível C apresentam uma maior perda de calor para o meio externo. Já o modelo nível A como apresenta as paredes e cobertura mais isoladas demonstra uma menor perda de calor e é possível observar na Figura 34 que o modelo nível A apresentam sempre uma maior temperatura radiante interna, pois durante a noite permite uma menor dissipação do calor interno em comparação com os modelos níveis B e C, acarretando assim o maior consumo energético devido a maior necessidade de resfriamento.

Figura 35: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI média dia 26 de junho



Ao observar os resultados do modelo 5, é possível notar que o modelo nível C, demonstra uma perda significativa de calor pela cobertura (6.231 kWh), como já era esperado por ser um modelo de apenas 1 pavimento e também por apresentar uma transmitância térmica na cobertura maior que os demais modelos (nível A e B). Mas diferente do modelo 2, este modelo possui Fator de Forma máximo (0,60) e uma área de projeção menor que 500m². Portanto, na DCI média o calor gerado internamente não é muito expressivo, desta forma, o modelo nível A devido ao fato de possuir maior isolamento térmico, apresenta uma perda menor de calor pela envoltória, demonstrando o melhor desempenho energético (Figura 36).

Figura 36: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI média outono e inverno



Este modelo, conforme pode ser observado na Tabela 46, não sofreu um superaquecimento no outono e inverno, foi necessário sim resfriamento, porém o consumo do sistema de ar condicionado foi mais significativo para aquecimento. Portanto, o modelo nível C, por apresentar uma maior transmitância térmica demonstrou uma maior necessidade de aquecimento, acarretando o maior consumo energético.

Tabela 46: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média

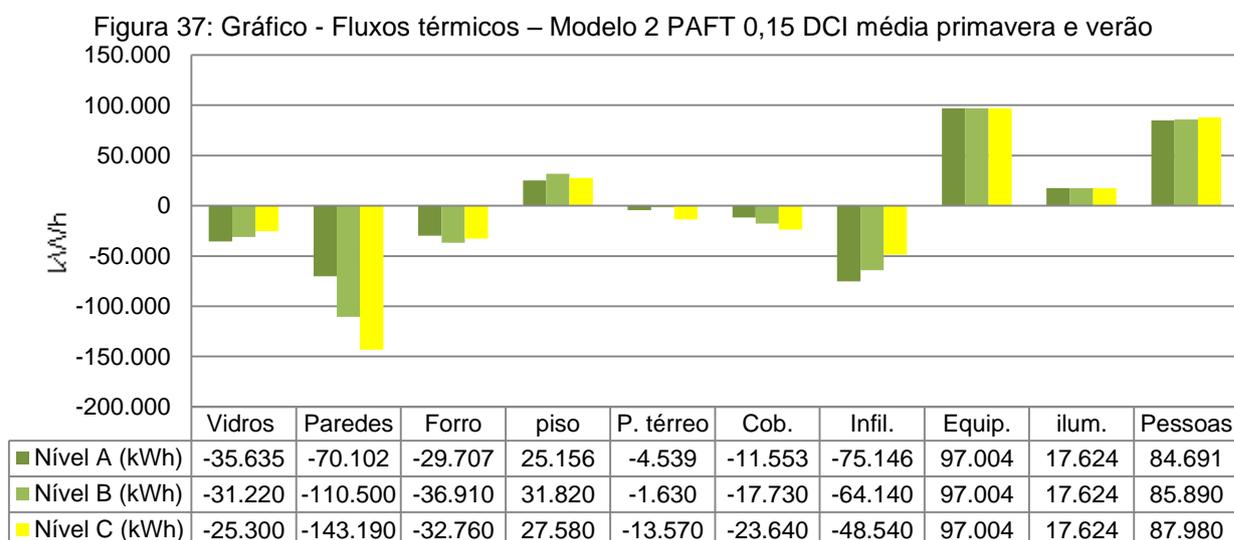
Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	42 kWh	44 kWh	86 kWh
Nível B	163 kWh	23 kWh	186 kWh
Nível C	386 kWh	39 kWh	425 kWh

4.1.2.2. Análise DCI média primavera e verão

Ao analisar os resultados de primavera e verão na DCI média, observa-se que os modelos nível A apresentam o pior desempenho energético nos cinco modelos analisados. Os modelos configurados com a envoltória nível C demonstraram o melhor desempenho energético em três modelos avaliados (modelo 1, modelo 2 e modelo 4), enquanto que a envoltória, de acordo com o nível B, demonstrou o menor consumo energético no modelo de 2 pavimentos (Modelo 3) e o modelo de 1 pavimento (modelo 5). Foram selecionados para a análise os mesmos modelos que na avaliação outono e inverno (modelo 2 e 5), com objetivo

de poder observar esses modelos nas 4 estações do ano, além de serem os modelos mais distintos em forma e tamanho.

Ao avaliar o modelo 2, PAFT 0,15, primavera e verão, foi possível observar que o exemplar configurado com nível A demonstra maiores perdas de calor por infiltração (75.146 kWh) e paredes (70.102 kWh). O modelo nível C por apresentar uma maior transmitância térmica apresenta uma perda de calor mais significativa pelas paredes (143.190 kWh), de acordo com a Figura 37. Como foi possível observar na análise de outono e inverno, o modelo 2 possui um calor interno expressivo devido a sua grande área (8.750m²). Portanto, na primavera e no verão, a necessidade de resfriamento aumenta com isso o exemplar com envoltória com maior isolamento térmico (nível A) demonstra o maior consumo energético.



Ao observar os resultados do sistema de condicionamento de ar (Tabela 47), o modelo configurado com a envoltória nível A é o único que não necessita aquecimento. Porém, devido ao isolamento térmico, apresenta o maior consumo para resfriamento, o que causa o maior consumo energético comparado aos modelos Níveis B e C. O modelo nível C, como podemos ver no gráfico dos fluxos térmicos, demonstra uma maior perda de calor. Portanto, necessitou o menor consumo do sistema de condicionamento de ar para resfriamento, apesar de precisar do sistema de condicionamento de ar para aquecimento, não representa um valor significativo comparado com a necessidade de resfriamento dos demais níveis (A e B).

Tabela 47: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	49.020 kWh	49.020 kWh
Nível B	20 kWh	38.330 kWh	38.350 kWh
Nível C	100 kWh	27.420 kWh	29.520 kWh

Na Figura 38, pode-se observar que a parede nível A apresentam uma maior temperatura radiante, justificando a maior necessidade do sistema de resfriamento. As temperaturas radiantes foram analisadas no dia 3 de Fevereiro, conforme o arquivo climático o dia mais quente. Também foi realizado o fluxo térmico nesse mesmo dia (Figura 39), que é possível observar que o modelo nível C apresentou a maior perda de calor, justificando assim as menores temperaturas radiante e consequentemente o menor consumo energético para resfriamento.

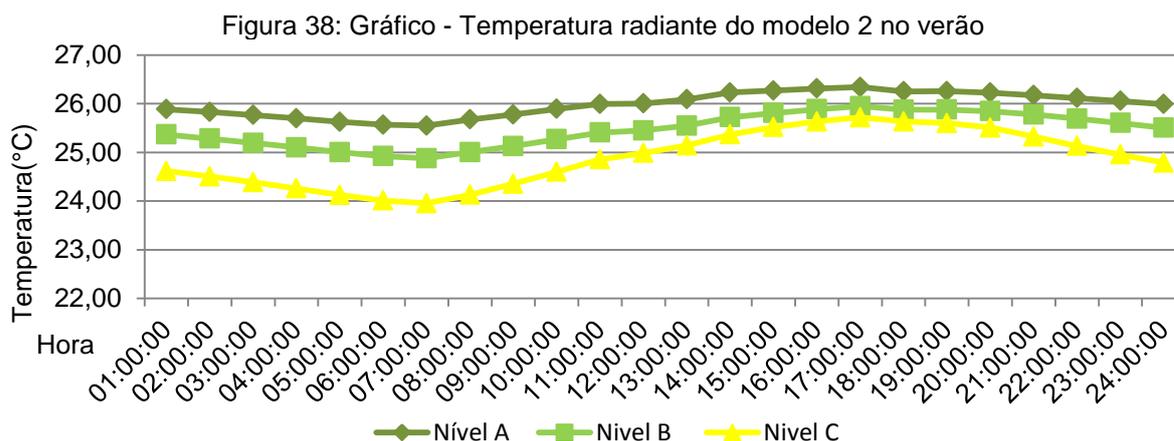
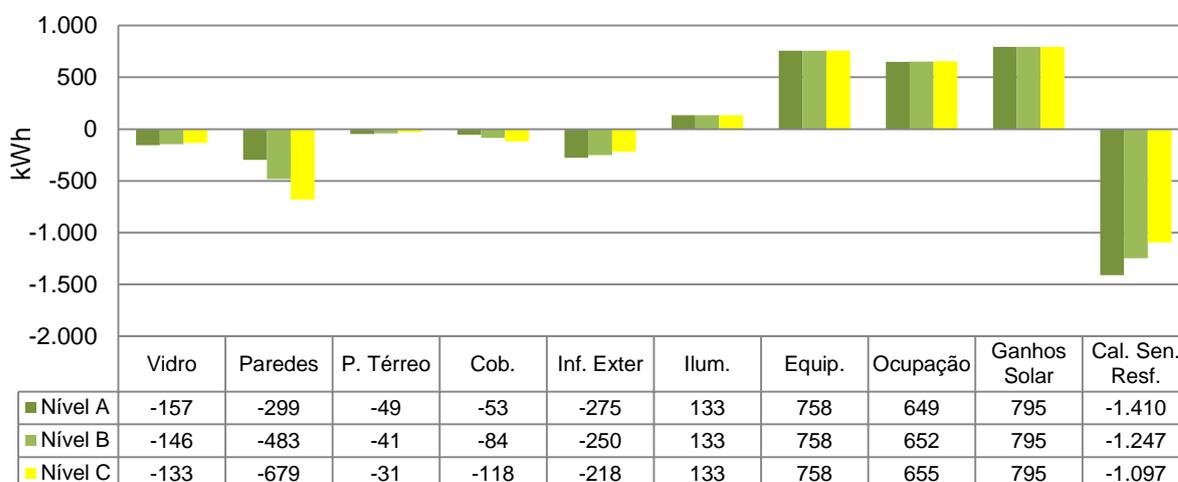


Figura 39: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI média dia 03 de fevereiro



Ao analisar os resultados encontrados para o modelo 5, primavera e verão (Figura 40), observa-se que o exemplar com envoltória nível C demonstrou perdas de calor significativas pela cobertura (3.451 kWh) e pelas paredes (3.928 kWh), como era esperado por apresentar maior transmitância térmica. Desta forma, precisou do sistema de condicionamento de para aquecimento de forma mais expressiva (284 kWh) que os demais modelos (nível A e B). No entanto, o modelo nível A por possuir maior isolamento térmico, não permitiu que o calor interno se dissipasse para o meio externo, demonstrando as maiores perdas de calor pelo piso térreo (2.525 kWh). Sendo assim, o modelo nível A, demonstrou uma necessidade de resfriamento (333 kWh) mais significativa do que a necessidade de aquecimento do modelo nível C, causando o maior consumo energético (Tabela 48).

Figura 40: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 5 PAFT 0,10 DCI média primavera e verão

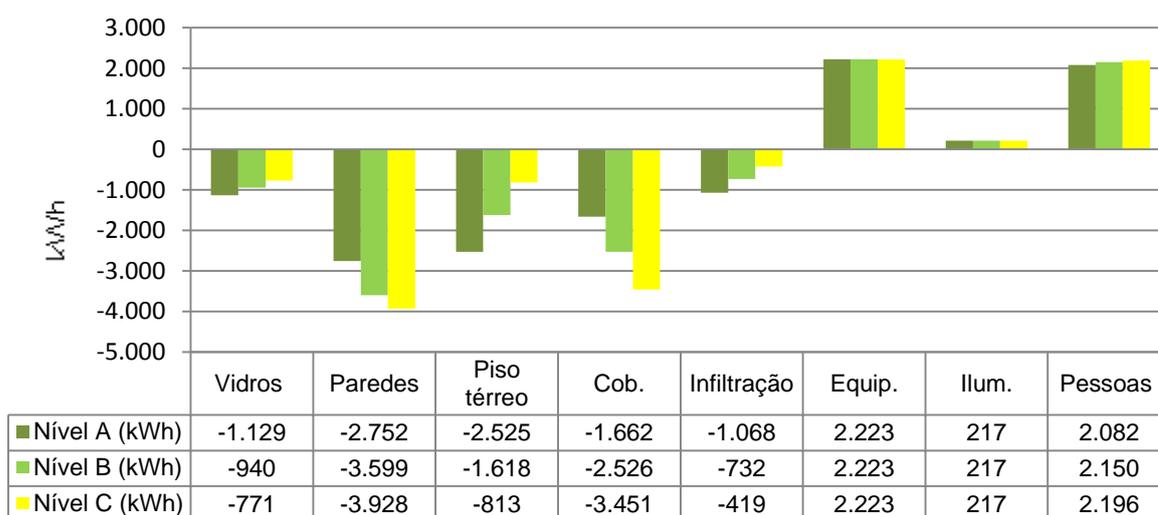


Tabela 48: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	2,58 kWh	333 kWh	335,58 kWh
Nível B	13,70 kWh	239 kWh	252,70 kWh
Nível C	284 kWh	36 kWh	320 kWh

4.1.2.3. Análise DCI alta outono e inverno

Ao analisar os resultados outono e inverno na DCI alta (54,88 W/m²), foi possível observar que a envoltória de acordo com nível A apresenta o pior desempenho energético em todos os modelos avaliados, exceto o modelo 5. Como

o aumento da DCI provoca um aumento do calor interno, é possível perceber que os modelos nível A, por apresentarem maior isolamento térmico sofrem um superaquecimento, por não permitirem que o calor interno se dissipe para o meio externo. Na DCI média o superaquecimento ocorria apenas no modelo com maior área, pode-se observar que com o aumento da DCI este fato acontece em todos os modelos com exceção do modelo com menor área e de 1 pavimento (modelo 5).

Na DCI alta, os exemplares configurados com a envoltória nível B demonstraram o melhor desempenho energético nos modelos de 1 e 2 pavimentos (modelo 3 e 5). Já os modelos de acordo com o nível C apresentam o melhor desempenho energético nos modelos em altura (modelo 1, 2 e 4).

Ao analisar o fluxo térmico do modelo 2 (Figura 41) pode observar-se que o exemplar configurado de acordo com o modelo nível C demonstrou as maiores perdas de calor, principalmente pela parede (229.470 kWh). Como na DCI alta o calor gerado internamente é significativo, o modelo com maior transmitância térmica (nível C) demonstra o menor consumo energético por necessitar menor consumo do sistema de condicionamento de ar para resfriamento, conforme Tabela 49. Já o modelo nível A demonstra perdas mais significativas de calor por infiltração (122.250 kWh) e pelas paredes (105.910 kWh), mas observando o sistema de condicionamento de ar a envoltória de nível A demonstra uma necessidade maior de resfriamento (56.910 kWh) acarretando o maior consumo energético comparado com outros modelos (nível B e C).

Figura 41: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI alta outono e inverno

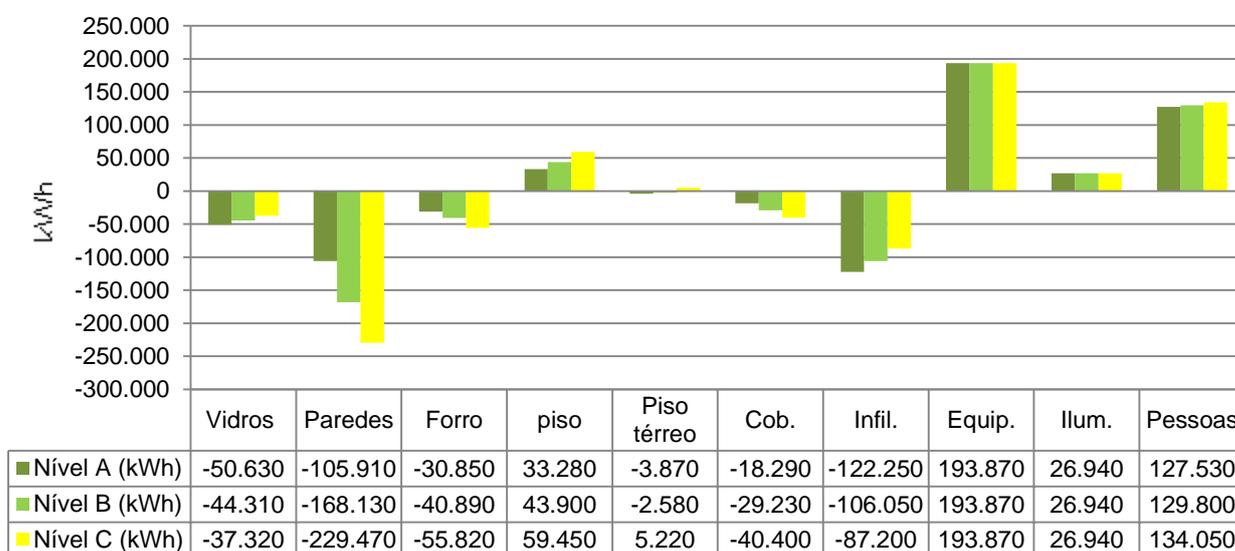


Tabela 49: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	56.910 kWh	56.910 kWh
Nível B	30 kWh	40.320 kWh	40.350 kWh
Nível C	210 kWh	27.800 kWh	28.010 kWh

Ao avaliar o modelo 5, de um pavimento, pode-se observar na Figura 42, que o exemplar de acordo com o nível C apresentou uma perda significativa de calor pela cobertura (6.782 kWh) e pelas paredes (5.487 kWh) necessitando do sistema de condicionamento de ar para aquecimento de forma mais expressiva (193 kWh) do que os modelos níveis A e B (Tabela 50). O que acarretou o maior consumo energético. Já no modelo nível A, é possível observar que por possuir maior isolamento térmico não apresentou grandes perdas de calor, sendo a mais significativa pelas paredes (4.210 kWh). Desta forma, manteve o calor interno, gerado pela DCI de equipamentos alta e necessitou significativamente do sistema de condicionamento de ar para resfriamento (211 kWh), demonstrando que possui um superaquecimento mesmo no inverno. Ao analisar a envoltória de acordo com o nível B, observa-se que apresentou as maiores perdas de calor pelas paredes (5.377 kWh) e cobertura (4.579 kWh). No entanto, apesar de possuir um isolamento térmico menor que o nível A, ainda necessitou de forma expressiva o sistema de condicionamento de ar para resfriamento (124 kWh). Entretanto, pode-se avaliar que o modelo nível B necessitou menos do sistema de condicionamento do que os modelos níveis A e C. Desta forma, apresentou o melhor desempenho energético.

