

CESAR CALDERARO FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DE CONFORTO TÉRMICO DA
NBR 15575 E UM COMPARATIVO DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO
À CERTIFICAÇÃO AQUA-HQE™**

São Paulo

2017

CESAR CALDERARO FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DE CONFORTO TÉRMICO DA
NBR 15575 E UM COMPARATIVO DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO
A CERTIFICAÇÃO AQUA-HQE™**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

São Paulo

2017

CESAR CALDERARO FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DE CONFORTO TÉRMICO DA
NBR 15575 E UM COMPARATIVO DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO
A CERTIFICAÇÃO AQUA-HQE™**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

Área de Concentração:
Engenharia Civil Gestão de Projetos na
Construção

Orientador:
Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Rocha de Souza
Melhado

São Paulo
2017

Catálogo-na-publicação

Santos, Cesar

ANÁLISE DO ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DE CONFORTO TÉRMICO DA NBR 15575 E UM COMPARATIVO DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO À CERTIFICAÇÃO AQUA-HQE™ / C. Santos -- São Paulo, 2017.

182 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Conforto Térmico 2.ABNT NBR 15575 3.Certificação AQUA 4.Simulação Computacional 5.Certificações Ambientais I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

Dedico este trabalho a **Maila**, minha esposa e a **Isabella**, minha filha, por estarem ao meu lado durante todo o desenvolvimento deste trabalho, me apoiando e me incentivando nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu superasse todos os obstáculos vividos no desenvolvimento deste trabalho.

A minha família, especialmente a minha amada esposa Maila, que não hesitou em momento algum em manter-se ao meu lado, me apoiando, incentivando e acreditando, mesmo quando tudo parecia estar errado. A minha linda filha Isabella, que me motivou a superar os desafios e me inspirou a buscar o meu melhor. A minha mãe Elisabeth e ao Beto, pelas orações, o apoio e o acolhimento, ao meu pai Antônio pelo exemplo no estudo, o meu irmão Régis, a minha irmã Maira e todos os familiares que apoiaram e torceram por mim: *Tio Edson, Tia Rose, Rodrigo, Guilherme, Orival, Irlanda, Pablo, Luziane, Camila, Wilson, Sonize, Suzan, Wilson, Luzia e Mariana...*

Aos colegas e amigos do Construtivo, especialmente ao Marcus pelo incentivo.

A Professora Ana Rocha Melhado, minha orientadora, por sua capacidade de transmitir com simplicidade o enorme conhecimento que possui, por ter exercido com maestria a função de orientar, e principalmente, por ter assumido o risco, de em tão pouco tempo, se dispor a ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Marcelo Romero pela sua hipnotizante aula sobre radiação solar, paredes trombe e técnicas passivas de conforto térmico, que influenciaram na escolha do tema. Ao Professor Alberto Hernandez Neto, por todo seu apoio nas aulas de simulação computacional. Ao Professor Silvio Melhado, pela humildade e competência com que ensina e compartilha o conhecimento, e pelo respeito com que lida com todos, sem exceção.

A todos os professores, que de alguma maneira influenciaram e contribuíram neste trabalho e os colegas da Pós-Graduação, pelos dois anos de intensa troca de experiências.

RESUMO

A escassez de recursos naturais vem chamando atenção e direcionando esforços em pesquisas para tornar viável a utilização de fontes de energia renováveis e no desenvolvimento de sistemas mais eficientes, em todas as esferas e segmentos da indústria. Protocolos e acordos para a redução do consumo de recursos naturais e emissão de poluentes são cada vez mais comuns, e a indústria da construção civil não é diferente, principalmente nos esforços que vem empregando no desenvolvimento de materiais, equipamentos e serviços que causem menos impacto ao meio. No entanto, pequenas iniciativas que poderiam contribuir significativamente na redução de energia ainda são ignoradas. A avaliação do crescimento do consumo energético de uma habitação e a identificação de sua relação com as condições de habitabilidade podem melhorar a qualidade das habitações e reduzir o impacto gerado ao meio ambiente. Mesmo com o aumento da eficiência dos equipamentos elétricos, o consumo energético em edificações residenciais cresce anualmente, parte desse crescimento se deve às mudanças climáticas e a utilização cada vez maior de equipamentos e eletrodomésticos dependentes de energia elétrica em nossas moradias. Contudo, uma parcela relativamente grande do consumo energético nas habitações é dedicado aos meios complementares de climatização, que está diretamente ligado ao baixo desempenho térmico das habitações. O objetivo deste trabalho é investigar os requisitos da ABNT NBR 15575 e da certificação AQUA-HQE que influenciam diretamente no desempenho térmico de uma habitação e como as soluções adotadas pelos agentes são tratadas na concepção e desenvolvimento do projeto. A partir da análise comparativa entre as soluções e instrumentos avaliados juntamente com a aplicação de um estudo de caso, examinar quais efetivamente podem contribuir para a melhoria da qualidade do habitat e para a redução de seu impacto no meio ambiente.

Palavras-chave: Gestão de Projetos. Processo de Projeto. Conforto Térmico. NBR 15575. Norma de Desempenho. Certificações Ambientais, Sustentabilidade. Simulação Computacional. Consumo Energético. Energy Plus. AQUA-HQE™. LEED. Procel. BREEM. Casa Azul. DGNB.