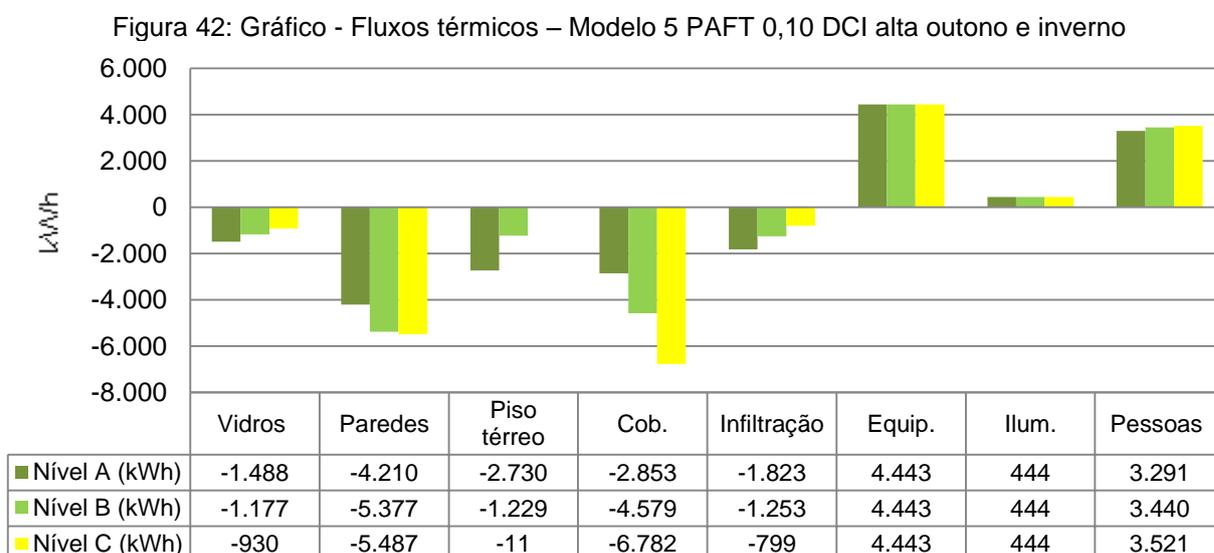


Tabela 50: Consumo outono e inverno do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	14 kWh	211 kWh	225 kWh
Nível B	50 kWh	124 kWh	174 kWh
Nível C	193 kWh	136 kWh	329 kWh

4.1.2.4. Análise DCI alta primavera e verão

Os resultados encontrados para primavera e verão na DCI alta (54,88 W/m²), pode-se observar que a envoltória de acordo com nível A apresenta o pior desempenho energético em todos os modelos avaliados, como já era esperado pois na DCI média este fato já havia ocorrido. Também com o aumento da DCI em conjunto com o aumento da temperatura externa (primavera e verão) agrava o superaquecimento nos modelos com envoltória de acordo com o nível A.

Os exemplares configurados conforme o nível B demonstraram o melhor desempenho energético apenas no modelo 3 (Fator de Forma mínimo e 2 pavimentos). Os modelos com Fator de Forma mínimo são os que apresentam a maior área. Os modelos de acordo com o nível C apresentaram o melhor desempenho energético nos modelos 1, 2, 4 e 5. Os modelo 4 e 5 são os de Fator de Forma máximo, os quais apresentam uma área de projeção menor que 500m². A seguir a análise dos fluxos térmicos dos modelos 2 e 5, para compreender de forma mais detalhada.

No modelo 2, pode-se observar que a envoltória configurada pelo nível C apresentou perdas significativas de calor pela envoltória (Figura 43), principalmente pelas paredes (178.510 kWh), desta forma o modelo nível C mesmo na primavera e verão necessita um pouco do condicionamento de ar para aquecimento (30 kWh) e também necessita de forma mais expressiva de resfriamento (62.130 kWh), conforme Tabela 51. Ao observar o resultado para o modelo nível A pode-se perceber que a maior perda de calor foi por infiltração (119.780 kWh) e para o modelo nível B a perda mais significativa de calor foi pelas paredes (127.520 kWh). Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar os modelos níveis A e B apresentam uma significativa necessidade de resfriamento, causada pela soma do calor interno gerado pela alta DCI de equipamentos e o calor externo devido às estações

primavera e verão. Desta forma, o modelo nível A por apresentar o maior isolamento térmico demonstra o maior consumo energético.

Figura 43: Gráfico - Fluxos térmicos – Modelo 2 PAFT 0,15 DCI alta primavera e verão

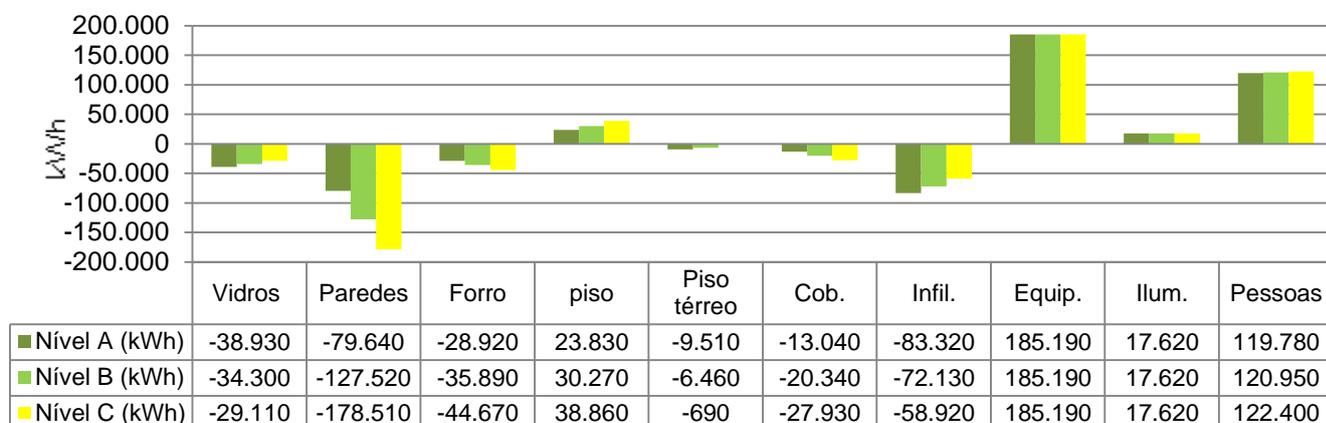


Tabela 51: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	87.040 kWh	87.040 kWh
Nível B	10 kWh	74.380 kWh	74.390 kWh
Nível C	30 kWh	62.130 kWh	62.160 kWh

Ao avaliar os resultados do modelo 5, Fator de Forma máximo e 1 pavimento, pode-se observar que os resultados foram iguais ao o modelo 2. A envoltória de acordo com o nível C demonstrou melhor desempenho energético, enquanto a envoltória de acordo com o modelo nível A apresenta o maior consumo energético.

Esta análise realizada no período de primavera e verão mostra que o modelo nível C que contém a maior transmitância térmica, não está ganhando calor do meio externo, e sim dissipando o calor interno para o meio externo, devido ao ambiente interno apresentar uma grande quantidade de calor gerada pela DCI de equipamentos (Figura 44). Sendo assim, a envoltória de acordo com nível C apresenta uma perda mais significativa de calor principalmente pelas paredes (4.959 kWh), necessitando um menor consumo do sistema de condicionado para resfriamento (639.60 kWh).

Os exemplares Níveis A e B como já foram mencionados no outro modelo, sofrem um superaquecimento devido ao isolamento térmico, o qual não permite que o calor interno se dissipe para o meio externo. Necessitando assim um maior

consumo do sistema de ar condicionado para resfriamento (Tabela 52) e, conseqüentemente, maior consumo energético.

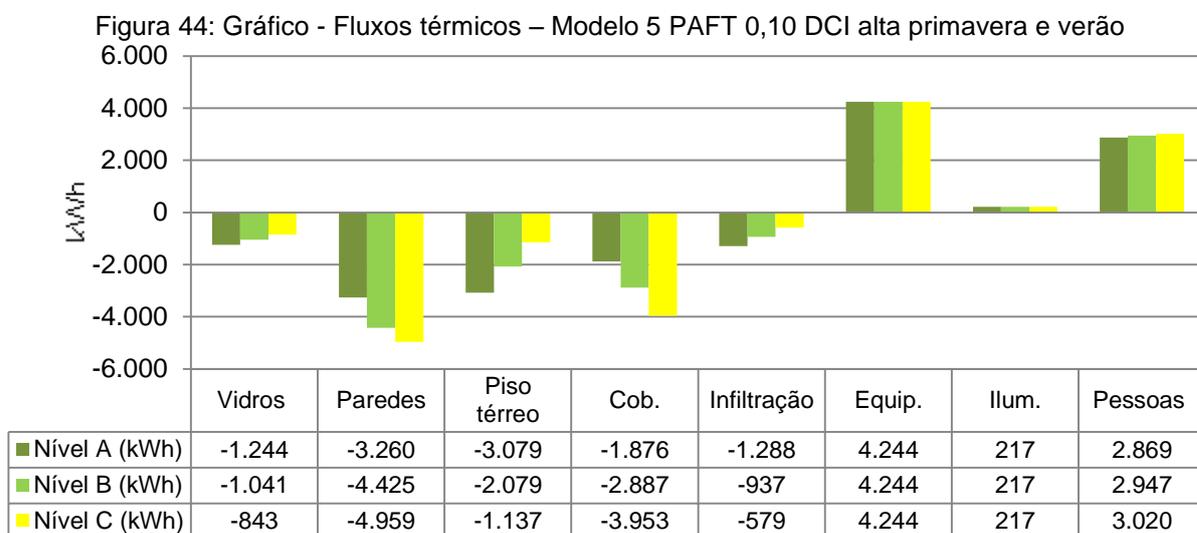


Tabela 52: Consumo primavera e verão do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta

Consumo do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	1,00 kWh	912 kWh	913 kWh
Nível B	5,00 kWh	680 kWh	685 kWh
Nível C	17,00 kWh	639 kWh	656 kWh

Ao analisar os resultados primavera e verão, também na DCI alta, foi possível observar que os modelos configurados com a envoltória para o nível A, demonstraram o maior consumo energético em todos os modelos analisados.

Para melhor compreensão e observação dos resultados encontrados na zona bioclimática 1, optou-se por sintetizar os resultados em uma Tabela (Tabela 53), que apresenta qual envoltória de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C, demonstrou o melhor desempenho energético em cada modelo. Na tabela também é apresentado um pequeno esquema da influência da DCI no nível de eficiência energética. No esquema é possível observar que a envoltória nível A apresenta o maior isolamento térmico impedindo a troca de calor com o meio externo. Já na envoltória nível C as flechas indicam a troca de calor com o meio externo.

Tabela 53: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 1

		Resultados Zona Bioclimática 1												
	Eficiência Energética	DCI Média					DCI Alta					Influência da DCI no nível de EE		
		PAFT					PAFT					Modelo A	Modelo C	
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25			
Modelo 1	+	↑	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C		
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B		
Modelo 2	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B		
Modelo 3	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B		
Modelo 4	+	↑	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C		
	-	↓	C	A	A	B	B	A	A	A	B	B		
Modelo 5	+	↑	A	A				B	B					
	-	↓	C	C				C	A					

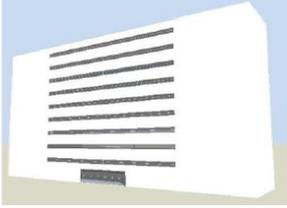
LEGENDA:

	Modelo mais eficiente energeticamente
	Modelo menos eficiente energeticamente

4.1.3. Análise dos resultados dos modelos FF 0,25 , FF 0,30 e FF 0,35 em altura

A seguir, na Tabela 54, são apresentados os resultados para os modelos em altura com Fator de Forma 0,25; 0,30 e 0,35. Pode-se observar que, a partir do modelo Fator de Forma 0,35, a DCI influenciou os resultados, no PAFT 0,05 na DCI média o modelo nível B apresentou o menor consumo energético, já na DCI alta o modelo nível C apresentou o menor consumo energético.

Tabela 54: Resultados Fator de Formar 0,25, 0,30 e 0,35 em altura

Resultados Fator de Forma 0,25 - 0,30 - 0,35 em altura												
Modelos	Eficiência Energética		DCI Média					DCI Alta				
			PAFT					PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Fator de Forma 0,25 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Fator de Forma 0,30 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Fator de Forma 0,35 	+	↑	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B

LEGENDA:

+	↑	Modelo mais eficiente energeticamente
-	↓	Modelo menos eficiente energeticamente

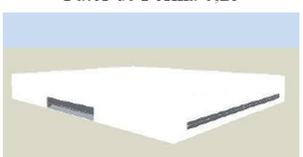
Com os novos modelos foi possível concluir que, para os modelos em altura, do Fator de Forma mínimo 0,17 até o Fator de Forma 0,30, para densidade média, a envoltória nível C, com maior transmitância térmica, apresenta um melhor desempenho energético. Quando aumenta a densidade de carga interna, que implica maior calor interno, a envoltória nível C também apresenta o melhor desempenho térmico. Por este motivo não se encontra diferença entre os resultados

da densidade média e alta. Já nos modelos com o Fator de Forma maior que 0,30, que apresentam uma menor área interna, é possível observar que, na DCI média, dependendo do PAFT, o modelo nível B pode demonstrar o melhor desempenho energético. No entanto, com o aumento da DCI, a envoltória com maior transmitância térmica (nível C) demonstra o melhor desempenho energético. Estes resultados demonstram que, para estes modelos, a DCI influencia os resultados.

4.1.4. Análise dos resultados dos modelos FF 0,25 , FF 0,30, FF 0,35 e FF 0,45 um pavimento.

A seguir, na Tabela 55, são apresentados os resultados para os modelos de 1 pavimento com Fator de Forma 0,25 ; 0,30 ; 0,35 e 0,45. Pode-se observar, em todos os modelos que a DCI influenciou os resultados. Sendo que, com DCI média, o modelo nível B demonstrou o melhor desempenho energético na maioria dos modelos e na DCI alta, o modelo nível C, apresentou o menor consumo energético.

Tabela 55: Resultados Fator de Formar 0,25, 0,30, 0,35 e 0,45 térreo

Resultados Fator de Forma 0,25 - 0,30 - 0,35 - 0,45 térreo								
Modelos	Eficiência Energética		DCI Média			DCI Alta		
			PAFT			PAFT		
			0,05	0,10	0,15	0,05	0,10	0,15
Fator de Forma 0,25 	+	↑	B	B	B	C	C	C
	-	↓	C	C	C	A	A	A
Fator de Forma 0,30 	+	↑	B	B	B	C	C	C
	-	↓	A	A	A	A	A	A
Fator de Forma 0,35 	+	↑	B	B	B	C	C	C
	-	↓	C	C	A	A	A	A
Fator de Forma 0,45 	+	↑	A	B	B	C	C	C
	-	↓	C	C	C	A	A	A

4.2. Análise zona bioclimática 4

Na zona bioclimática 4, os pré-requisitos da envoltória consideram a mesma transmitância térmica da parede ($3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) nos diferentes níveis de eficiência energética (nível A, nível B e nível C). Altera apenas a transmitância térmica da cobertura, sendo a cobertura do nível A com menor transmitância térmica e a cobertura nível C, com maior transmitância térmica. Desta forma, por alterar somente a transmitância da cobertura, os diferentes níveis de eficiência energética apresentaram resultados próximos.

4.2.1. Modelo 1

No modelo 1, edifício de escritório, foi possível observar que, para os casos com densidade de carga interna média ($37,70\text{W/m}^2$), o percentual de abertura na fachada (PAFT) influenciou nos resultados. No PAFT 0,05, o modelo nível A apresentou o maior consumo energético, enquanto o nível C apresentou o menor consumo energético. Neste caso, o modelo nível A apresentou um consumo superior ao modelo nível B de 0,27% (110 kWh) e de 0,58% (230 kWh) em relação ao modelo nível C. A partir do PAFT 0,10 o modelo nível B apresenta o melhor desempenho energético e o modelo nível C o maior consumo energético, conforme Figura 45. Analisando apenas o sistema de condicionamento de ar, no modelo de PAFT 0,05, é possível observar que o nível C apresenta um menor consumo energético para resfriamento (Tabela 56). A partir do PAFT 0,10, com o aumento dos ganhos de calor por radiação, o modelo nível C, necessita um maior consumo do sistema de ar para resfriamento que os modelos níveis A e B, o que provoca um acréscimo de 1,68% (184 kWh) e 2,96 (325 kWh), respectivamente no consumo anual, conforme a Tabela 57.

Figura 45: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI média

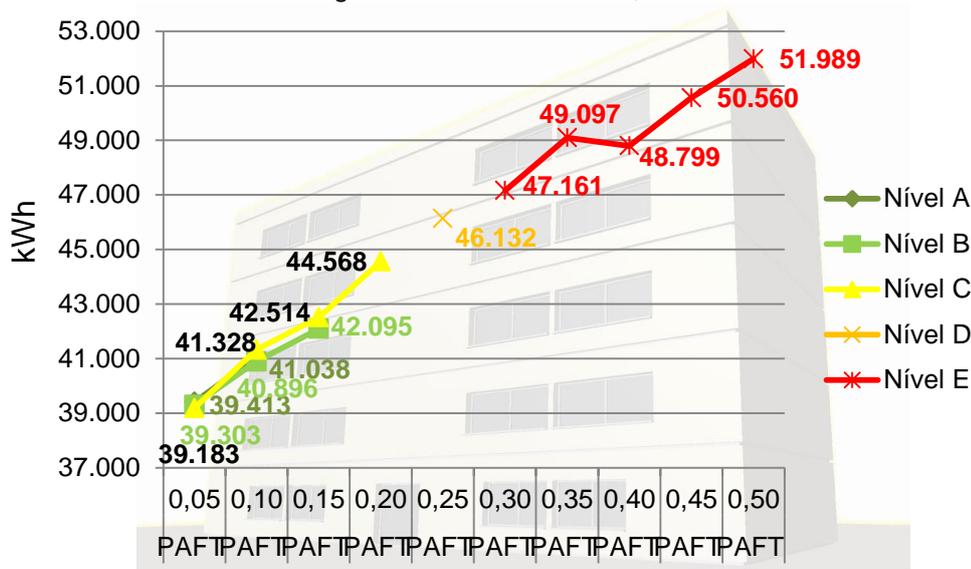


Tabela 56: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	12 kWh	9.126 kWh	9.138 kWh
Nível B	15 kWh	9.013 kWh	9.028 kWh
Nível C	21 kWh	8.888 kWh	8.909 kWh

Tabela 57: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	8 kWh	10.756 kWh	10.764 kWh
Nível B	10 kWh	10.613 kWh	10.623 kWh
Nível C	18 kWh	10.930 kWh	10.948 kWh

No modelo 1 a DCI de equipamentos não influenciou os resultados. Na DCI alta, também no PAFT 0,05, o modelo nível A, apresentou o maior consumo energético, enquanto o nível C apresentou o menor consumo energético. Também, a partir do PAFT 0,10, o modelo nível B, apresenta menor consumo energético e o modelo nível C o maior consumo energético, conforme Figura 46. Isto se explica pelo mesmo motivo que na DCI média ($37,70\text{W/m}^2$), no PAFT 0,05 modelo o nível C apresenta um menor consumo energético para resfriamento, sendo assim apresenta o menor consumo energético, conforme Tabela 58. Esta diferença no consumo energético é de 0,54% (371 kWh) para o nível A e de 0,31% (209 kWh) para o nível B. Já A partir do PAFT 0,10, com o aumento dos ganhos de calor por radiação o modelo nível C necessita um maior consumo do sistema de ar para resfriamento, de

acordo com a Tabela 59 e, conseqüentemente, apresenta o maior consumo energético. Neste caso, o modelo nível C demonstra um consumo energético superior ao nível A de 0,42% (295 kWh) e em relação ao nível B de 0,68% (480 kWh).