ABSTRACT

The scarcity of natural resources has been drawing attention and focusing efforts to make feasible the use of renewable energy sources, and the development of more efficient systems in all areas and industrial sectors. Protocols and agreements to reduction of natural resources consumption and the emission of pollutants are becoming ever more common, and the construction sector is no different, especially in the efforts it has been making to develop materials, machinery and equipment and services that causes less environmental damage. However, small initiatives that could make a significant contribution to energy reducing are being ignored. Evaluation of the growth of a dwelling's energy consumption and identifying its relationship with living conditions can improve the quality of housing and reduce the impact on the environment. Even with the electrical equipment becoming more efficient, the energy consumption in residential buildings continues to grow each year. One portion of the growth was due to climate change and the increasing use of electrical home appliances working with electric energy in our homes. However, a significant portion of the energy consumption in the dwellings is dedicated to the complementary ways to climatization, which is directly related to the low thermal performance of the dwellings. The objective of this work is investigating the requirements of Brazilian Standard NBR 15575 and AQUA-HQE™ certification that directly influences the thermal performance of a housing and how the solutions adopted by key stakeholders are dealing in the conceptual design and design development. From the comparative analysis between the solutions and instruments evaluated, together with the implementation of case study, to analyse which one can effectively contribute to the improvement of the quality of the habitat reducing the impact on the environment.

Keywords: Project Management. Process. Thermal Comfort. NBR 15575 Standard. ASHRAE. Thermal Performance, Sustainable Certification, Sustainable. Computation Simulation. Energy Consumption. Energy Plus. AQUA-HQE™. Procel. LEED. BREAM. Casa Azul. DGNB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia elétrica no acumulado em 12 meses	18
Figura 2 – Imagem de um empreendimento com condensadoras instaladas.....	20
Figura 3 – Distribuição do consumo dos equipamentos no setor residencial	21
Figura 4 – Variáveis de Conforto.....	30
Figura 5 – Conforto Térmico – Atividade Física	31
Figura 6 – Conforto Térmico – Vestimenta.....	31
Figura 7 – <i>Predicted Mean Vote</i> (PMV).....	32
Figura 8 – Conforto Adaptativo.....	33
Figura 9 – Gráfico da radiação solar direta e difusa anual.....	35
Figura 10 – Temperaturas Médias com base no PMV – ASHARAE Standard 55	36
Figura 11 – Velocidade do Vento Anual.....	36
Figura 12 – Gráfico de umidade em relação a temperatura de bulbo seco	37
Figura 13 – Gráfico de umidade em relação a temperatura de bulbo seco	38
Figura 14 – Carta Solar	39
Figura 15 – Mapa da Zona Bioclimática Brasileira	43
Figura 16 – Composição de uma vedação com núcleo de bloco cerâmico	47
Figura 17 – Composição de uma vedação com núcleo de bloco de concreto.....	47
Figura 18 – Integração das três dimensões do desenvolvimento sustentável.....	61
Figura 19 – Escopo principal das certificações ambientais.....	61
Figura 20 – Ilustração do projeto <i>The Ray</i>	62
Figura 21 – Relacionamento do <i>Design</i> com o <i>Project Design</i>	92
Figura 22 – Modelo de etapas do processo de projeto	94
Figura 23 – Influência do custo de alterações de projeto em relação ao tempo	96
Figura 24 – Processo Tradicional x IPD	97
Figura 25 – Gráfico comparativo de Produtividade do Setor da Construção em relação à Manufatura.....	98
Figura 26 – Exemplo de análise de luz solar gerado por meio do <i>software</i> Sefaira	103
Figura 27 – Exemplo de Zonas Térmicas.....	104
Figura 28 – Arquivo climático da cidade de São Paulo em formato CSV	105
Figura 29 – Tabela gerada no OpenStudio a partir dos cálculos do EnergyPlus....	106
Figura 30 – Software ESBO	108
Figura 31 – Implantação do empreendimento com a localização de cada unidade	110

Figura 32 – Planta esquemática do pavimento com a identificação dos ambientes avaliados	111
Figura 33 – Imagem das zonas térmicas modeladas do pavimento	119
Figura 34 – Imagem do modelo tridimensional para simulação	119
Figura 35 – Quantidade de horas em faixas de temperatura por zona térmica	122
Figura 36 – Gráfico comparativo do percentual de horas em faixas de temperaturas	123
Figura 37 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 01	124
Figura 38 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 01	125
Figura 39 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 01	126
Figura 40 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 01	127
Figura 41 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 01	128
Figura 42 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 01	129
Figura 43 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 02	130
Figura 44 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 02	131
Figura 45 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 02	132
Figura 46 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 02	133
Figura 47 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 02	134
Figura 48 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 02	135
Figura 49 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 03	136

Figura 50 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 03.....	137
Figura 51 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 03.....	138
Figura 52 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 03.....	139
Figura 53 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 03.....	140
Figura 54 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 03.....	141
Figura 55 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 04.....	142
Figura 56 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 04.....	143
Figura 57 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 04.....	144
Figura 58 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 04.....	145
Figura 59 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 04.....	146
Figura 60 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 04.....	147
Figura 61 – Imagem dos <i>dataloggers</i> escolhidos para avaliação das temperaturas	149
Figura 62 – Planta esquemática da instalação e posicionamento dos <i>dataloggers</i>	150
Figura 62 – Gráfico comparativo das temperaturas medidas nos três dormitórios avaliados	151
Figura 64 – Modelo tridimensional posicionado representando a trajetória do sol .	153
Figura 65 – Carta Solar da fachada leste do empreendimento em relação à sua localização.....	154
Figura 66 – Carta Solar da fachada norte do empreendimento em relação à sua localização.....	155
Figura 67 – Carta Solar da fachada oeste do empreendimento em relação à sua localização.....	155