Figura 46: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI alta

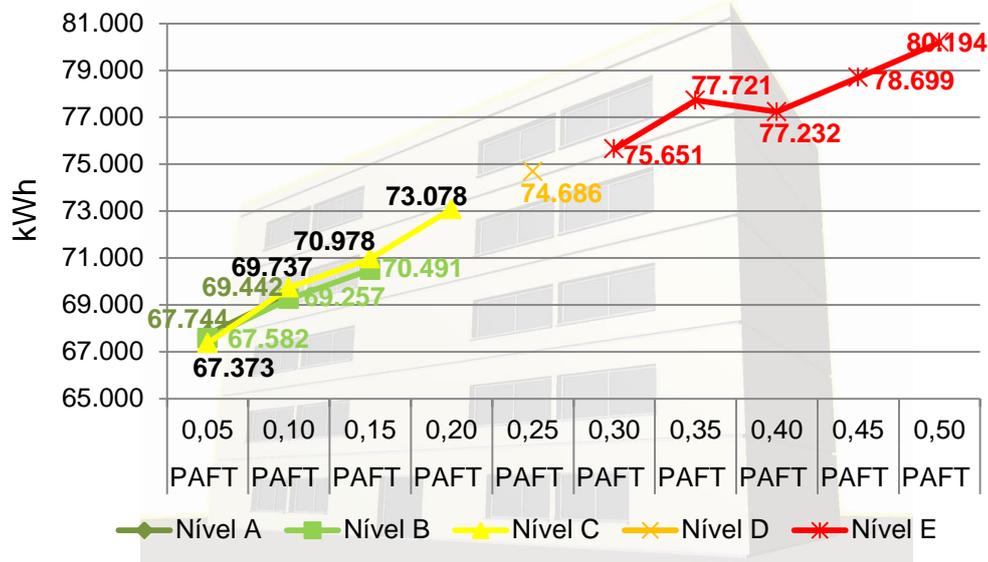


Tabela 58: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI alta zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	5,84 kWh	16.842 kWh	16.847,84 kWh
Nível B	6,57 kWh	16.679 kWh	16.685,57 kWh
Nível C	8,36 kWh	16.468 kWh	16.476,36 kWh

Tabela 59: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI alta zona bioclimática 4

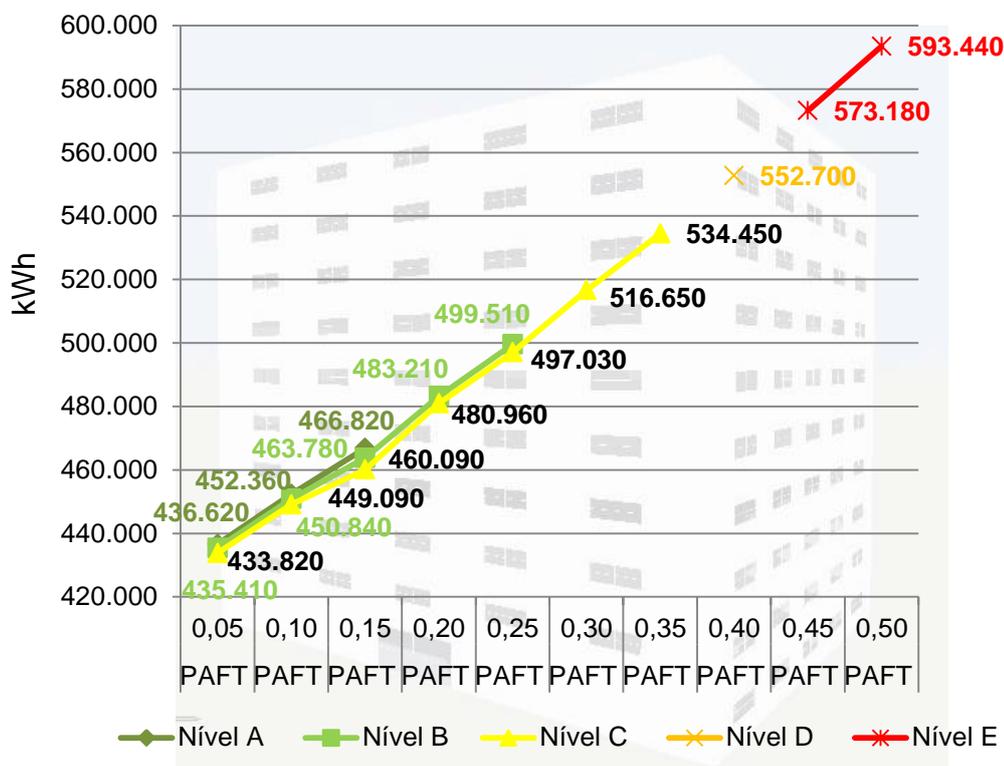
Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	4,36 kWh	18.544 kWh	18.548,36 kWh
Nível B	5,00 kWh	18.357 kWh	18.362 kWh
Nível C	8,14 kWh	18.728 kWh	18.736,14 kWh

4.2.2. Modelo 2

No modelo 2, com Fator de Forma mínimo e dez pavimentos, o modelo com a envoltória de acordo com os pré-requisitos nível A, apresentou o maior consumo energético. Enquanto que, o modelo com maior transmitância térmica (nível C) demonstrou o menor consumo energético (Figura 47). A maior diferença no consumo energético anual entre os modelos foi no PAFT 0,15. Neste PAFT, o

aumento da transmitância térmica do nível A para B e C reduz o consumo de energia em 0,65% (3.040 kWh) e 1,44% (6.730 kWh), respectivamente. Neste modelo também é possível observar que as diferenças são pequenas, sendo a maior um pouco mais de 1%.

Figura 47: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 4 – DCI média



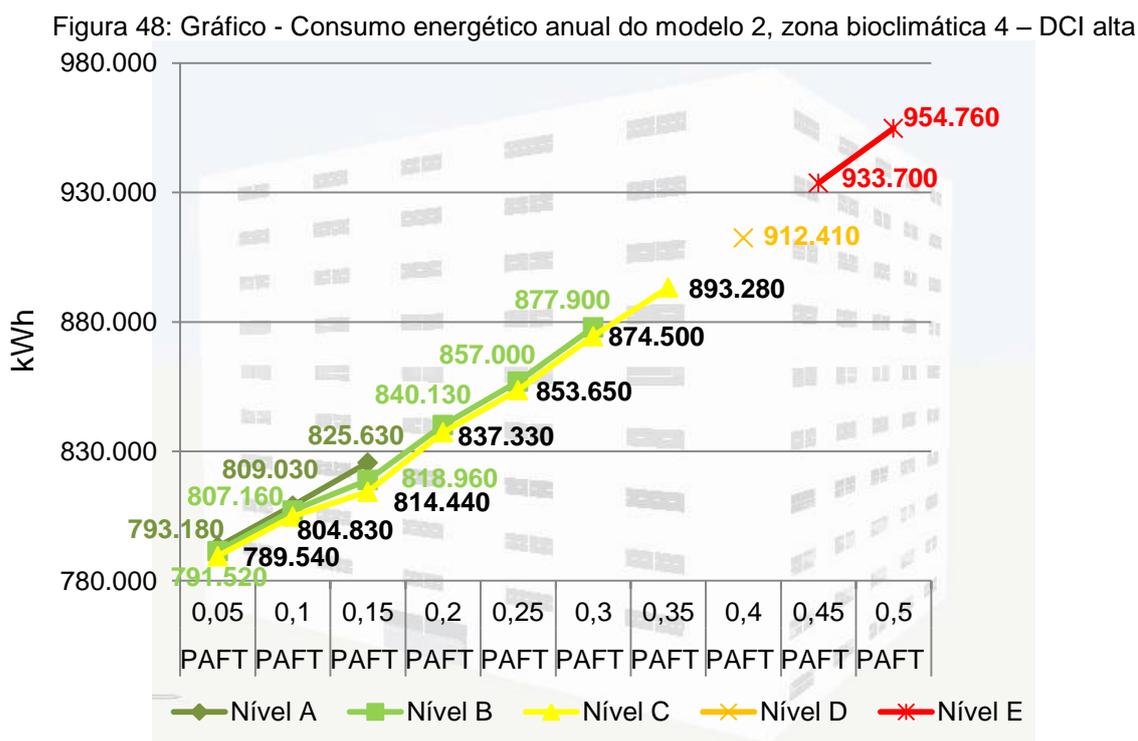
Avaliando o sistema de condicionamento de ar, é possível observar que, já no PAFT 0,05, o modelo nível A apresentava um superaquecimento devido ao isolamento térmico. Neste caso, o modelo nível A apresentou um consumo do sistema de condicionamento de ar anual de 0,95% (1.210 kWh) superior ao modelo nível B e de 2,19% (2.800 kWh) a mais que o modelo nível C (Tabela 60).

Tabela 60: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,05 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	20 kWh	127.510 kWh	127.530 kWh
Nível B	30 kWh	126.290 kWh	126.320 kWh
Nível C	40 kWh	124.690 kWh	124.730 kWh

Neste modelo, a DCI de equipamentos não influenciou os resultados, na DCI alta (54,88W/m²) também o modelo nível A apresentou o maior consumo energético

e o modelo nível C o melhor desempenho energético (Figura 48). Como já mencionado, foi possível observar que já na DCI média, o modelo A, por apresentar o maior isolamento térmico, demonstrou uma maior necessidade de resfriamento por não permitir que o calor interno se dissipe para o meio externo. Na DCI alta no PAFT 0,15, o modelo nível A, apresenta um consumo energético superior ao modelo nível B de 0,80% (6.670 kWh) e de 1,35% (11.190 kWh) maior que o modelo nível C.



Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar (Tabela 61), é possível observar a necessidade do modelo nível A para resfriamento, acarretando assim um maior consumo do sistema de condicionamento de ar. No PAFT 0,15, o aumento da transmitância térmica da cobertura do modelo nível A para o nível B e C, reduz o consumo do sistema de ar condicionado em 2,60% (4.030 kWh) e 4,32% (6.720 kWh) respectivamente.

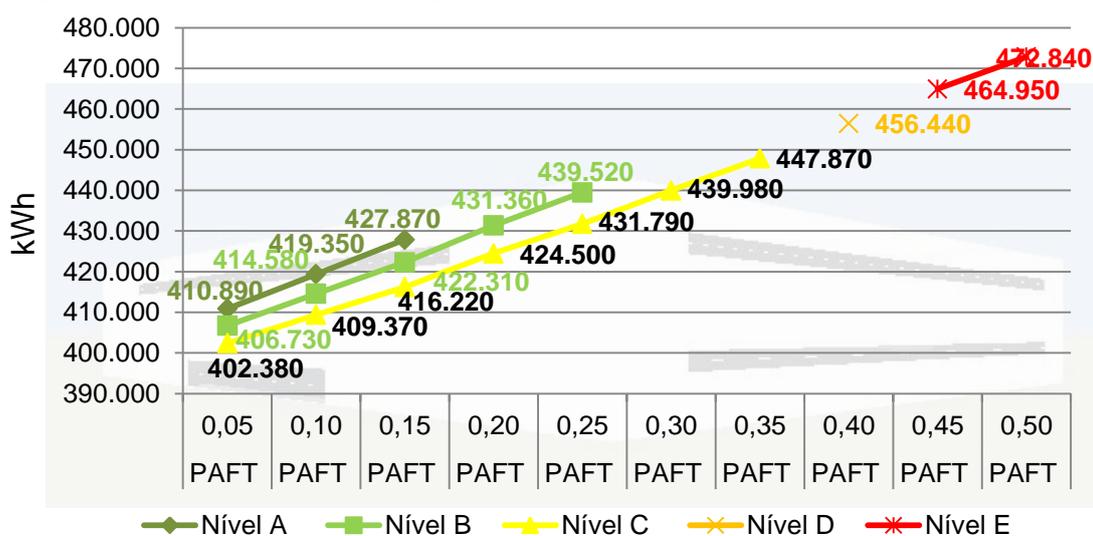
Tabela 61: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	20 kWh	155.190 kWh	155.210 kWh
Nível B	30 kWh	151.150 kWh	151.180 kWh
Nível C	40 kWh	148.450 kWh	148.490 kWh

4.2.3. Modelo 3

No modelo 3, com Fator de Forma mínimo e dois pavimentos, também foi o modelo configurado de acordo com envoltória nível A que apresentou o maior consumo energético, enquanto que o modelo com maior transmitância térmica nível C demonstrou o menor consumo energético (Figura 49). No modelo 3, as diferenças nos consumos energéticos foram maiores, o que se explica pelo fato de que o modelo avaliado possuir uma grande área de cobertura (5.950 m²) que é o pré-requisito para a zona bioclimática 4, que apresenta diferenças de transmitância térmica entre os níveis de eficiência energética. No PAFT 0,15, foi encontrada a maior diferença nos consumos energéticos. O aumento da transmitância térmica do modelo nível A para o modelo nível B e nível C provoca uma redução no consumo energético de 1,29% (5.560 kWh) e 2,72% (11.650 kWh).

Figura 49: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 3, zona bioclimática 4 – DCI média

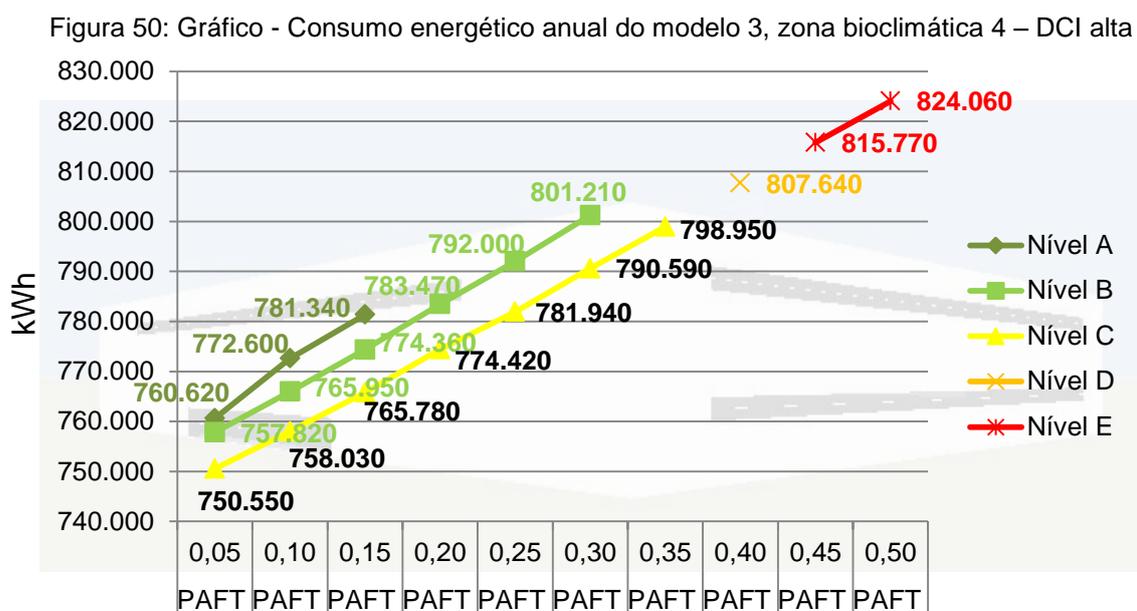


Avaliando o consumo energético anual de condicionamento de ar (Tabela 62) no modelo PAFT 0,15, é possível notar que o modelo nível A apresenta o maior consumo devido ao superaquecimento provocado pelo isolamento da cobertura. Neste caso, o aumento na transmitância térmica para o nível B provoca uma economia de 4,64% (5.550 kWh) e para o nível C reduz o consumo anual de condicionamento de ar em 9,73% (11.640 kWh).

Tabela 62: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	160 kWh	119.450 kWh	119.610 kWh
Nível B	230 kWh	113.830 kWh	114.060 kWh
Nível C	360 kWh	107.610 kWh	107.970 kWh

Como já visto anteriormente, na DCI média, o modelo nível A sofreu um superaquecimento. Na DCI alta, os resultados encontrados foram iguais a DCI média. O modelo nível A apresentou o maior consumo energético e o modelo nível C, o menor consumo energético (Figura 50). No PAFT 0,15, o modelo nível A apresentou um consumo energético anual superior ao modelo nível B de 0,89% (6.980 kWh) e de 2,00% (15.560 kWh), maior do que o modelo nível C.



Em relação ao sistema de condicionamento de ar (Tabela, 63) é possível observar que em virtude do superaquecimento sofrido, o modelo nível A, apresenta o maior consumo. No PAFT 0,15 o modelo nível B, demonstra uma redução no consumo do sistema de condicionamento de 3,16% (6.980 kWh) em relação ao modelo nível A. Já o modelo nível C, apresenta uma economia de 7,05% (15.550 kWh).