Figura 68 – Carta Solar da fachada sul do empreendimento em relação à sua localização.....	156
Figura 69 – Exemplo de veneziana de enrolar implantada	157
Figura 70 – Gráfico da simulação computacional para o período de inverno	158
Figura 71 – Planta baixa com a indicação das temperaturas internas mínimas no inverno.....	159
Figura 72 – Gráfico da simulação computacional para o período de verão	160
Figura 73 – Planta baixa com a indicação das temperaturas internas máximas no verão.....	161
Figura 74 – Mapa de Fator de Luz Diurna simulado por ambiente	162
Figura 74 – Fachadas frontal e lateral da edificação.....	164
Figura 75 –Velocidades predominantes e a frequência de ocorrência dos ventos. 164	
Figura 76 – Representação da direção dos ventos predominantes nas aberturas. 165	
Figura 78 – Proposta de alteração do projeto original.....	169
Figura 79 – Gráfico da simulação do AP01-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar.....	170
Figura 80 – Gráfico da simulação do AP02-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar.....	171
Figura 81 – Gráfico da simulação do AP03-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar.....	172
Figura 82 – Gráfico da simulação do AP03-D2 com alteração da janela e proteção solar.....	173
Figura 83 – Gráfico comparativo da solução proposta e o projeto original	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil estratificado por classe.....	18
Tabela 2 – Projeção do consumo de eletricidade na rede (GWh).....	19
Tabela 3 – Lista da zona bioclimática das capitais brasileiras.....	44
Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas.....	45
Tabela 5 – Transmitância térmica de coberturas.....	45
Tabela 6 – Capacidade térmica de paredes externas.....	46
Tabela 7 – Área mínima de ventilação.....	48
Tabela 8 – Dados de dias típicos de verão de algumas cidades Brasileiras.....	48
Tabela 9 – Dados de dias típicos de inverno de algumas cidades Brasileiras.....	49
Tabela 10 – Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos.....	51
Tabela 11 – Critérios de avaliação de valores máximos de temperatura.....	51
Tabela 12 – Critérios de avaliação de valores mínimos de temperatura.....	52
Tabela 13 – Lista das certificações analisadas (pesquisa realizada em janeiro de 2017).....	64
Tabela 14 – Lista dos tipos de avaliação para cada tipo de uso e fase.....	66
Tabela 15 – Lista das 14 categorias agrupadas por Tema.....	66
Tabela 16 – Tabela do nível de atendimento por categorias.....	67
Tabela 17 – Cálculo do nível alcançado por Tema.....	68
Tabela 18 – Cálculo do nível global do empreendimento.....	68
Tabela 19 – Lista dos tipos de avaliação para cada tipo de uso e fase.....	69
Tabela 20 – Lista das dez categorias do BREEAM.....	70
Tabela 21 – Avaliações da Certificação BREEAM.....	71
Tabela 22 – Lista da aplicação do DGNB.....	72
Tabela 23 – Lista das seis categorias do DGNB.....	73
Tabela 24 – Avaliações da certificação DGNB.....	74
Tabela 25 – Lista das categorias LEED.....	75
Tabela 26 – Lista das categorias LEED.....	75
Tabela 27 – Avaliações da Certificação LEED.....	77
Tabela 28 – Lista das categorias PROCEL Edifica.....	78
Tabela 29 – Lista das categorias avaliadas pelo PROCEL Edifica.....	79
Tabela 30 – Avaliações da ENCE Procel Edifica.....	79