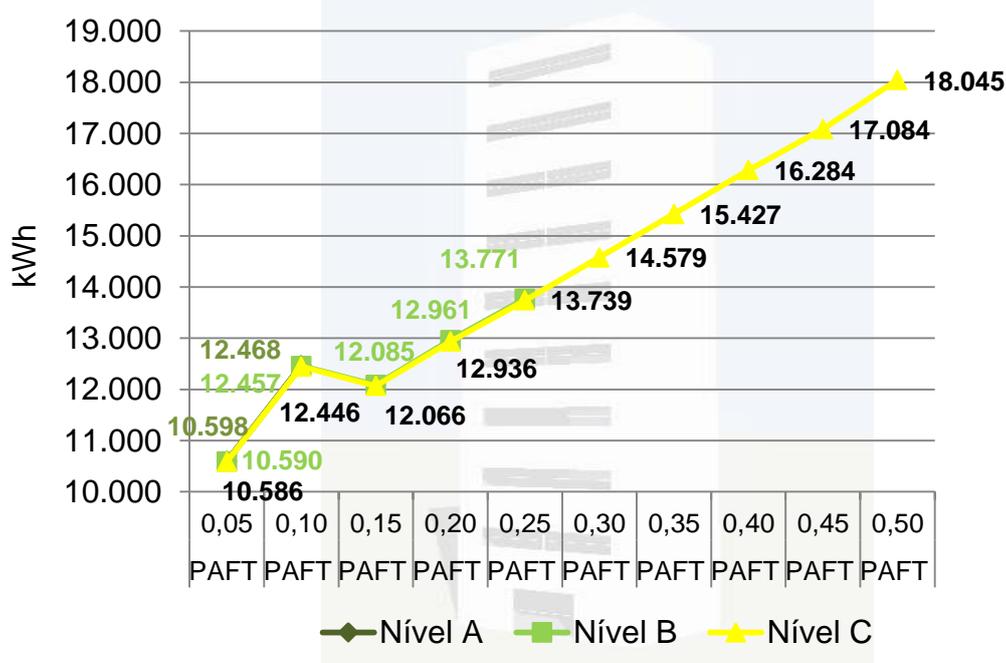
Tabela 63: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo para o modelo 3 com PAFT 0,15 – DCI alta zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	60 kWh	220.500 kWh	220.560 kWh
Nível B	90 kWh	213.490 kWh	213.580 kWh
Nível C	170 kWh	204.840 kWh	205.010 kWh

4.2.4. Modelo 4

No modelo 4, com Fator de Forma máximo e dez pavimentos, os modelos com a envoltória de acordo com o nível C apresentaram o melhor desempenho energético, enquanto os modelos nível A, apresentaram o maior consumo energético, conforme Figura 51. As diferenças no consumo energético foram pequenas, no PAFT 0,05 o aumento da transmitância térmica da envoltória do nível A para o nível B e C, provoca uma redução de 0,075% (8 kWh) e 0,11% (12 kWh), respectivamente no consumo anual. Já no PAFT 0,10 estas diferenças aumentam, mas ainda assim são insignificantes não chegando a 1%. Neste caso, o aumento da transmitância térmica da envoltória nível A para nível B e C acarreta uma economia de 0,08% (11 kWh) e 0,17% (22 kWh) respectivamente.

Figura 51: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4, zona bioclimática 4 – DCI média



Analisando apenas o sistema de condicionamento de ar (Tabela 64), no modelo de PAFT 0,10, é possível observar que o modelo de maior transmitância

térmica (nível C), apresenta o menor consumo do sistema de ar condicionado, por apresentar um menor consumo para resfriamento. O modelo nível A, envoltória mais isolada termicamente, apresenta o maior consumo para resfriamento. A diferença no consumo de ar condicionado entre o modelo nível A e o modelo nível B é de 0,28% (11 kWh), enquanto que a diferença entre o modelo nível A e o modelo nível C é de 0,57% (22 kWh).

Tabela 64: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,10 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	21 kWh	3.818 kWh	3.839 kWh
Nível B	22 kWh	3.806 kWh	3.828 kWh
Nível C	24 kWh	3.793 kWh	3.817 kWh

No modelo 4, a DCI de equipamentos também não influenciou os resultados. Na DCI alta (54,88W/m²), o modelo nível A apresentou o maior consumo energético e os modelos nível C apresentaram o menor consumo energético, conforme Figura 52. Isto se explica pelo fato de que, já na DCI média, os modelos nível A apresentaram um superaquecimento no interior da edificação devido ao isolamento da cobertura, necessitando um maior consumo energético. No PAFT 0,10 é possível observar que o modelo nível A apresentou um consumo energético de 0,08% (18 kWh) superior ao modelo nível B e 0,19% (42 kWh) maior do que o modelo nível C. Em relação ao consumo do sistema de ar condicionado (Tabela 65) o modelo nível A, por sofrer um superaquecimento necessita um maior consumo do sistema de ar condicionado para resfriamento sendo esta diferença de 0,29% (18 kWh) em relação ao modelo nível B e de 0,70% (43 kWh) em comparação ao modelo nível C.

Figura 52: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 4, zona bioclimática 4 – DCI alta

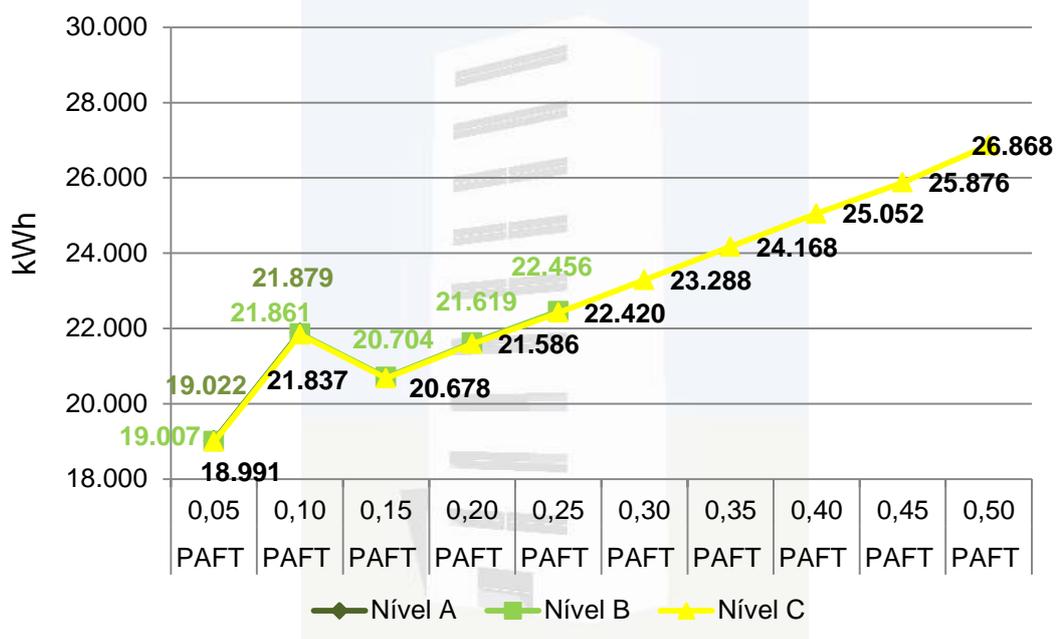


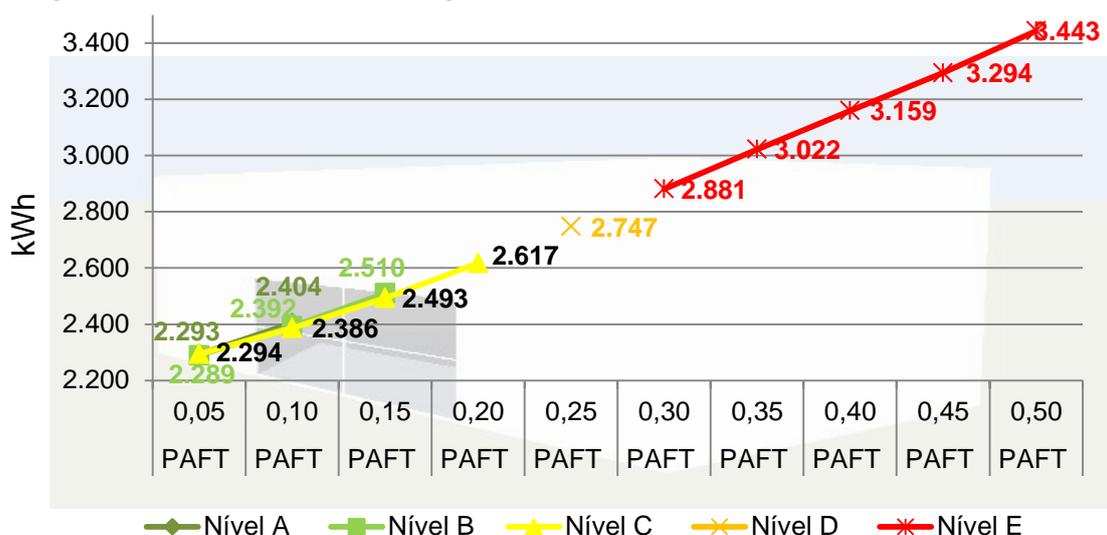
Tabela 65: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 4 com PAFT 0,10 – DCI alta zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	9 kWh	6.171 kWh	6.180 kWh
Nível B	10 kWh	6.153 kWh	6.163 kWh
Nível C	11 kWh	6.128 kWh	6.139 kWh

4.2.5. Modelo 5

No modelo 5, com Fator de Forma máximo e um pavimento, foi possível observar que o percentual de abertura na fachada (PAFT) influenciou os resultados. Nos modelos de PAFT 0,05, a envoltória de acordo com os pré-requisitos nível C, apresentou o maior consumo energético, enquanto o exemplar configurado conforme o nível B demonstrou o menor consumo energético. A partir do PAFT 0,10 o modelo nível C apresenta o melhor desempenho energético, conforme Figura 53. No entanto, novamente as diferenças no consumo energético foram insignificantes. Sendo que no PAFT 0,05 o modelo nível C apresentou um consumo energético 0,043% (1 kWh) superior ao modelo nível A e de 0,21% (5 kWh) maior que o modelo nível B.

Figura 53: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 4 – DCI média



Analisando o sistema de condicionamento de ar neste mesmo PAFT, os Modelos níveis A e C apresentaram o maior consumo. O modelo nível A por necessitar mais do sistema de resfriamento em relação aos outros níveis (A e B) e o modelo nível C por necessitar mais do sistema de aquecimento. Neste caso, os modelos Níveis A e C apresentaram um consumo do sistema de ar condicionado anual de 1,00% (5 kWh) superior ao nível B (Tabela 66).

No PAFT 0,10 é possível observar que com o aumento dos ganhos de calor por radiação, o modelo nível A necessita de um maior consumo do sistema de ar para resfriamento e o modelo nível C diminui o consumo do sistema de ar condicionado para aquecimento. Desta forma, o modelo nível A demonstra um maior consumo energético em relação aos outros níveis (B e C) e o modelo nível C apresenta o melhor desempenho energético. Neste caso, o modelo nível B apresenta uma economia no sistema de condicionamento de ar de 1,79% (11 kWh) em relação ao nível A, enquanto que o modelo nível C demonstra uma redução no sistema de condicionamento de ar de 2,93% (18 kWh) também em comparação ao modelo nível A (Tabela 67).

Tabela 66: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 – DCI média zona bioclimática 4

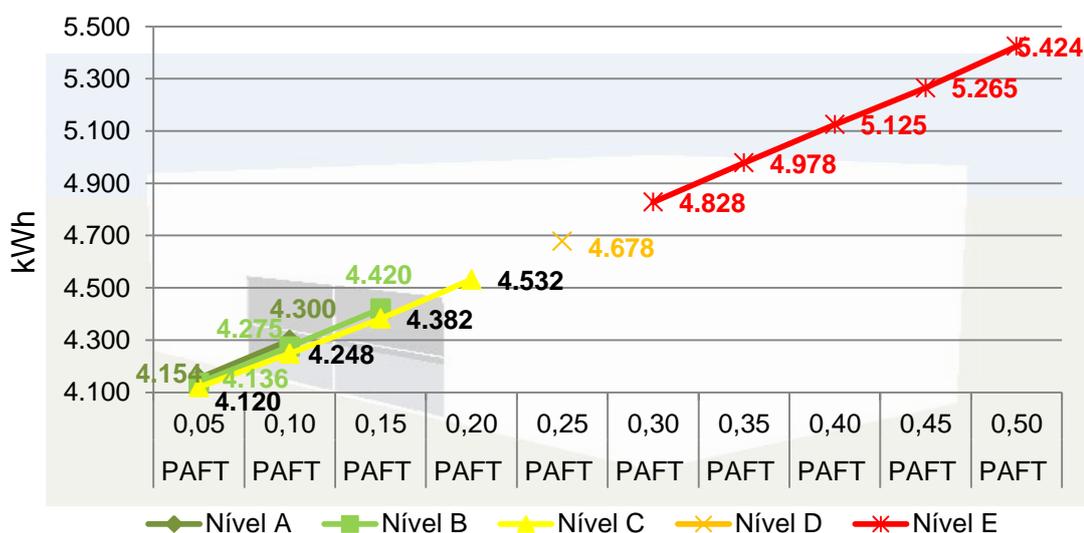
Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	11 kWh	493 kWh	504 kWh
Nível B	13 kWh	486 kWh	499 kWh
Nível C	18 kWh	486 kWh	504 kWh

Tabela 67: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	8 kWh	606 kWh	614 kWh
Nível B	10 kWh	593 kWh	603 kWh
Nível C	13 kWh	583 kWh	596 kWh

Nos modelos com DCI de equipamento alta ($54,88 \text{ W/m}^2$), os resultados encontrados foram um pouco diferentes. Em todos os PAFTs analisados o modelo nível C apresentou o melhor desempenho energético, enquanto que o modelo nível A apresentou o maior consumo energético, conforme Figura 54. No PAFT 0,10, o aumento da transmitância térmica da envoltória de acordo com nível A para o nível B e C, provoca uma economia de 0,60% (25 kWh) e 1,20% (52 kWh), respectivamente no consumo anual de energia.

Figura 54: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 4 – DCI alta



Analisando o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,05 observa-se que o modelo nível A já apresentava um superaquecimento devido o aumento do calor interno. Neste caso o modelo nível A apresentou um consumo do sistema de

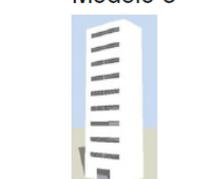
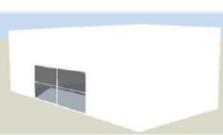
condicionamento de ar anual de 2% (18 kWh) superior ao modelo nível B e de 3,90% (35 kWh) maior do que o modelo nível C, de acordo com a Tabela 68.

Tabela 68: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 – DCI alta zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	5 kWh	893 kWh	898 kWh
Nível B	6 kWh	874 kWh	880 kWh
Nível C	7 kWh	856 kWh	863 kWh

Para uma observação mais clara dos resultados encontrados da zona bioclimática 4, optou-se por sintetizar os resultados na Tabela 69, que apresenta qual envoltória de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C, demonstrou o melhor desempenho energético em cada modelo.

Tabela 69: Síntese dos resultados para a zona bioclimática 4

Resultados Zona Bioclimática 4												
Modelos	Eficiência Energética		DCI Média					DCI Alta				
			PAFT					PAFT				
			0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25
Modelo G.E. 	+	↑	C	B	B	B	B	C	B	B	B	B
	-	↓	A	C	C	C	C	A	C	C	C	C
Modelo 1 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 2 	+	↑	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	C	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 3 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B
Modelo 4 	+	↑	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	-	↓	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B

LEGENDA:

	Modelo mais eficiente energeticamente
	Modelo menos eficiente energeticamente

4.3. Análise zona bioclimática 7

Na zona bioclimática 7, o RTQ-C considera nos pré-requisitos da envoltória a possibilidade de utilizar duas paredes para todos os níveis de eficiência energética. A primeira com transmitância térmica máxima de $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica máxima de $80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ e a segunda com transmitância térmica máxima de $3,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica superior a $80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$. Dessa forma, os modelos foram simulados duas vezes primeiro, com a parede 1 e em seguida utilizando a parede 2. Como as paredes são iguais para todos os níveis de eficiência energética, o que diferem os níveis de eficiência energética dos modelos é cobertura, sendo que a cobertura do modelo nível A apresenta menor transmitância térmica e a cobertura do modelo nível C maior transmitância térmica.

Os resultados encontrados na zona bioclimática 7 apresentaram, na maioria, pequenas diferenças, menores do que 1%. Portanto, não é possível dizer que um modelo é mais eficiente que o outro. Desta forma os resultados foram sintetizados em duas tabelas uma para cada tipo de parede. Os modelos 2 e 5, por serem os modelos mais distintos em forma e tamanho foram analisados com mais detalhes. Na tabela 70 pode ser observados os resultados da parede 1.

Tabela 70: Síntese dos resultados da zona bioclimática 7 com a parede 1.

Resultados Zona Bioclimática 7 - Parede 1							
Modelos	DCI	Nível	PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Modelo 1 	Média	A	59.411 kWh	61.776 kWh			
		B	59.164 kWh	61.630 kWh	63.386 kWh	66.042 kWh	
		C	59.080 kWh	61.515 kWh	63.190 kWh	65.920 kWh	67.830 kWh
	Alta	A	88.612 kWh	91.029 kWh			
		B	88.507 kWh	91.020 kWh	92.594 kWh	95.428 kWh	
		C	88.379 kWh	91.017 kWh	92.743 kWh	95.560 kWh	97.484 kWh
Modelo 2 	Média	A	442.850 kWh	463.530 kWh	482.920 kWh		
		B	442.210 kWh	462.830 kWh	482.030 kWh	497.620 kWh	502.640 kWh
		C	441.860 kWh	462.140 kWh	481.050 kWh	496.770 kWh	501.000 kWh
	Alta	A	707.280 kWh	726.470 kWh	744.520 kWh		
		B	706.350 kWh	725.420 kWh	743.400 kWh	758.480 kWh	773.290 kWh
		C	705.680 kWh	724.420 kWh	742.190 kWh	757.280 kWh	772.030 kWh
Modelo 3 	Média	A	313.320 kWh	321.320 kWh	330.240 kWh		
		B	311.530 kWh	318.850 kWh	327.870 kWh	337.100 kWh	346.360 kWh
		C	309.690 kWh	318.650 kWh	325.380 kWh	334.000 kWh	343.050 kWh
	Alta	A	505.380 kWh	516.830 kWh	524.990 kWh		
		B	502.650 kWh	514.220 kWh	521.770 kWh	531.300 kWh	540.140 kWh
		C	500.600 kWh	511.020 kWh	518.290 kWh	527.120 kWh	535.820 kWh
Modelo 4 	Média	A	33.697 kWh	36.439 kWh	39.065 kWh		
		B	33.674 kWh	36.407 kWh	39.021 kWh	41.166 kWh	43.433 kWh
		C	33.658 kWh	36.370 kWh	38.960 kWh	41.088 kWh	43.346 kWh
	Alta	A	50.637 kWh	53.359 kWh	55.982 kWh		
		B	50.611 kWh	53.317 kWh	55.930 kWh	58.044 kWh	60.302 kWh
		C	50.583 kWh	53.274 kWh	55.858 kWh	57.966 kWh	60.205 kWh
Modelo 5 	Média	A	10.165 kWh	10.774 kWh			
		B	10.182 kWh	10.754 kWh			
		C	10.237 kWh	10.776 kWh	11.282 kWh	11.781 kWh	12.266 kWh
	Alta	A	15.946 kWh	16.554 kWh			
		B	15.942 kWh	16.520 kWh			
		C	15.982 kWh	16.514 kWh	17.020 kWh	17.520 kWh	17.997 kWh

LEGENDA:

PI - Parede 1	U =2,50 W/m²K CT máx. 80 KJ/m²K
	Modelo mais eficiente energeticamente
	Modelo menos eficiente energeticamente

4.3.1. Modelo 2 com Parede 1 ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \text{ máx. } 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)

No modelo 2, com Fator de Forma mínimo e dez pavimentos, os modelos que apresentam um maior isolamento térmico na cobertura (nível A), demonstraram um maior consumo de energia elétrica quando comparados aos modelos com maior transmitância térmica na cobertura (nível B e nível C), conforme Figura 55. No PAFT 0,15 o aumento da transmitância térmica do nível A para o nível B e C demonstra uma redução no consumo energético anual de 0,18% (890 kWh) e 0,38% (1.870 kWh), respectivamente. Os modelos nível A apresentaram maiores perdas de calor pelo vidro e paredes, no entanto, ainda apresentaram uma grande quantidade de calor armazenado no seu interior, devido ao isolamento da cobertura. Desta forma a necessidade de resfriamento foi maior quando comparado aos outros níveis de eficiência energética, de acordo com a Tabela 71. Já os modelos nível C, apresentam as maiores perdas de calor, cobertura e piso, e apresentaram o menor consumo energético para resfriamento. No PAFT 0,15 é possível observar que, no sistema de condicionamento de ar, o modelo nível A apresenta um consumo de 0,37% (890 kWh) a mais que o modelo nível B e de 0,77% (1.870 kWh) superior ao modelo nível A.

Figura 55: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 1.

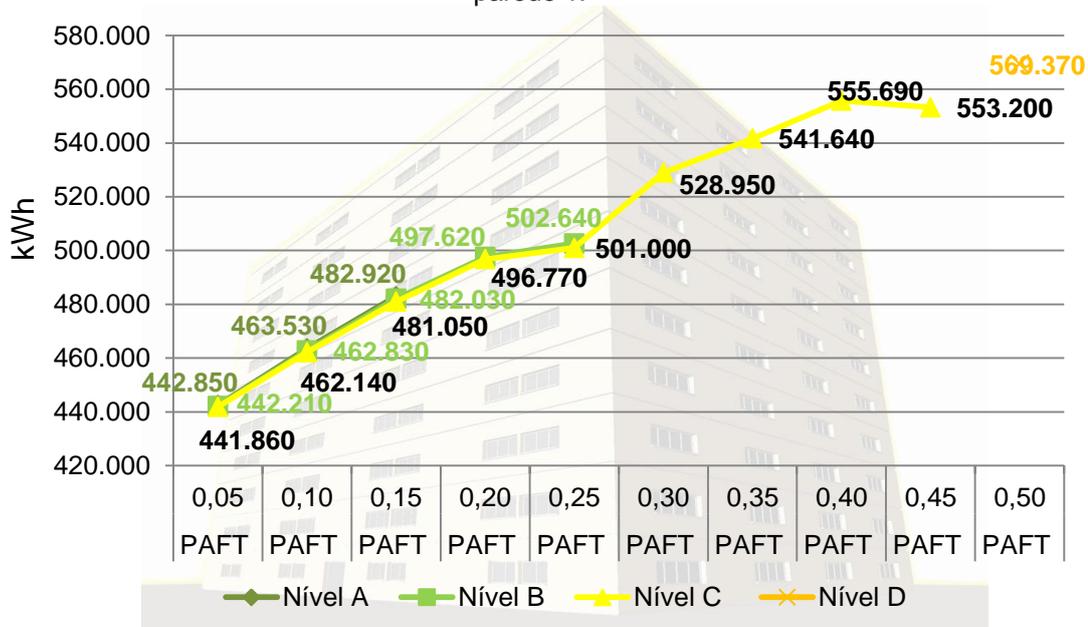
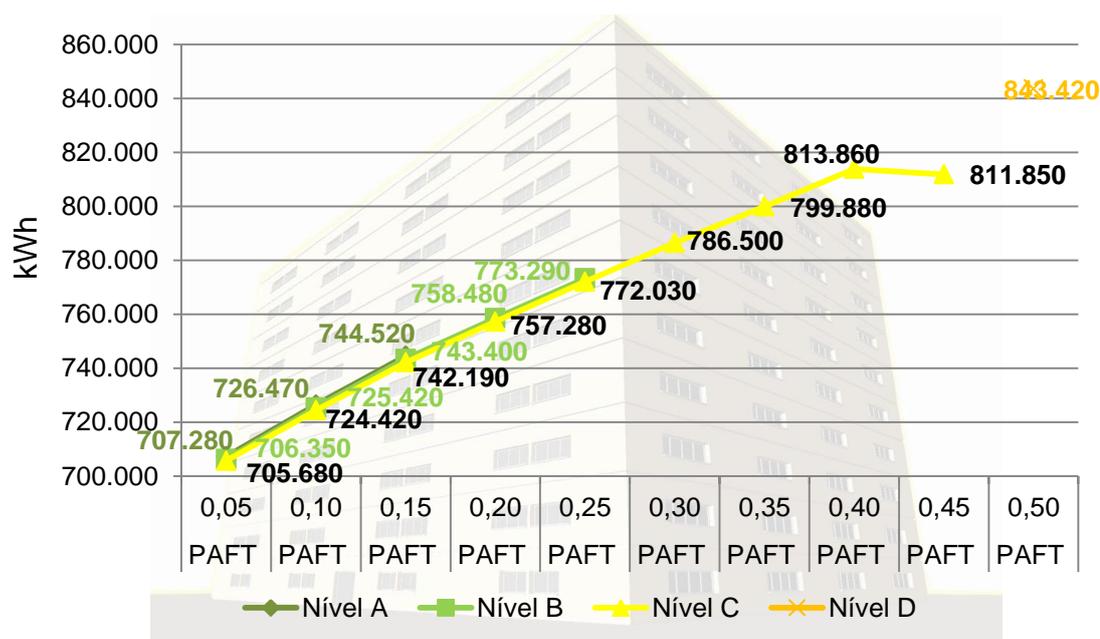


Tabela 71: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média, zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	240.430 kWh	240.430 kWh
Nível B	0 kWh	239.540 kWh	239.540 kWh
Nível C	0 kWh	238.560 kWh	238.560 kWh

O aumento na DCI não influenciou nos resultados, visto que, já na DCI média ($37,70 \text{ W/m}^2$) os modelos nível A apresentaram temperaturas elevadas necessitando um maior consumo para resfriamento. Na DCI alta ($54,88 \text{ W/m}^2$) pode-se observar que no PAFT 0,15 o modelo nível A apresentou um consumo energético superior ao modelo nível B de 0,15% (1.120 kWh) e 0,31% (2.330 kWh) maior do que o modelo nível C (Figura 56).

Figura 56: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI alta e parede 1.



Ao analisar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,15 é possível observar que o aumento da transmitância térmica do modelo nível A para os modelos níveis B e C demonstrou uma economia no consumo anual de 3,34% (11.120 kWh) e de 3,70% (12.330 kWh), respectivamente de acordo com a Tabela 72.

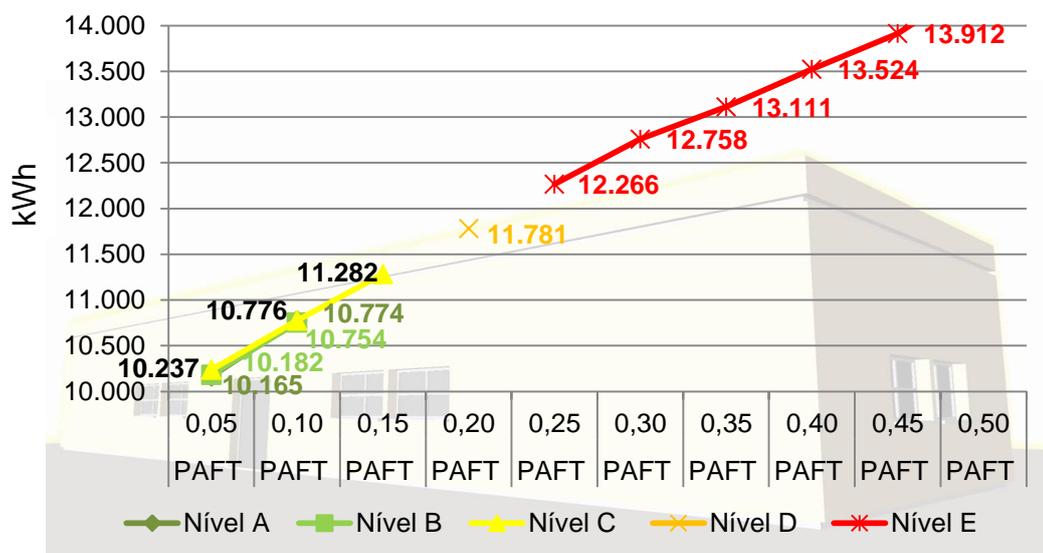
Tabela 72: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta, zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	332.900 kWh	332.900 kWh
Nível B	0 kWh	321.780 kWh	321.780 kWh
Nível C	0 kWh	320.570 kWh	320.570 kWh

4.3.2. Modelo 5 com Parede 1 ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT \text{ máx. } 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)

No modelo 5, com Fator de Forma máximo e de um pavimento, com a densidade de carga interna média ($37,70 \text{ W/m}^2$), os exemplares com a envoltória atendendo aos pré-requisitos para nível C, apresentaram o maior consumo energético. Isto se deve ao fato do modelo nível C estar ganhando mais calor pela cobertura que os modelos dos outros níveis (A e B). Desta forma, o modelo nível C apresentou o maior consumo energético para resfriamento, devido apresentar uma maior transmitância térmica e permitir uma maior troca com o meio externo. O modelo nível A apresentou o menor consumo no PAFT 0,05, já no PAFT 0,10 o nível B apresentou o menor consumo (Figura 57). Esta diferença se deve pelo fato que com o aumento das aberturas os modelos ganharam mais calor por radiação e isso acarretou em um aumento do consumo energético para resfriamento, e como o modelo nível A apresenta uma cobertura mais isolada, manteve mais calor internamente, necessitando um maior consumo energético comparado ao nível B. No PAFT 0,10 o modelo nível A demonstrou um consumo superior ao modelo nível B de 0,20% (22 kWh), já em relação ao nível C apresenta uma economia de 0,018% (2 kWh).

Figura 57: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 1



Ao analisar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,10 observa-se que o exemplar com maior transmitância térmica (nível C) demonstra um consumo superior ao modelo nível A de 0,06% (3,0 kWh) e de 0,41% (23 kWh) maior do que o modelo nível B, de acordo com a Tabela 73.

Tabela 73: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média, zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	5.570 kWh	5.570 kWh
Nível B	0, kWh	5.550 kWh	5.550 kWh
Nível C	0 kWh	5.573 kWh	5.573 kWh

Com o aumento da DCI ($54,88 \text{ W/m}^2$) os resultados apresentaram uma pequena diferença, no PAFT 0,05 o exemplar nível B apresentou o melhor desempenho energético enquanto que o modelo nível C o maior consumo energético. Já no PAFT 0,10 o modelo nível C demonstrou o melhor desempenho energético, enquanto que o Modelo nível A o maior consumo energético. Cabe salientar que as diferenças foram pequenas, no PAFT 0,05 o modelo nível C demonstrou um consumo superior ao nível A de 0,22% (36 kWh) e de 0,25% (40 kWh) maior do que o modelo nível B, conforme Figura 58. Neste mesmo PAFT, o exemplar nível C apresenta um maior consumo energético para resfriamento, em relação os outros Níveis (A e B), isto se deve ao fato da cobertura apresentar uma maior transmitância térmica. Sendo assim, demonstrou um consumo energético com

o sistema de condicionamento de ar de 0,54% (36,00 kWh) a mais que o modelo nível A e de 0,60% (40,00 kWh) superior ao modelo nível B (Tabela 74).

Já no PAFT 0,10 com o aumento dos ganhos por radiação, o modelo nível C apresenta o menor consumo energético para resfriamento, e o nível A apresenta o maior consumo energético, em virtude de apresentar uma cobertura mais isolada, mantendo o calor interno.

Figura 58: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI alta e parede 1

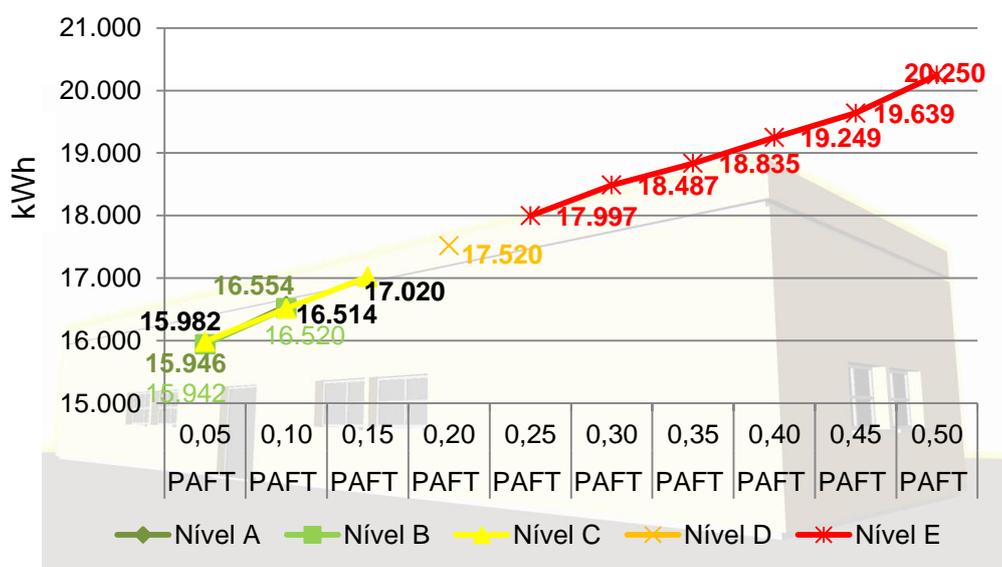


Tabela 74: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,05 – DCI alta, zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	6.636 kWh	6.636 kWh
Nível B	0 kWh	6.632 kWh	6.632 kWh
Nível C	0 kWh	6.672 kWh	6.672 kWh

Na Tabela 75 pode ser observados a síntese dos resultados da zona bioclimática 7 com a parede 2. Os resultados do modelo 2 e 5 para a parede 2 são apresentados em seguida.

Tabela 75: Síntese dos resultados zona bioclimática 7 com a parede 2

Resultados Zona Bioclimática 7 - Parede 2							
Modelos	DCI	Nível	PAFT				
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Modelo 1 	Média	A	59.584 kWh	61.506 kWh			
		B	59.532 kWh	61.442 kWh	62.567 kWh	64.932 kWh	
		C	59.475 kWh	61.498 kWh	62.821 kWh	65.025 kWh	66.546 kWh
	Alta	A	88.351 kWh	90.364 kWh			
		B	88.280 kWh	90.264 kWh	91.400 kWh	93.786 kWh	
		C	88.197 kWh	90.339 kWh	91.694 kWh	93.975 kWh	95528 kWh
Modelo 2 	Média	A	461.660 kWh	459.180 kWh	476.160 kWh		
		B	441.210 kWh	458.560 kWh	475.440 kWh	489.570 kWh	503.460 kWh
		C	440.960 kWh	458.100 kWh	474.820 kWh	488.880 kWh	502.700 kWh
	Alta	A	717.860 kWh	718.110 kWh	734.190 kWh		
		B	700.880 kWh	717.240 kWh	733.260 kWh	747.120 kWh	760.430 kWh
		C	700.310 kWh	716.510 kWh	732.390 kWh	746.070 kWh	759.320 kWh
Modelo 3 	Média	A	316.660 kWh	324.850 kWh	331.500 kWh		
		B	314.900 kWh	322.820 kWh	330.690 kWh	338.250 kWh	346.420 kWh
		C	313.080 kWh	323.630 kWh	327.590 kWh	335.560 kWh	343.480 kWh
	Alta	A	502.620 kWh	513.360 kWh	520.860 kWh		
		B	500.610 kWh	511.120 kWh	517.940 kWh	526.570 kWh	535.200 kWh
		C	499.830 kWh	509.290 kWh	515.740 kWh	523.930 kWh	531.960 kWh
Modelo 4 	Média	A	33.882 kWh	35.899 kWh	37.896 kWh		
		B	33.872 kWh	35.882 kWh	37.873 kWh	39.527 kWh	41.342 kWh
		C	33.867 kWh	35.859 kWh	37.842 kWh	39.487 kWh	41.294 kWh
	Alta	A	50.432 kWh	52.444 kWh	54.469 kWh		
		B	50.414 kWh	52.420 kWh	54.435 kWh	56.102 kWh	57.932 kWh
		C	50.396 kWh	52.392 kWh	54.395 kWh	56.055 kWh	57.868 kWh
Modelo 5 	Média	A	10.800 kWh	11.184 kWh			
		B	10.786 kWh	11.155 kWh			
		C	10.787 kWh	11.134 kWh	11.488 kWh	11.834 kWh	12.175 kWh
	Alta	A	16.474 kWh	16.856 kWh			
		B	16.452 kWh	16.808 kWh			
		C	16.433 kWh	16.782 kWh	17.117 kWh	17.460 kWh	17.805 kWh

LEGENDA:

P2 - Parede 2	$U=3,7 \text{ W/m}^2\text{K} \mid CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$
	Modelo mais eficiente energeticamente
	Modelo menos eficiente energeticamente

4.3.3. Modelo 2 com Parede 2 ($U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)

No modelo 2, os resultados encontrados na parede 2 foram iguais a parede 1. O nível A apresentou maior consumo energético e o nível C o melhor desempenho energético (Figura 59). No PAFT 0,15 é possível observar que o modelo nível A demonstra um consumo anual superior ao modelo nível B de 0,15% (720 kWh) e de 0,28% (1.340 kWh) superior ao modelo nível C. Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar neste mesmo PAFT, pode-se perceber um superaquecimento no modelo nível A, apresentando um consumo para resfriamento de 0,30% (720 kWh) superior ao modelo nível B e 0,57% (1.340 kWh) maior do que o modelo nível C, Tabela 76.