Tabela 31 – Aplicabilidade do Selo Casa Azul.....	81
Tabela 32 – Lista das categorias do Selo Casa Azul.....	81
Tabela 33 – Níveis de gradação do Selo Casa Azul.....	82
Tabela 34 – Comparação dos requisitos de conforto térmico das certificações avaliadas	86
Tabela 35 - Nomenclatura dos ambientes simulados	111
Tabela 35 – Questionário: Projetistas e Incorporadores	112
Tabela 37 – Resumo dos dados de vedações obtidos nos cálculos.....	116
Tabela 38 – Resumo dos dados de cobertura obtidos nos cálculos.....	116
Tabela 39 – Resumo de área de ventilação.....	116
Tabela 40 – Resumo dos dados de referência da NBR 15575.....	117
Tabela 41 – Referência dos Níveis de Atendimento à NBR 15575.....	118
Tabela 42 – Dados utilizados para desenvolvimento da simulação computacional	120
Tabela 43 – Resumo do nível de atendimento por ambiente simulado	148
Tabela 44 – Categoria 8.1 – AQUA-HQE™	153
Tabela 45 – Categoria 8.2 – AQUA-HQE™	157
Tabela 46 – Categoria 8.3 – AQUA-HQE™	159
Tabela 47 – Categoria 10.2 – AQUA-HQE™	161
Tabela 48 – Fator de luz diurna gerado a partir da simulação computacional.....	162
Tabela 49 – Categoria 13.3 – AQUA-HQE™	163
Tabela 50 – Tabela de áreas de ventilação – AQUA-HQE™.....	166
Tabela 51 – Análise do nível de atendimento	167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	<i>The American Institute of Architects</i>
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment's Environmental Assessment Method</i> (Método de Avaliação Ambiental do Instituto de Pesquisa de Edifícios)
DGNB	<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i> (Sociedade Alemã de Construção Sustentável)
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
GBC	<i>Green Building Council</i>
HIS	Habitação de Interesse Social
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
IFC	Industry Foundation Class
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Térmica em Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
ONU	Organização das Nações Unidas
PBQPH	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SGE	Sistema de Gestão do Empreendimento
SIAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
TBS	Temperatura de Bulbo Seco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa.....	18
1.2 Objetivos	22
1.3 Metodologia.....	23
1.4 Estruturação do Trabalho.....	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 Conforto Térmico.....	27
2.2 Desempenho Térmico das Edificações e a Arquitetura Bioclimática	33
2.3 A Norma de Desempenho NBR 15575	39
2.3.1 As Exigências dos Usuários.....	40
2.3.2 Incumbência dos Intervenientes.....	41
2.3.3 Avaliação de Desempenho	42
2.3.4 O Desempenho Térmico na Norma de Desempenho	43
2.3.5 O Método Simplificado da ABNT NBR 15575.....	45
2.3.6 A Simulação Computacional	48
2.3.7 A Medição <i>In Loco</i>	54
2.3.8 Considerações sobre a Norma de Desempenho	56
2.4 A Sustentabilidade	58
2.5 As Certificações Ambientais.....	63
2.5.1 A Certificação AQUA-HQE™	65
2.5.1.1 <i>Aplicação</i>	65
2.5.1.2 <i>Categorias</i>	66
2.5.1.3 <i>Método de Avaliação</i>	66
2.5.1.4 <i>O Processo de Certificação</i>	69
2.5.2 A Certificação BREEAM.....	69
2.5.2.1 <i>Aplicação</i>	69
2.5.2.2 <i>Categorias</i>	70
2.5.2.3 <i>Método de Avaliação</i>	70
2.5.2.4 <i>O Processo de Certificação</i>	71
2.5.3 A Certificação DGNB.....	72
2.5.3.1 <i>Aplicação</i>	72

2.5.3.2	<i>Categorias</i>	73
2.5.3.3	<i>Método de Avaliação</i>	73
2.5.3.4	<i>O Processo de Certificação</i>	74
2.5.4	A Certificação LEED.....	74
2.5.4.1	<i>Aplicação</i>	75
2.5.4.2	<i>Categorias</i>	75
2.5.4.3	<i>Método de Avaliação</i>	76
2.5.4.4	<i>O Processo de Certificação</i>	77
2.5.5	PROCEL Edifica.....	77
2.5.5.1	<i>Aplicação</i>	78
2.5.5.2	<i>Categorias</i>	78
2.5.5.3	<i>Método de Avaliação</i>	79
2.5.5.4	<i>O Processo de Certificação</i>	79
2.5.6	A Certificação Casa Azul.....	80
2.5.6.1	<i>Aplicação</i>	80
2.5.6.2	<i>Categorias</i>	81
2.5.6.3	<i>Método de Avaliação</i>	81
2.5.6.4	<i>O Processo de Certificação</i>	82
2.5.7	<i>Considerações acerca das certificações ambientais e comparação do AQUA-HQE™ e a ABNT NBR 15575</i>	82
3.	PROJETO	89
3.1	A Qualidade e o Processo de Projeto	91
3.2	Projeto Integrado de Empreendimentos IPD.....	96
3.3	A Influência do Processo de Projeto no Desempenho Térmico.....	99
4.	A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	101
4.1	Sistemas de Simulação Energética de Edificações	102
4.2	EnergyPlus	106
4.3	Ferramentas Simplificadas.....	107
5.	ESTUDO DE CASO	109
5.1	Caracterização do Empreendimento.....	109
5.2	Etapa A – O Processo de Projeto com a NBR 15575.....	111
5.3	Etapa B1 – Avaliação do Método Simplificado.....	115
5.4	Etapa B2 – Avaliação por meio da Simulação Computacional	117
5.5	Etapa B3 – Medição <i>In Loco</i>	148

5.6	Etapa B4 – Análise da Aplicação ao Processo de Certificação AQUA- HQE™ 152	
5.6.1	Categoria 8 – Conforto Higrotérmico.....	152
5.6.2	Categoria 10 – Conforto Visual	161
5.6.3	Categoria 13 – Qualidade do Ar.....	163
5.6.4	Análise de atendimento da certificação.....	166
6.	CONCLUSÃO.....	169
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179

1. INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro conta com um grande déficit habitacional, com demandas que se estendem a todas as classes sociais. Nas últimas décadas, esse déficit tem sido suprido majoritariamente por habitações multifamiliares de baixa qualidade de projeto e de execução, mesmo para os públicos de padrões elevados. Este fato se deve à falta de legislação específica para o setor da construção civil e à ausência de instrumentos regulatórios que possam auxiliar o usuário na reivindicação e busca por qualidade.

A percepção do usuário com relação ao espaço edificado, aliado a redução de áreas públicas para socialização e lazer, a falta de segurança dos grandes centros urbanos e a iminente escassez de recursos naturais são alguns dos fatores que vem contribuindo para a mudança do comportamento dos usuários com relação ao uso do habitat. Exemplos bem-sucedidos de cidades inteligentes com práticas sustentáveis e a disseminação do conceito de “green buildings” estão influenciando e motivando as novas gerações a mudarem seu comportamento e sua exigência com relação ao espaço edificado.

Com algumas exceções, as características que correspondem a mais de 70% dos lançamentos de imóveis do mercado imobiliário são as mesmas. As incorporadoras, em sua grande maioria, têm respondido à demanda do mercado com torres residenciais que atingem o aproveitamento limite de construção permitido pela legislação, com tipologia equânimes, independentemente da localização geográfica, das características regionais e das condições climáticas.

A diminuição das margens de lucro tem influenciado as empresas do mercado imobiliário na busca por soluções. Para mudar este quadro uma minoria tem optado por se diferenciar, aumentando a qualidade de seus produtos, porém, a grande maioria das empresas continua optando por desenvolver edificações com baixa qualidade de projeto e de execução como único meio de manutenção do lucro e retorno do investimento.

Diante desse cenário, nos últimos anos, foram difundidos no mercado brasileiro três instrumentos que podem ajudar a melhorar e assegurar a qualidade das edificações habitacionais. O primeiro é o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), instrumento do Governo Federal ligado ao Ministério das Cidades por meio do Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas e Serviços e Obras da Construção Civil (SIAC). Se baseia em uma série de normas ISO 9000 tendo como objetivo a avaliação da conformidade do sistema de gestão da qualidade das empresas do setor da construção civil. O segundo deles é a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575, que passou a vigorar em julho de 2013, tendo como principal objetivo garantir o desempenho e a qualidade dos sistemas das edificações em função do atendimento às necessidades dos usuários. O terceiro instrumento, as certificações ambientais, possuem uma abrangência muito maior, avaliando práticas e ações que transcendem a edificação. As certificações vêm se expandindo em larga escala no Brasil, principalmente em empreendimentos com alto custo operacional, e aos poucos vêm despertando interesse para aplicação em edificações habitacionais.

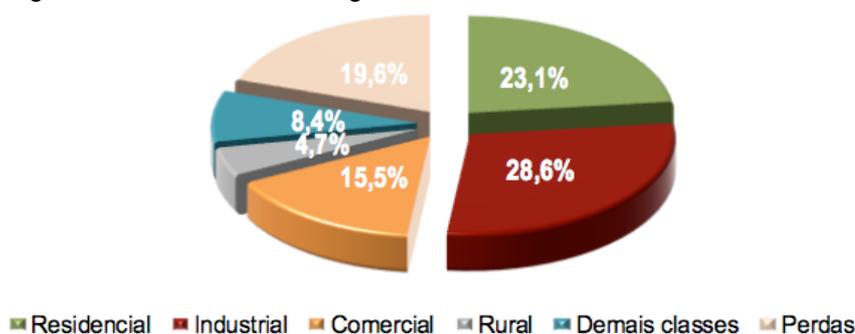
Com o aumento da tarifa energética no país, a escassez de crédito e o aumento do endividamento, os projetos que efetivamente refletirem em qualidade ao usuário final, incorporando diferenciais sustentáveis, principalmente no que tange à redução de consumo de recursos naturais e diminuição no custo de manutenção e operação, passarão a ter um grande diferencial no mercado.

Este trabalho baseia-se na investigação de como a ABNT NBR 15575 e a certificação AQUA-HQE™ podem contribuir para o aumento do desempenho térmico das habitações, e em função do atendimento aos requisitos dos usuários, reduzir o consumo energético e por conseguinte o impacto causado no meio ambiente.

1.1 Justificativa

No Brasil, de acordo com Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico elaborado em novembro de 2016 pelo Ministério de Minas e Energia, o setor residencial representou 23,1% do total do consumo energético do país. O consumo total de energia elétrica foi de 132.491 GWh de novembro de 2015 a outubro de 2016, conforme gráfico da distribuição do consumo estratificado por classe ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Consumo de energia elétrica no acumulado em 12 meses



Fonte: Ministério de Minas e Energia – Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (novembro/2016)

Mesmo com a crise econômica vivida no Brasil entre 2015 e 2016, o setor residencial apresentou uma evolução no consumo energético de 0,8% nos últimos 12 meses, conforme se observa na Tabela 1, distinguindo-se dos demais setores, que apresentaram queda.

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica no Brasil estratificado por classe

	Valor Mensal			Acumulado 12 meses		
	Out/16 GWh	Evolução mensal (Out/16/Set/16)	Evolução anual (Out/16/Out/15)	Nov/14-Out/15 (GWh)	Nov/15-Out/16 (GWh)	Evolução
Residencial	10.855	-0,4%	-2,5%	131.385	132.491	0,8%
Industrial	13.819	-0,9%	-1,7%	171.609	163.869	-4,5%
Comercial	7.078	0,2%	-6,9%	90.665	88.794	-2,1%
Rural	2.288	-2,3%	-0,2%	25.779	26.655	3,4%
Demais classes*	4.040	0,6%	-0,9%	48.542	48.267	-0,6%
Perdas	10.186	28,8%	-0,5%	107.195	112.319	4,8%
Total	48.265	4,5%	-2,3%	575.175	572.396	-0,5%

* Em Demais Classes estão consideradas Poder Público, Iluminação Pública, Serviço Público e Consumo próprio das distribuidoras. Dados contabilizados até outubro de 2016.