Figura 59: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 2

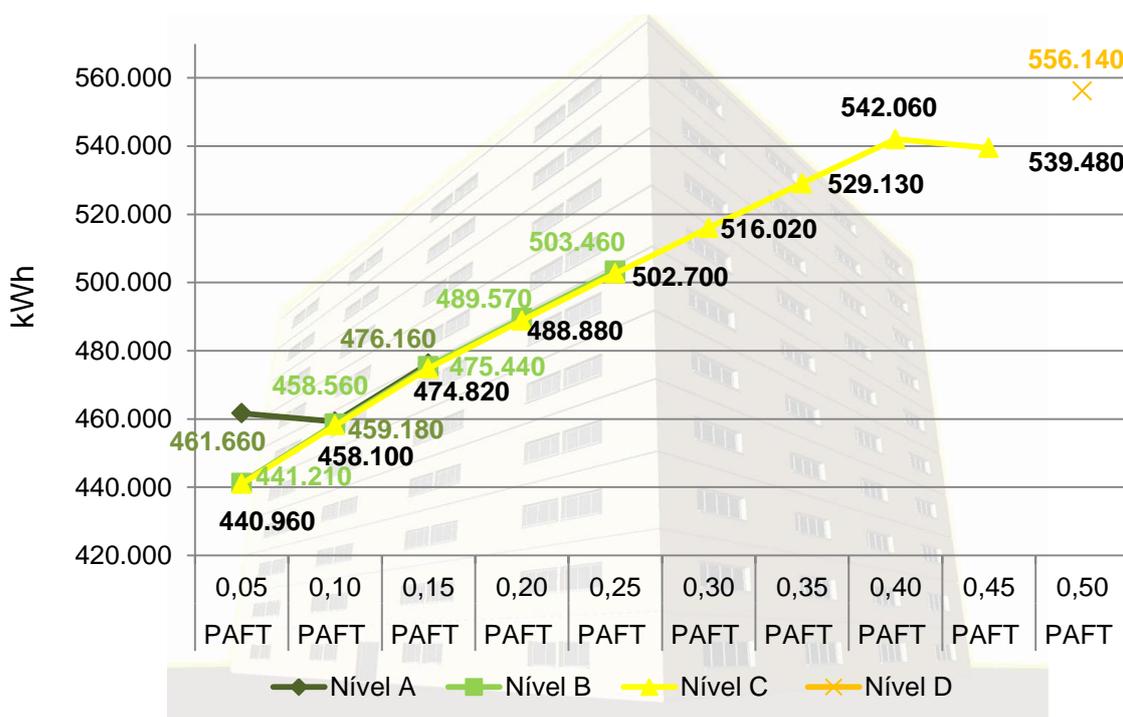


Tabela 76: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI média, zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	233.670 kWh	233.670 kWh
Nível B	0 kWh	232.950 kWh	232.950 kWh
Nível C	0 kWh	232.330 kWh	232.330 kWh

Nesse modelo a variação da DCI de equipamentos não influenciou nos resultados. O modelo com maior isolamento térmico apresentou maior consumo energético (nível A) e o modelo com maior transmitância térmica (nível C) o melhor desempenho energético (Figura 60). Outra observação é que os resultados foram os mesmos encontrados na parede 1. Ao analisar o modelo com PAFT 0,15 o aumento da transmitância térmica do modelo nível A para os modelos níveis B e C demonstrou uma redução no consumo anual de energia de 0,12% (930 kWh) e de 0,24% (1.800 kWh), respectivamente. Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar neste mesmo PAFT, pode-se observar que o modelo nível A apresenta um consumo anual superior ao modelo nível B de 0,29% (930 kWh) e de 0,57% (1.790 kWh) maior do que o modelo nível C (Tabela 77).

Figura 60: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 2, zona bioclimática 7 – DCI alta e parede 2

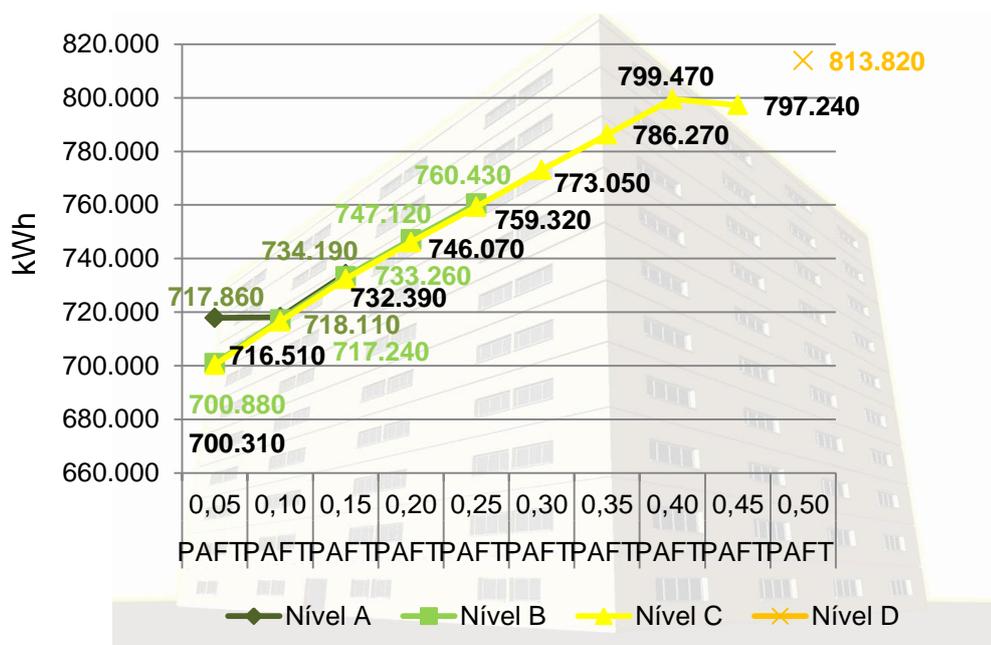


Tabela 77: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 2 com PAFT 0,15 – DCI alta, zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	312.570 kWh	312.570 kWh
Nível B	0 kWh	311.640 kWh	311.640 kWh
Nível C	0 kWh	310.780 kWh	310.780 kWh

4.3.4. Modelo 5 com Parede 2 ($U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$)

Na parede 2, os modelos nível A apresentam o maior consumo de energia nas duas DCI analisadas ($37,70 \text{ W/m}^2$ e $54,88 \text{ W/m}^2$) e o nível C apresentou o menor consumo energético, com exceção apenas do PAFT 0,05 DCI média, que o nível B apresentou o melhor desempenho energético. Na Figura 61 pode-se observar os resultados da DCI média. Neste PAFT, o exemplar configurado com a envoltória nível B demonstra uma economia de energia de 0,12% (14 kWh) em relação ao modelo com maior isolamento térmico (nível A) e uma redução no consumo energético anual de 0,01% (1 kWh) em comparação ao modelo com maior transmitância térmica (nível C). A partir do PAFT 0,10 com o aumento dos ganhos de calor por radiação o modelo nível B por apresentar uma cobertura mais isolada que o modelo nível C, necessita um maior consumo para resfriamento, conforme Tabela 78. Neste caso, a diferença foi muito pequena o modelo nível B apresentou um consumo energético de condicionamento de ar para resfriamento superior ao modelo nível C de 0,01% (1,00 kWh) e em relação ao nível A apresentou uma economia de 0,25% (14 kWh).

Figura 61: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI média e parede 2

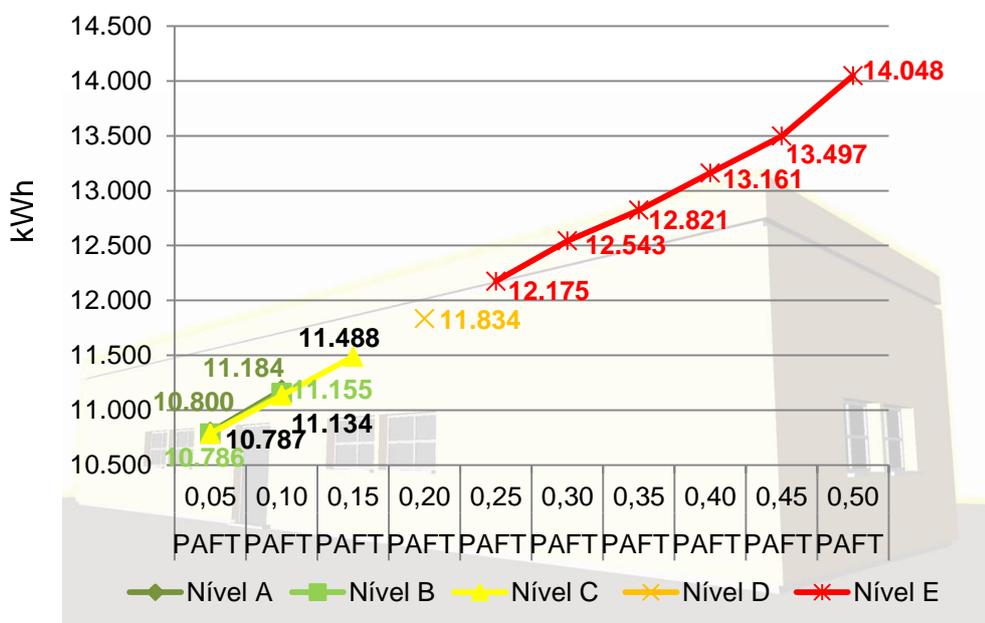


Tabela 78: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI média, zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	1 kWh	5.595 kWh	5.596 kWh
Nível B	2 kWh	5.581 kWh	5.583 kWh
Nível C	3 kWh	5.580 kWh	5.583 kWh

Na DCI Alta o modelo nível C apresenta o menor consumo. Neste caso, os ganhos de calor interno aumentaram à necessidade de resfriamento e o modelo nível A por apresentar a cobertura mais isolada apresentou o pior desempenho, Figura 62. No PAFT 0,10 o exemplar com envoltória de acordo com o nível A demonstra um consumo de energia superior ao nível B e ao nível C de 0,28% (48 kWh) e de 0,43% (74 kWh), respectivamente. Ao Analisar o sistema de condicionamento de ar observa-se que o modelo nível A demonstra um consumo energético superior ao modelo nível B de 0,63% (48 kWh) e de 0,98% (74 kWh) maior do que o modelo nível C, Tabela 79.

Figura 62: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 5, zona bioclimática 7 – DCI alta e parede 2

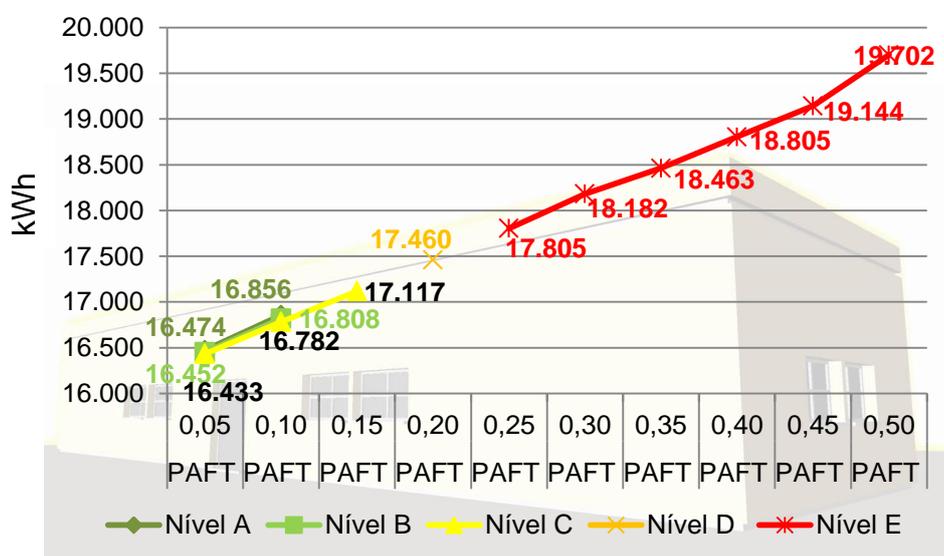


Tabela 79: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 5 com PAFT 0,10 – DCI alta, zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	7.546 kWh	7.546 kWh
Nível B	0 kWh	7.498 kWh	7.498 kWh
Nível C	1 kWh	7.471 kWh	7.472 kWh

4.4. Análise da DCI utilizada por Carlo (2008)

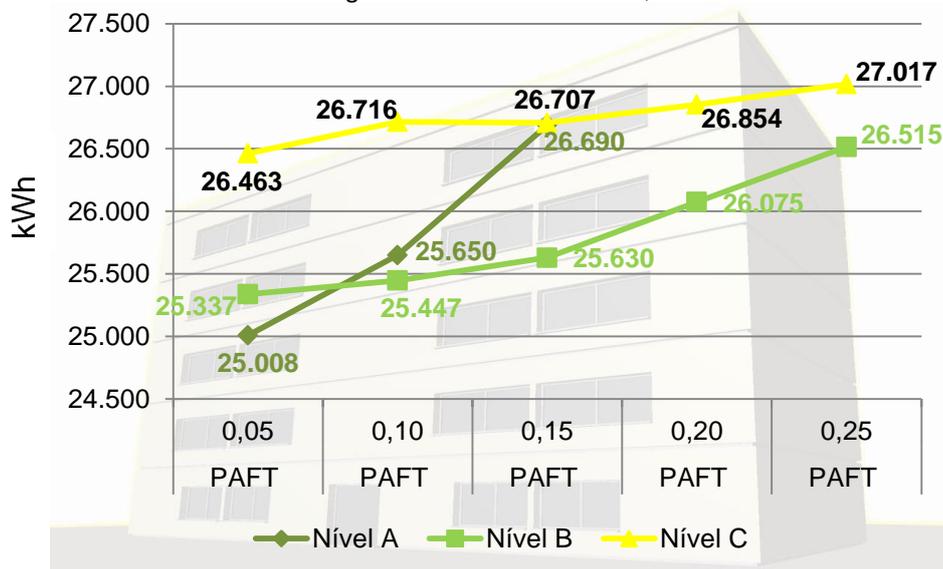
Para desenvolver a equação de regressão linear multivariada, a qual originou o RTQ-C, Carlo (2008) padronizou o parâmetro de DCI em 25W/m^2 , considerando pessoas, iluminação e equipamentos. Para analisar esta DCI, selecionou-se o modelo 1, o qual é baseado no trabalho de Carlo (2008) e aplicou-se nas três zonas bioclimáticas analisadas.

4.4.1. Análise DCI 25W/m^2 na zona bioclimática 1

Ao analisar os resultados do modelo 1 com DCI 25W/m^2 , foi possível observar que a envoltória nível A, apresentou o melhor desempenho energético no PAFT 0,05. Nos demais PAFTs, o modelo nível B demonstra o menor consumo energético.

Este modelo com DCI 25W/m^2 foi o único para qual a envoltória de acordo com o nível C apresentou o maior consumo energético em todos os PAFT analisados, conforme Figura 63.

Figura 63: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 1 – DCI 25W/m^2



Ao analisar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,05, pode-se observar que envoltória de acordo com o nível A é a que apresenta o maior consumo para resfriamento. Os outros modelos (nível B e C) demonstram um maior consumo do sistema de condicionamento de ar para aquecimento (Tabela 80). A DCI 25W/m^2 é muito baixa, gerando pouco calor interno, portanto, as envoltórias com maior transmitância térmica (níveis B e C) necessitam significativamente de

aquecimento, o que acarreta no maior consumo energético. No PAFT 0,10, com o aumento do ganho de calor por radiação os modelos Níveis B e C apresentam um equilíbrio entre a necessidade de aquecer e esfriar a edificação. Já a envoltória de acordo com o nível A, por possuir o maior isolamento térmico demonstra uma necessidade de resfriamento mais significativa, acarretando um consumo energético superior ao modelo nível B, conforme Tabela 81.

Tabela 80: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI de 25W/m², zona bioclimática 1

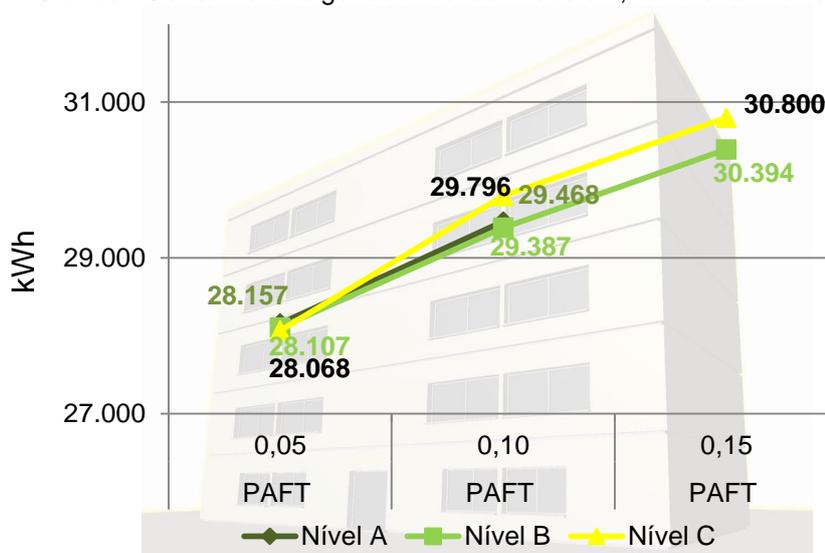
Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	184 kWh	973 kWh	1.157 kWh
Nível B	967 kWh	518 kWh	1.485 kWh
Nível C	2.082 kWh	529 kWh	2.611 kWh

Tabela 81: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI de 25W/m², zona bioclimática 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	108 kWh	1.692 kWh	1.800 kWh
Nível B	709 kWh	887 kWh	1.596 kWh
Nível C	1.555 kWh	1.190 kWh	2.745 kWh

4.4.2. Análise DCI 25W/m² na zona bioclimática 4

Ao analisar a DCI 25W/m², pode-se observar que, no PAFT 0,05, a envoltória de acordo com o nível C apresenta o melhor desempenho energético e o modelo nível A demonstra o maior consumo de energia. A partir do PAFT 0,10, os exemplares de acordo com o nível C demonstram o maior consumo de energia e a envoltória conforme nível B apresenta o melhor desempenho energético (Figura 64).

Figura 64: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 4 – DCI 25 W/m²

Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,05 é possível observar que o modelo nível C apresenta o menor consumo para resfriamento, uma pequena diferença de 2,31% (111 kWh) em relação ao modelo nível A e de 1,12% (53 kWh) em comparação ao modelo nível B (Tabela 82). Ao observar o resultado para o PAFT 0,10, a envoltória nível C apresenta o maior consumo de condicionamento de ar para resfriamento, isto ocorre devido ao aumento dos ganhos de calor por radiação, devido ao aumento das aberturas. Neste PAFT, o modelo nível C demonstra um consumo do sistema de ar condicionado para resfriamento de 3,25% (206 kWh) superior ao modelo nível A e de 4,63% (293 kWh) maior do que o modelo nível B (Tabela 83).

Tabela 82: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI de 25W/m², zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	39 kWh	4.790 kWh	4.829 kWh
Nível B	46 kWh	4.732 kWh	4.823 kWh
Nível C	59 kWh	4.679 kWh	4.738 kWh

Tabela 83: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI de 25W/m², zona bioclimática 4

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	22,97 kWh	6.118 kWh	6.140,97 kWh
Nível B	28,16 kWh	6.031 kWh	6.059,16 kWh
Nível C	47,72 kWh	6.324 kWh	6.371,72 kWh

4.4.3. Análise DCI 25W/m² na zona bioclimática 7, parede 1.

No modelo 1, com DCI 25 W/m² e parede 1, pode ser observado que a envoltória, atendendo aos pré-requisitos para nível A apresentou um consumo energético superior aos demais, porém os resultados foram muito próximos. A envoltória nível C apresentou o menor consumo energético, com exceção do PAFT 0,15, que o nível B apresentou o menor consumo (Figura 65).

Ao analisar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,10 é possível observar que o modelo nível B apresenta um consumo superior ao modelo nível C de apenas 0,31% (78,00 kWh), Tabela 84. Já no PAFT 0,15 o modelo nível C demonstra um consumo superior ao modelo nível B de apenas 0,08% (23,00 kWh), Tabela 85. No PAFT 0,10 o modelo nível B por possuir um maior isolamento térmico necessita mais do sistema de resfriamento, enquanto que o modelo nível C necessita ainda do sistema de aquecimento. No entanto, no PAFT 0,15 a necessidade de resfriamento do modelo nível C aumenta, sendo assim, um pouco superior ao modelo nível B. Já no PAFT 0,20, com aumento das aberturas que aumenta os ganhos de calor por radiação solar, o modelo nível C necessita menor consumo para resfriamento por permitir uma maior troca com o meio externo, apresentando assim o menor consumo energético.

Figura 65: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 7, parede 1 – DCI 25 W/m²

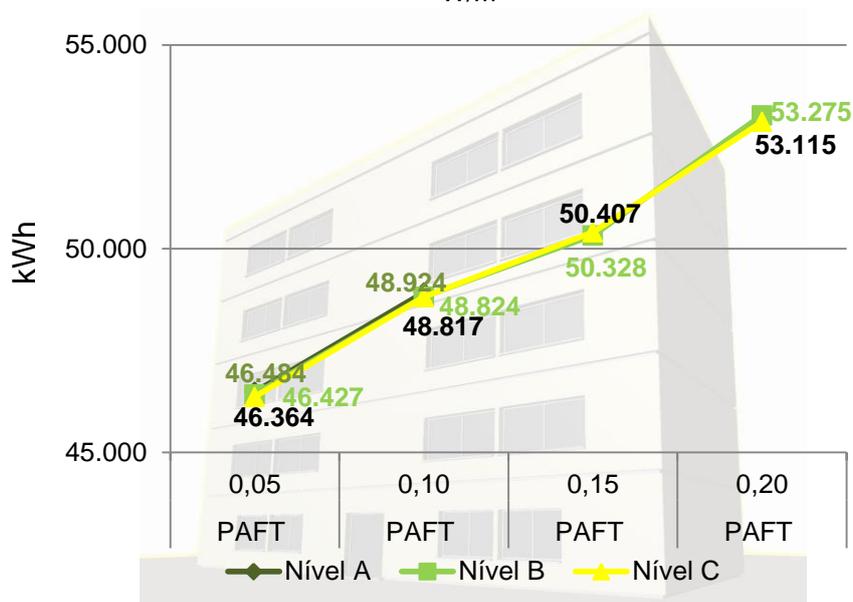


Tabela 84: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI 25W/m², zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	0 kWh	24.971 kWh	24.971 kWh
Nível B	0 kWh	24.871 kWh	24.871 kWh
Nível C	1 kWh	24.792 kWh	24.793 kWh

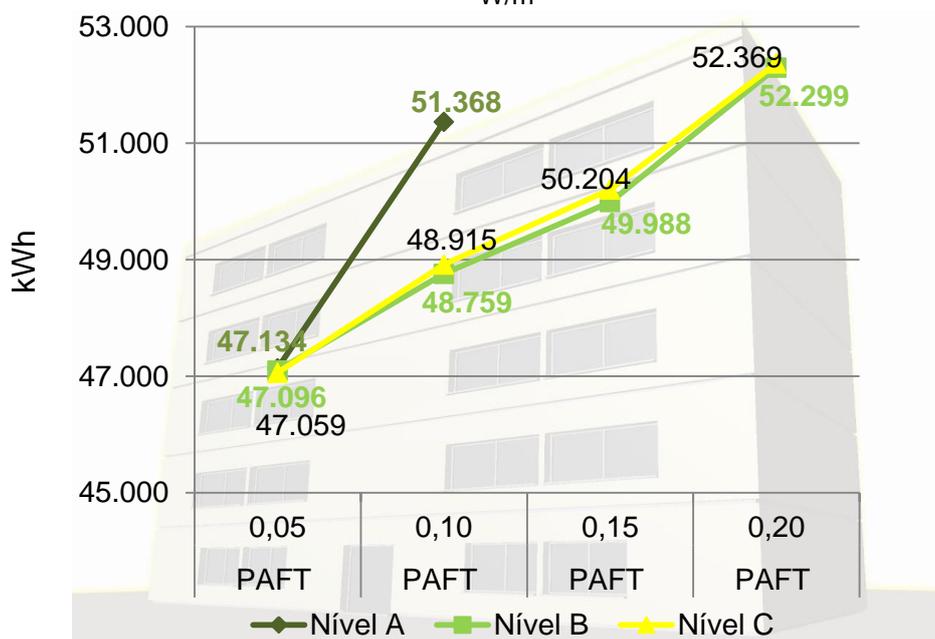
Tabela 85: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,15 – DCI 25W/m², zona bioclimática 7, parede 1

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível B	0 kWh	26.376 kWh	26.376 kWh
Nível C	0 kWh	26.399 kWh	26.399 kWh

4.4.4. Análise DCI 25W/m² na zona bioclimática 7, parede 2.

Ao analisar a DCI 25W/m² na zona bioclimática 7, com a parede 2 pode-se observar que no PAFT 0,05 a envoltória de acordo com o nível C apresenta o melhor desempenho energético. A partir do PAFT 0,10 a envoltória de acordo com o nível B apresenta o menor consumo energético. O modelo nível A apresentou o maior consumo energético nos dois PAFTs analisados (0,05 e 0,10), Figura 66.

Figura 66: Gráfico - Consumo energético anual do modelo 1, zona bioclimática 7, parede 2 – DCI 25 W/m²



Ao avaliar o sistema de condicionamento de ar no PAFT 0,05 é possível observar que o modelo nível C demonstra uma economia de 0,15% (36 kWh) em relação ao modelo nível B e de 0,32% (75 kWh) em comparação ao modelo nível A. O modelo nível C apresenta um menor consumo do sistema de ar condicionado para resfriamento, devido a apresentar uma maior transmitância térmica na cobertura, o que permite que o calor interno se dissipe para o meio externo, Tabela 86.

Já no PAFT 0,10 o modelo nível C demonstra um consumo superior ao modelo nível B de apenas 0,34% (85 kWh). Com o aumento das aberturas, aumentam os ganhos de calor por radiação que somados aos ganhos da cobertura por apresentar uma maior transmitância fazem o modelo nível C necessitar mais de resfriamento do que o modelo nível B. No entanto, pode-se notar que esta diferença é insignificante, menor que 1%, Tabela 87.

Tabela 86: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,05 – DCI 25W/m², zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	3 kWh	23.177 kWh	23.180 kWh
Nível B	4 kWh	23.137 kWh	23.141 kWh
Nível C	7 kWh	23.098 kWh	23.105 kWh

Tabela 87: Consumo anual do sistema de condicionamento de ar para o modelo 1 com PAFT 0,10 – DCI 25W/m², zona bioclimática 7, parede 2

Consumo anual do sistema de condicionamento de ar			
Modelo	Aquecimento	Resfriamento	Total
Nível A	1 kWh	25.352 kWh	25.353 kWh
Nível B	2 kWh	24.804 kWh	24.806 kWh
Nível C	7 kWh	24.884 kWh	24.891 kWh

4.5. Síntese dos resultados

Os resultados encontrados para zona bioclimática 1 demonstraram que as envoltórias com a transmitância térmica, de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C, podem apresentar diferente consumo energético dependendo da densidade de carga interna de equipamento instalada. Pode-se observar que edifícios de escritório com DCI média e envoltória de acordo com o nível B do RTQ-C apresentam o menor consumo energético. A envoltória de acordo com o nível A apresentou menor consumo energético no edifício horizontal de apenas um pavimento (Modelo 5).

No entanto, em edificações com elevada DCI, observou-se que paredes e cobertura configuradas para atender aos pré-requisitos específicos para o nível C (transmitância térmica de paredes e cobertura) apresentam um consumo inferior a envoltória que atendem aos níveis A e B. Ao analisar os fluxos térmicos dos modelos, observa-se que, em decorrência da maior necessidade de resfriamento (em comparação à necessidade de aquecimento), grande parte dos modelos analisados, quando com menor isolamento térmico (nível C), apresenta menor consumo energético.

Também foi possível observar que, nos dois modelos de Fator de Forma mínimo e área maior que 500m², o aumento da DCI não alterou o resultado. Pode-se observar que, mesmo na DCI média, o modelo nível A já apresentou um superaquecimento, ocasionando o maior consumo energético em relação aos modelos dos outros níveis energético (B e C). Pode-se constatar que este fato ocorre em edificações com 10 pavimentos e com Fator de Forma menor que 0,30.

Ao avaliar sazonalmente a zona bioclimática1, pode-se verificar nas simulações realizadas que na DCI de equipamentos alta, apenas um modelo não

apresentou superaquecimento no inverno, o modelo 5, o qual apresenta Fator de Forma máximo e um pavimento.

Na zona bioclimática 4, pode-se verificar que de modo geral a variação da DCI de equipamentos não influenciou os resultados. Os edifícios configurados com a maior transmitância térmica (nível C) demonstraram o melhor desempenho energético, nas duas DCI analisadas e na maioria dos modelos avaliados. Somente o modelo 1, desenvolvido com base em Carlo (2008), a envoltória nível B apresentou o melhor desempenho energético. Na zona bioclimática 4, apenas a cobertura possui valores de transmitâncias térmicas diferentes para cada nível de eficiência energética. Portanto, os resultados de desempenho energético das diferentes envoltórias foram muito próximos, apresentando diferenças menores que 5%.

Na zona bioclimática 7, a variação da DCI de equipamentos influenciou apenas dois modelos, modelo 1 e modelo 5 (1 pavimento). Na zona bioclimática 7, a variação da DCI não causou grande influência, devido ao fato de somente a cobertura possuir limites de transmitâncias térmicas diferentes para cada nível de eficiência energética. Entretanto, foi possível observar que os modelos configurados para o nível A apresentaram o maior consumo energético, em virtude de apresentarem um superaquecimento já na DCI média. Os modelos de acordo com nível C demonstraram o menor consumo energético.

Em relação às paredes utilizadas na zona bioclimática 7, foi possível verificar que a parede 2 ($U = 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $CT > 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$) apresentou melhor desempenho nas DCI altas por necessitar um menor consumo energético para resfriamento, em virtude de apresentar uma maior transmitância térmica e permitir que o calor interno se dissipe para o meio externo. Já a parede 1 ($U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $CT \text{ máx. } 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$), apresenta o melhor desempenho na DCI média PAFT 0,05 e nos edifícios de 1 e 2 pavimentos.

5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo geral identificar a sensibilidade do método prescrito do RTQ-C quanto à variação de densidade de carga interna de equipamentos na avaliação do desempenho energético da envoltória de edifícios de escritórios. Os resultados demonstraram que, dependendo da densidade de carga interna de equipamento instalada, as envoltórias com a transmitância térmica de acordo com os níveis de eficiência energética do RTQ-C podem apresentar diferentes consumos energéticos. No entanto, esta diferença depende da zona bioclimática, fator de forma e percentual de abertura.

Também foi possível constatar que DCI de equipamento utilizada por Carlo (2008) é menor que a DCI média de equipamentos adota pela ASHRAE (2009). Portanto, gera pouco calor interno e a envoltória com maior transmitância térmica apresenta o maior consumo energético por estar recebendo calor do meio externo. O baixo valor adotado na DCI não possibilita definir os limites corretos de transmitância térmica para paredes e coberturas para todas as zonas bioclimáticas. Já as DCI de equipamentos analisadas na pesquisa, DCI média e alta, provoca um aumento no calor interno e o fluxo de calor se inverte do meio interno para o externo. Sendo assim, a envoltória de acordo com o nível C demonstrou o melhor desempenho energético na maioria dos modelos analisados.

Os pré requisitos da envoltória do RTQ-C deveriam estar associados a atualização de controle de radiação solar com base em fator solar e elementos de sombreamento, desta forma evitaria o superaquecimento no edifícios mais isolados termicamente (nível A). Também deveria ser avaliada pelo regulamento a utilização de ventilação noturna, pois em edifícios comerciais os ganhos internos ocorrem no mesmo período que os ganhos solares, no período do dia. Com a ventilação noturna

seria possível resfriar a edificação à noite, diminuindo a quantidade de calor interno no começo do período do dia.

De acordo com os resultados obtidos nas diversas configurações, com base nos pré-requisitos da envoltória do RTQ-C, foram indicados valores de transmitância térmica das paredes e coberturas, conforme a DCI e a zona bioclimática localizada a edificação. Estes valores são apresentados nos infográficos (Figuras 67, 68 e 69) na sequência do texto. A contribuição da definição de novos valores dos pré-requisitos específicos da envoltória para o nível A, além dos valores de transmitância térmica especificados para paredes e coberturas, propõe que sejam considerados também o Fator de Forma, o PAFT, e a DCI da edificação. Com isso será possível observar os pré requisitos específicos considerando a forma, o percentual de abertura, o uso e a ocupação dos espaços.