Fonte: Ministério de Minas e Energia – Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (novembro/2016)

De acordo com a Nota Técnica DEA 19/15 – Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos cinco anos (2016-2020), publicada pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro, em dezembro de 2015, constatou-se que existe uma projeção de elevação do consumo energético de 131.100 em 2015 para 158.278 (GWh) até 2020, com uma variação de 3,8% ao ano no setor residencial e um crescimento superior ao setor industrial, conforme se observa na Tabela 2.

Tabela 2 – Projeção do consumo de eletricidade na rede (GWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
2015	131.100	169.942	90.190	73.278	464.510
2016	133.768	165.814	92.144	74.806	466.532
2017	138.990	170.092	96.257	77.939	483.279
2018	144.877	175.762	100.914	81.398	502.951
2019	151.045	181.239	105.715	85.015	523.014
2020	158.278	192.119	111.621	89.111	551.129
Variação (% ao ano)					
2015-2020	3,8	2,5	4,4	4,0	3,5

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia

Mesmo com o aumento da eficiência dos equipamentos elétricos, a adoção de sistemas de iluminação eficientes e elevadores mais econômicos, o consumo energético continua crescendo. Parte desse crescimento é creditado ao aumento da massa edificada, a outra parte atribui-se às mudanças climáticas, e uma parcela relativamente grande relaciona-se à adoção cada vez maior de sistemas e meios complementares para ventilação e condicionamento de ar nas unidades habitacionais. A Figura 2 ilustra a busca dos usuários pela climatização artificial em função da quantidade de condensadoras instaladas nos terraços de uma edificação localizada na Zona Sul da cidade de São Paulo.

Figura 2 – Imagem de um empreendimento com condensadoras instaladas



Fonte: Google Earth

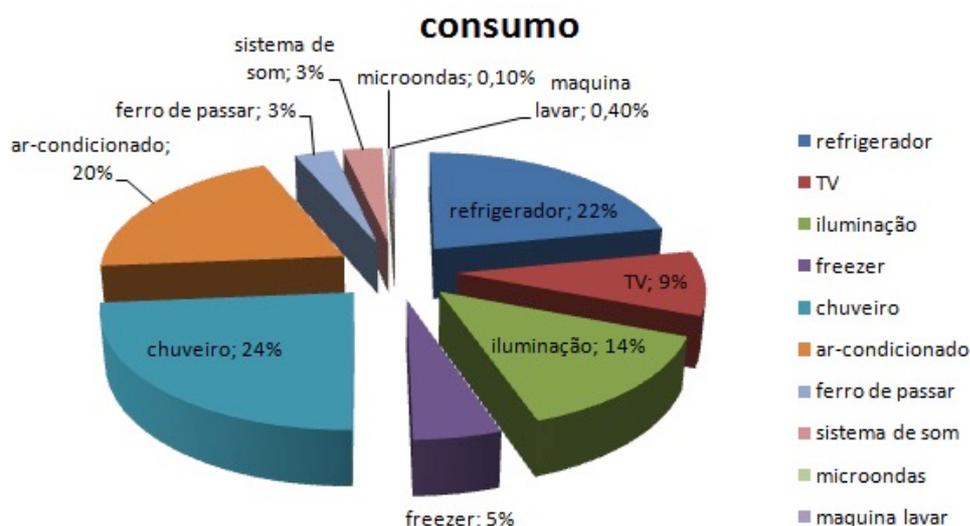
Avalia-se ainda que uma parcela significativa dos sistemas de ventilação e condicionamento de ar adotados pelos usuários são para atendimento aos requisitos mínimos, em função do baixo desempenho térmico das edificações, ocasionados majoritariamente por soluções de projeto ineficientes e aplicação de materiais inadequados, que não privilegiam esse critério.

De acordo com a Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso - Classe Residencial, publicado em 2007 pela Procel – Eletrobrás, os equipamentos para condicionamento ambiental representam em média 20% do consumo de energia elétrica na classe residencial. Na região Norte o consumo energético para condicionamento ambiental representa 40%, na região Nordeste 27%, na região Centro-Oeste 18%, na região Sul 32% e na Sudeste 11%.

Conforme demonstrado na Figura 3, o ar condicionado, juntamente com o chuveiro elétrico e o refrigerador, é o equipamento que mais consome energia elétrica. Considerando que seu uso se limita na maioria dos casos ao período de sono dos

usuários, o ar condicionado é, individualmente, um dos equipamentos que mais influenciam no consumo energético de uma edificação.

Figura 3 – Distribuição do consumo dos equipamentos no setor residencial



Fonte: Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil na Classe Residencial (PROCEL – Eletrobrás, 2007)

Para melhorar a qualidade do ambiente construído, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em julho de 2013, uma nova versão da Norma de Desempenho NBR 15575, apresentando uma grande diferença em relação às demais normas, deixando de especificar materiais e técnicas para exigir desempenho dos sistemas que constituem as edificações residenciais. A norma mudou consideravelmente a preocupação dos agentes envolvidos no processo de projeto, que passaram a incorporar no desenvolvimento do projeto a busca pelo conhecimento do comportamento em uso dos materiais e sistemas construtivos utilizados nas edificações.

O item 11 da ABNT NBR 15575 – Desempenho Térmico, estabelece um procedimento normativo e outro informativo. O informativo, intitulado método simplificado, avalia as propriedades termofísicas dos materiais que compõem os sistemas de parede e cobertura de uma edificação. Este método vem se mostrando insuficiente para garantir o conforto térmico, tendo em vista a crescente busca dos usuários pela climatização artificial em uma parcela significativa de dias no ano.

Um pouco antes da publicação e vigência da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575, as certificações ambientais, que concedem às edificações a elas submetidas um selo em função do percentual de atendimento aos requisitos de desenvolvimento sustentável, se difundiram largamente no Brasil, principalmente em edifícios não residenciais e com alto consumo energético.

Todos esses elementos foram analisados e comparados entre si para uma proposição de ações e métodos que assegurem o atendimento aos requisitos do usuário em relação ao conforto térmico durante o processo de desenvolvimento do projeto, incluindo o papel e a responsabilidade dos principais agentes envolvidos.

1.2 Objetivos

- **OBJETIVO PRINCIPAL**

O objetivo desta monografia é investigar os requisitos de conforto térmico da ABNT NBR 15575 e da certificação AQUA-HQE™, a partir de uma análise comparativa dos critérios de conforto ambiental requeridos pelos dois instrumentos avaliados e da aplicação de um estudo de caso de uma habitação multifamiliar de médio padrão na cidade de São Paulo, a fim de verificar se o atendimento a esses critérios se reflete efetivamente em conforto térmico ao usuário final.

- **OBJETIVOS PARCIAIS**

Como objetivos parciais, deseja-se ainda investigar como o conforto térmico é tratado no processo de projeto e como as incorporadoras e projetistas distribuem a responsabilidade e garantem o atendimento aos requisitos de conforto previstos na norma ABNT NBR 15575 e nas certificações ambientais. Por meio dessa investigação, deseja-se indicar, dentre as práticas e instrumentos analisados, que contribuem efetivamente e estão em consonância com o atendimento aos requisitos de conforto térmico do usuário e quais comprometem o atendimento.

1.3 Metodologia

A pesquisa se inicia a partir da atividade de revisão teórica dos conceitos de conforto térmico e dos fatores que influenciam no seu atendimento, passando pelos critérios e métodos utilizados para avaliá-lo.

Na sequência, realizou-se uma verificação geral dos critérios e sistemas avaliados na Norma de Desempenho, incluindo o papel e responsabilidade de cada agente no atendimento aos requisitos gerais da norma. Na Categoria 11, que corresponde ao conforto térmico, a análise foi mais detalhada, partindo dos três métodos de avaliação previstos na norma: método simplificado, simulação computacional e medição *in loco*. Após esta investigação, foram desenvolvidas as considerações e uma conclusão parcial sobre a ABNT NBR 15575.

No desenvolvimento da pesquisa das certificações, o conceito de sustentabilidade ficou latente, direcionando à realização e à análise de referências históricas dos conceitos de desenvolvimento sustentável e dos principais marcos das últimas décadas envolvendo o tema.

A pesquisa sobre as certificações ambientais teve início com a listagem das categorias avaliadas em cada uma das principais certificações. Após essa análise, elaborou-se uma planilha com o objetivo de organizar e relacionar as exigências de cada uma das certificações e tecer considerações acerca das certificações em relação a ABNT NBR 15575.

O trabalho de pesquisa foi continuado por meio da investigação dos agentes, das práticas e dos processos no desenvolvimento de projeto que pudessem influenciar positiva ou negativamente no atendimento aos requisitos de conforto térmico da ABNT NBR 15575, por meio da aplicação de um questionário submetido aos incorporadores e aos arquitetos responsáveis pela concepção dos projetos, fase inicial na qual se identificam práticas que podem contribuir no objeto deste estudo.

De posse dos principais elementos relacionados ao conforto térmico e à identificação dos agentes que influenciam nesse atendimento, iniciou-se uma pesquisa teórica referente à simulação computacional, avaliando as dificuldades de

utilização do método e filtragem dos recursos úteis à avaliação de conforto térmico referenciadas na ABNT NBR15575 e na Certificação AQUA-HQE™.

Para avaliação da aplicabilidade dos diferentes instrumentos analisados, foi desenvolvido um estudo de caso contemplando os três métodos de avaliação da ABNT NBR 15575: o cálculo simplificado, a simulação computacional e a medição *in loco*. Para sua conclusão, foram utilizados os critérios de avaliação que influenciam no conforto térmico da Certificação AQUA-HQE™.

Por fim, na conclusão do trabalho de pesquisa é proposta a alteração do projeto original objeto do estudo de caso, mensurando o desempenho por meio da simulação computacional. No desenvolvimento da conclusão são realizadas ainda considerações acerca dos métodos de avaliação de conforto da norma e das certificações ambientais, bem como a influência do arquiteto e do incorporador no desempenho térmico. Para concluir foram levantadas sugestões de melhoria e continuidade de pesquisa.

1.4 Estruturação do Trabalho

Uma abordagem introdutória, contextualizando e justificando o tema proposto, amparada pelo atual cenário econômico e pela necessidade de desenvolvimento de projetos sustentáveis, pode ser encontrada no Capítulo 1.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de conforto térmico e métodos de avaliação. Destacam-se também a análise dos métodos de avaliação de conforto térmico da ABNT NBR 15575, o histórico e o conceito de sustentabilidade, o levantamento e o estudo entre os critérios de desempenho térmico exigido nas certificações ambientais, e o levantamento das principais certificações ambientais: AQUA-HQE™, BREEAM, DGNB, Casa Azul, LEED e PROCEL Edifica.