Figura 67: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 1

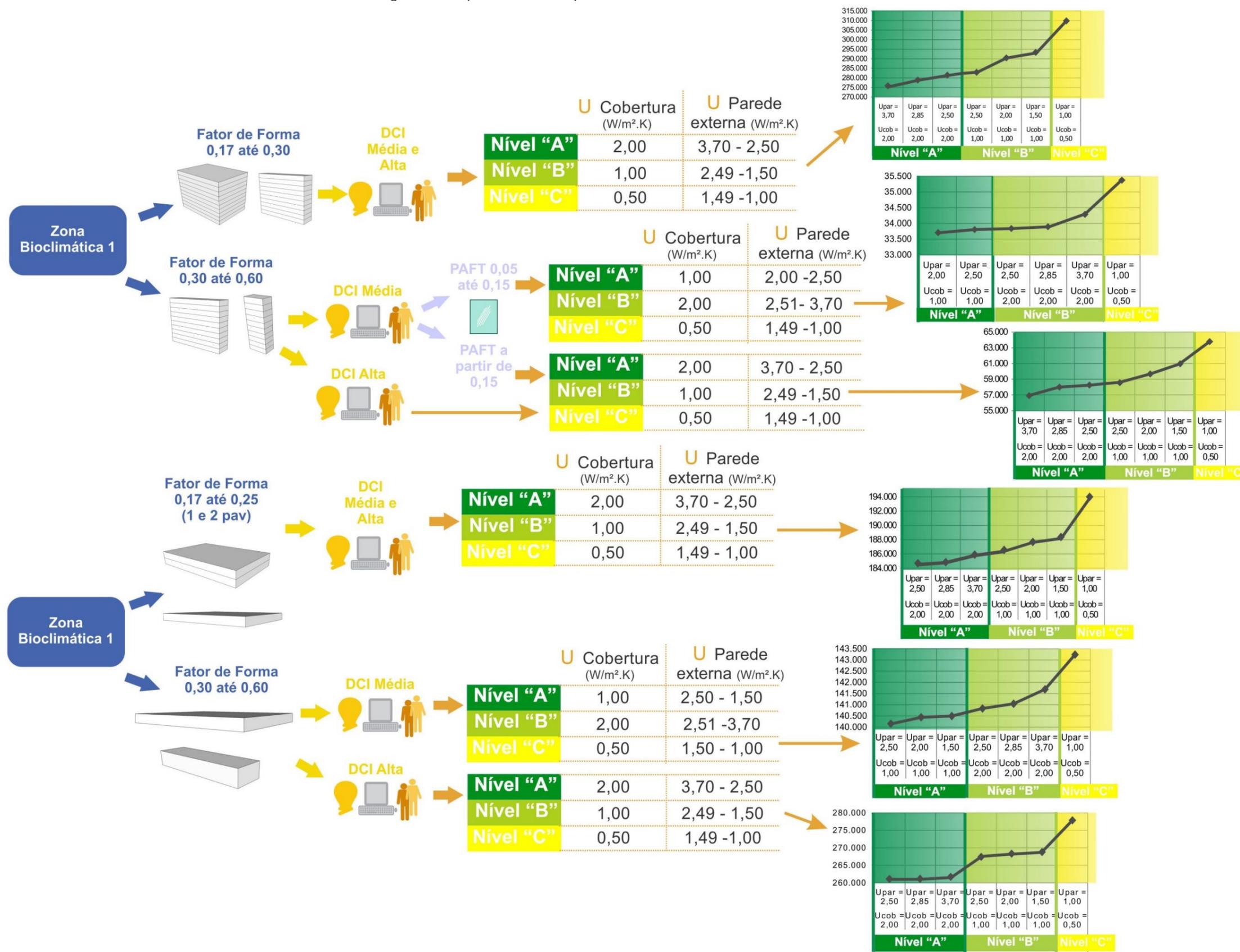


Figura 68: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 4

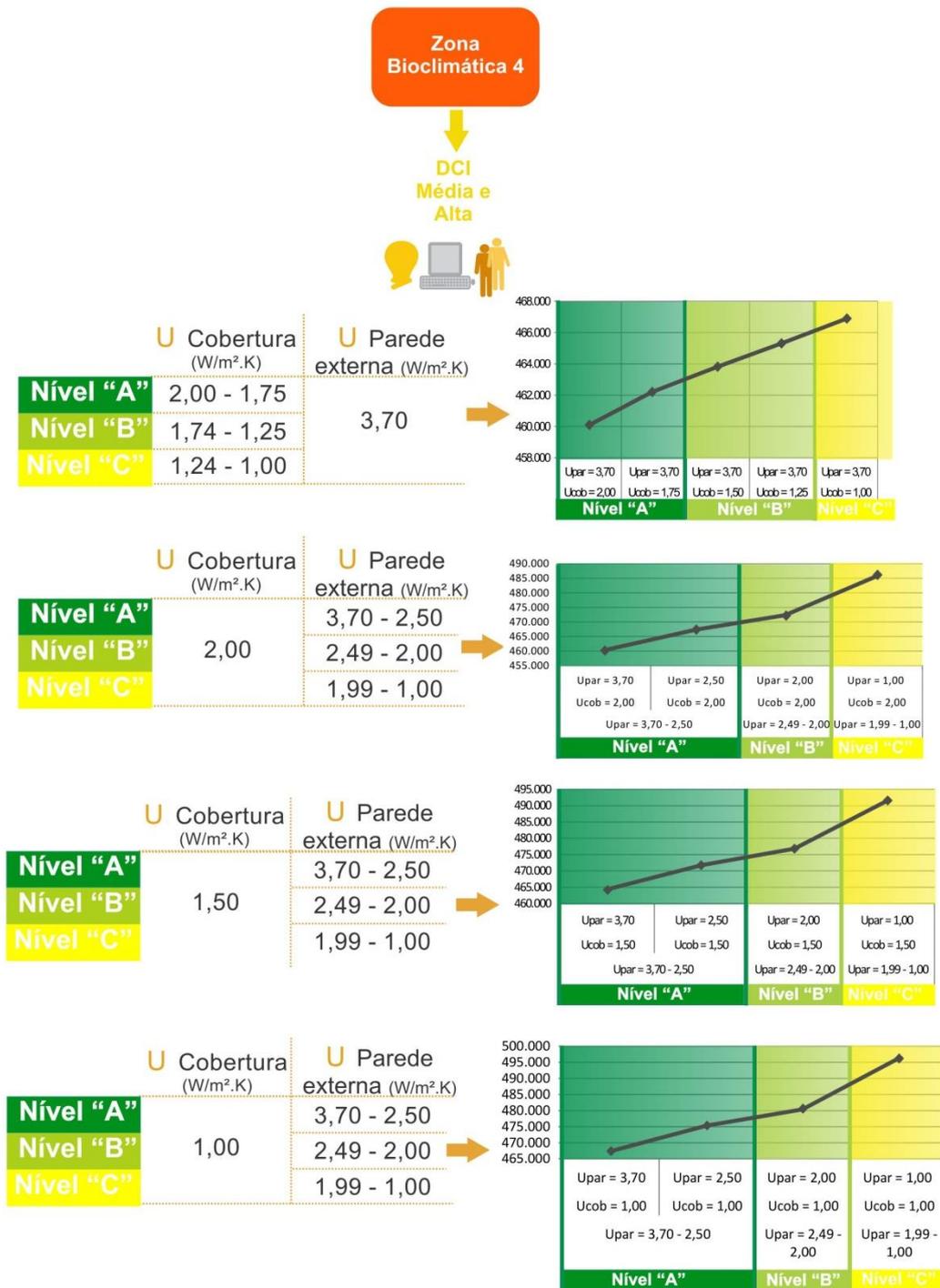
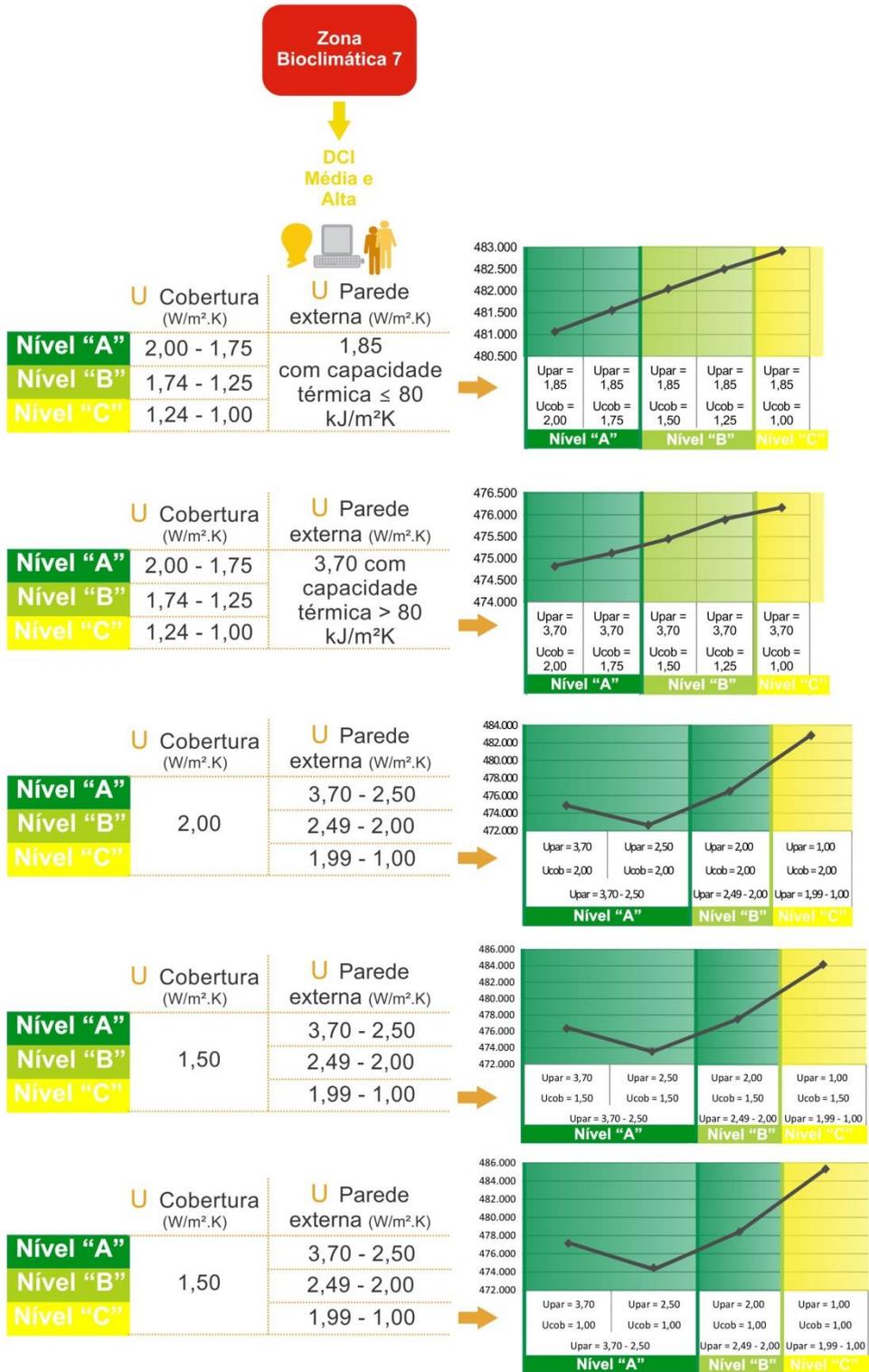


Figura 69: Proposta de valores para transmitância térmica – zona bioclimática 7



5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos a partir deste trabalho e conscientes de que o método prescritivo do RTQ-C não considera a possibilidade de diferentes densidades de carga interna sugere-se:

- aplicação da mesma metodologia para as demais zonas bioclimáticas;
- aplicação da mesma metodologia para edifícios ventilados naturalmente;
- com o objetivo de ajustar as novas recomendações para os pré requisitos da envoltória do RTQ-C, ampliar as simulações com valores intermediários de densidade de carga interna (leve e média/alta);
- também com o objetivo de ajustar as novas recomendações para os pré requisitos da envoltória do RTQ-C procurar os limites mínimos de transmitância térmica da envoltória para cada nível de eficiência energética;
- pesquisa com a mesma metodologia para outros modelos, com diferentes fatores altura e fator forma.

6. Referências bibliográficas

AGENEAL, Agência Municipal de energia de Almada. **Novas obrigações a partir de Janeiro de 2009**. Portugal, 2009. Disponível em:

<<http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreelD=00/01&treeID=00/01/00>> Acesso em: 10 jan. 2014.

ALVES, Hélder. **Eficiência energética em edifícios da Lipor I**. Mestrado Integrado Engenharia do Ambiente (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações, Parte 1: Definições, Símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

____. **NBR 15220-3 Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

____. **NBR 16.401- Instalação de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

____. **NBR 16.401- Instalação de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

____. **NBR ISO 8995: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: ABNT. 2013

BATISTA, j; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o EnergyPlus In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais**. Maceió: ENCAC, 2005.

BASTOS, Felipe Carlos. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BEN, **Balanco Energético Nacional**. 2014/Ano Base 2013: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em:< <https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em: 10 jan. 2015.

BERALDO, Juliano. **Eficiência energética em edifícios**: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BOYANO, A.; HERNANDEZ, P.; WOLF, O. Energy demands and potencial savings in European office buildings: case studies based on EnergyPlus simulations. **Energy and Buildings**, V. 65 p. 19-28, 2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813003277>> Acesso em: 11 dez. 2013.

BRASIL, **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html>. Acesso: em 20 jun. 2013.

_____**Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 20 Jun. 2013.

_____**Instrução Normativa Nº 106, de 5 de junho de 2014**. Torna obrigatória a etiquetagem de edificações públicas federais. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=103&totalArquivos=164>>. Acesso em: 7 de jun.2014.

_____**Portaria Interministerial Nº364, de 24 de dezembro de 2007**. Aprova a Regulamentação Específica de Condicionadores de Ar, na forma constante dos Anexos à presente Portaria. Ministério de Minas e Energia. Consultoria Jurídica. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Portaria_Interministerial_nx_364_2007.pdf> Acesso em: 20 de jun. 2013.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. (Tese de doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 215 p.

CHVATAL, Karin, **Relação entre o Nível de isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil . Porto, Portugal 2007.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K., WILKELMANN, F. C., BUHL, W.F., HUANG, Y. J.; PEDERSEN, C.O.; STRAND, R.K.; LIENSEN, R. J., FISHER, D. E., WITTE, M.J.; GLAZER, J. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program.In: **Energy and Buildings**. Elsevier, V.22 p.319-331, 2001. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880001146>> acesso em: 20 Abr. 2014.

CUNHA, Eduardo G; ZECHMEISTER, Doris; MELO, Evanisa Quevedo; MASCARÓ, Juan José; VASCONCELLOS, Luciano de; FRANDALOSO, Marcos Antônio Leite. **Elementos de Arquitetura de climatização Natural**. Porto Alegre: Masquatro, 2ª edição, 2006.

DESINGBUILDER. **Programa de simulação computacional de edificações**. Disponível em:<<http://www.designbuilder.co.uk/content/view/6/14/>> Acesso em: 10 maio 2014.

DOMUS. **Programa de simulação computacional de edificações**. Disponível em: <<http://www.domus.pucpr.br>>. Acesso em: 16 dez. 2013.

ELETROBRÁS, **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**: sumário executivo. Ano base 2005. Eletrobrás 2007. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?view=%7b05070313-120A-45fd964d-5641d6083f80%7d>> Acesso em: 15 jun de 2014.

GALASIU, A. D.; NEWSHAM, G. R.; SAVAGAU, C.; SANDER, D. M.: Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. **Leukos**, v. 4, no. 1, July 2007. Canada.

GELLER, H.S. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1992. 223p.

GRATIA, E.; HERDE, A. Desing of low energy office buldings. **Energy and Buildings**. Elsevier, V.35, p.473-491, 2001.

HAVES, P. New tools for building simulation. IV Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. **Anais** Curitiba: ASBRAV, 2004. Documento eletrônico. 15p. *apud* CARLO, J. C. Desenvolvimento de metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. (Tese de doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 215 p.

HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto. **Building performance simulation for design and operation**. Spon Press. London and New York. 2011.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 12 de nov 2014.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Eletrobrás, 2010.

JOHANSSON, T.B.; GOLDEMBERG, J. **Energy For Sustainable Development, A Policy Agenda**. United Nations Development Programme, 2002. Disponível em: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environmentenergy/sustainable_energy/energy_for_sustainabledevelopmentapolicyagenda/> Acesso em: 15 abr. 2014.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEÉE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Bio**. Versão 2.1.5, 2009.. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>> .Acesso em: 16 de Set. 2014

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2014. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>> Acesso em: 10 jun. 2014.

LOMARDO, Louize. **Eficiência Energética nos Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído** – Rio de Janeiro, 2001.53p.

MASCARÓ, Lúcia. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**.1ª edição. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 1985. 136p.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2005.

MELO, Ana Paula. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 189 p.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. 2007. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ORDENES, M., PEDRINI, A., GHISI, E. LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VisualDOE – 3.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

PAPST, Ana Lígia. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC. Florianópolis**. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PEDRINI, A., LAMBERTS, R. Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia de edificações de escritório em clima quente. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003. pp. 209-216

PINO, A; BUSTAMANTE, W.; ESCOBAR, R.; PINO, F. Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. **Energy and Buildings**. Elsevier, V.47, p. 441-449, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006268>> Acesso em: 20 de nov. 2013

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf>

SANTOS, Iara; DORNELLES, Kelen; SOUZA, Roberta. Absortância solar de superfícies e o regulamento brasileiro para eficiência energética de edifícios. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Canela: ANTAC, 2010.

SIGNOR, Régis. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SILVA, Sandra R. B.; SOUZA, Roberta V. Decisões arquitetônicas x Potência instalada para condicionamento de ar: Um estudo de caso. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.

SPYROUPOULOS, G. N.; BALARAS, C. A. Energy consumption and potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches: a case study. **Energy and Buildings**. V. 43 p. 770–778, 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/nAWLfl>> Acesso em: 17 de jan 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/> acessado em 15 de maio de 2014.

VITTORINO, F. SATO, N.M.N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. **Anais...** Curitiba, PR, Brasil, 2003

WESTPHAL, Fernando. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WESTPHAL, F. S. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

7. Apêndices

Apêndice A – Limites do consumo energético dos modelos

A Tabela 88 a seguir apresenta como foram calculados os limites de consumo energético para cada nível de eficiência energética.

Tabela 88: Limites do consumo energético para cada nível de eficiência

Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	$I_{C_{maxD}} - i + 0,01$	$I_{C_{maxD}} + 0,01$
Lim Máx	$I_{C_{maxD}} - i$	$I_{C_{maxD}}$	$I_{C_{maxD}} + i$

Para o cálculo do consumo energético limite para os modelos da zona bioclimática 1 com Fator de Forma entre 0,17 e 0,30 e em altura, utilizou-se como exemplo o modelo 2 com DCI média, conforme a Tabela 89 a seguir.

Tabela 89: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 2 DCI média

ZB1 Modelo 2 DCI Média			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	292.611	309.531
Lim Máx	292.610	309.530	326.450

Para os modelos com Fator de Forma entre 0,30 e 0,60 em altura ,da zona bioclimática 1 com DCI média foi utilizado como exemplo o modelo 1, na Tabela 90 abaixo pode-se observar os limites do consumo energético para esse modelo.

Tabela 90: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 1 DCI média

ZB1 Modelo 1 DCI Média			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	34.532	35.373
Lim Máx	34.531	35.372	36.214

O modelo 1 com DCI alta foi utilizado como exemplo para o cálculo do limite do consumo energético para os modelos com Fator de Forma entre 0,30 e 0,60 em altura da zona bioclimática 1 com DCI alta, conforme a Tabela 91 a seguir.

Tabela 91: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 1 DCI alta

ZB1 Modelo 1 DCI Alta			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	60.334	63.800
Lim Máx	60.333	63.799	67.265

O cálculo do consumo energético limite para os modelos da zona bioclimática 1 com Fator de Forma entre 0,17 e 0,25 de 1 e 2 pavimentos, utilizou-se como exemplo o modelo 3 com DCI média, de acordo com a Tabela 92 a seguir.

Tabela 92: Limites do consumo energético ZB1 Modelo 3 DCI média

ZB1 Modelo 3 DCI Média			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	189.306	193.951
Lim Máx	189.305	193.950	198.595

O modelo com Fator de Forma 0,30 foi utilizado como exemplo para o cálculo do limite do consumo energético para os modelos com Fator de Forma entre 0,30 e 0,60 de 1 pavimento da zona bioclimática 1 com DCI média e DCI alta, conforme as Tabelas 93 e 94 a seguir.

Tabela 93: Limites do consumo energético ZB1 Modelo térreo fator de forma 0,30 DCI média

ZB1 Modelo Térreo Fator Forma 0,30 DCI Média			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	141.696	143.231
Lim Máx	141.695	143.230	144.765

Tabela 94: Limites do consumo energético ZB1 Modelo térreo fator de forma 0,30 DCI alta

ZB1 Modelo Térreo Fator Forma 0,30 DCI Alta			
Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C
Lim Mín	-	269.406	277.851
Lim Máx	269.405	277.850	286.295

O modelo 2 com DCI média foi utilizado como exemplo, para o cálculo do limite do consumo energético para os modelos da zona bioclimática 4, de acordo com a Tabela 95.

Tabela 95: Limites do consumo energético ZB4 Modelo 2 DCI média

ZB4 Modelo 2 DCI Média			
Eficiência	A	B	C
Lim Mín	-	463.456	466.821
Lim Máx	463.455	466.820	470.185

Para a zona bioclimática 7, considerou-se como exemplo o modelo 2 com DCI média, as Tabelas 96 e 97 a seguir apresentam os limites de consumo energético desse modelo com parede 1 e com a parede 2, respectivamente.

Tabela 96: Limites do consumo energético ZB7 Modelo 2 DCI média parede 1

ZB7 Modelo 2 DCI Média - Parede 1			
Eficiência	A	B	C
Lim Mín	-	481.986	482.921
Lim Máx	481.985	482.920	483.855

Tabela 97: Limites do consumo energético ZB7 Modelo 2 DCI média parede 2

ZB7 Modelo 2 DCI Média - Parede 2			
Eficiência	A	B	C
Lim Mín	-	475.491	476.161
Lim Máx	475.490	476.160	476.830