O capítulo seguinte contempla um estudo teórico sobre o processo de desenvolvimento do projeto, complementado por uma pesquisa entre os principais agentes envolvidos nesse processo e a construção de edificações habitacionais multifamiliares.

O quarto capítulo desenvolve um estudo teórico sobre as simulações computacionais, sua aplicação e benefícios por meio do *software* EnergyPlus como instrumento complementar e auxiliar no desenvolvimento de projeto, a fim de garantir o atendimento pleno aos requisitos dos usuários.

O estudo de caso em uma edificação habitacional, com a aplicação dos diferentes instrumentos avaliados de comprovação e análise de conforto térmico, é abordado no Capítulo 5.

O Capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho, incluindo considerações para os principais instrumentos e métodos avaliados, e a proposição de sugestões de continuidade de pesquisa identificadas ao longo do desenvolvimento do projeto. Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos citados no texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção civil brasileira está entre os setores mais atrasados da indústria, com alta taxa de desperdício, baixa produtividade, informalidade e predomínio do uso de mão de obra de baixa qualidade. Complementarmente, a baixa utilização de tecnologia, de equipamentos e de maquinários no canteiro tornam a cadeia da construção lenta, menos rentável, imprevisível e nociva ao meio.

As evoluções da indústria da construção, em sua grande maioria, sempre foram impulsionadas para fazer o mesmo com menos e de forma mais rápida. As principais mudanças nas últimas duas décadas foram motivadas por ondas ou movimentos específicos. Restringindo essa análise aos últimos 20 anos, podemos citar quatro grandes movimentos ou ondas de evolução que têm e que tiveram papel importante na qualidade do habitat.

A primeira delas se deu a partir da instituição, em 1998, do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQPH) pelo Governo Federal, com o objetivo de reduzir o déficit habitacional por meio da modernização da produção, tendo em vista a redução do custo das edificações. Com a adesão ao programa, as empresas desenvolveram seus sistemas de gestão da qualidade com base no modelo ISO 9001, sobre o qual o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras (SIAC) do PBQPH está fundamentado. Muitas empresas da construção civil alcançaram um novo patamar de qualidade e produtividade com foco na construtibilidade e na racionalização construtiva; porém, a busca pela melhora da qualidade dos empreendimentos se limitou à adoção de materiais de maior qualidade e componentes certificados pelo programa. Salgado (2010) ratifica tal raciocínio descrevendo que “[...] Ao se ocuparem apenas do aumento de produtividade no canteiro de obras, algumas propostas relegaram a qualidade do projeto a um segundo plano”.

O movimento seguinte foi a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575, instituída em sua primeira versão no ano de 2008, abrangendo apenas empreendimentos habitacionais de até cinco pavimentos de altura. Na sua nova versão em 2013 passou a vigorar sem limitações, estendendo sua aplicação a todas as unidades habitacionais, sem restrição de porte. Essa norma teve e ainda tem grande

repercussão e impacto no desenvolvimento do processo de projeto em razão da determinação de requisitos de desempenho e comportamento em uso dos sistemas construídos, ao invés da especificação de materiais e prescrição de como os sistemas devam ser executados, como as demais normas publicadas até então. A norma devolveu aos agentes responsáveis pelo desenvolvimento de projetos na construção civil a responsabilidade de fazer edificações com um padrão mínimo de qualidade e desempenho, independentemente do sistema construtivo adotado.

A terceira onda, ou movimento, aborda as certificações ambientais, que começaram a ser aplicadas no Brasil em edificações corporativas. Sua aplicação em edificações residenciais, é relativamente nova no Brasil, porém encontra-se em crescente alta. As certificações representam um grande potencial de aumento de desempenho das edificações e talvez sejam o grande agente de transformação e qualificação dos empreendimentos habitacionais.

O último movimento, que está consolidado nas edificações públicas é o Procel Edifica, um programa de governo federal, do Ministério de Minas e Energia que promove o uso eficiente da energia elétrica e redução de desperdícios de recursos naturais. O Procel Edifica se baseia no processo de etiquetagem da edificação, atribuindo a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para a envoltória e para os principais sistemas da edificação. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética foi publicada em 2009 e revisada em 2010. Em 2014 a etiquetagem de edificações se tornou obrigatória para edifícios da Administração Pública Federal e sua aplicação vem crescendo em número de edifícios residenciais etiquetados.

2.1 Conforto Térmico

Segundo ROAF; CRICHTON e NICOL (2009), o conforto térmico é de fundamental importância para a satisfação do usuário, e quando um edifício não proporciona conforto em seu interior, influencia diretamente no consumo energético, uma vez que os ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável, utilizando, por

exemplo, aparelhos de ar condicionado.

A Norma ASHRAE: 55 (2013) define conforto térmico como a condição de satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. Há grande variação do que efetivamente significa conforto térmico se estendendo fisicamente de pessoa para pessoa, mas também sendo influenciado por condições psicológicas; dessa forma, é extremamente difícil satisfazer a todos os indivíduos. As condições do ambiente requeridas para conforto não são iguais para todos.

Lamberts *et al.* (2005) entendem que a insatisfação dos usuários com o ambiente térmico pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente. Há ainda o conceito de Neutralidade Térmica, que é um estado no qual o calor gerado pelo organismo por meio do metabolismo é trocado em igual proporção com o ambiente ao redor. Contudo, a satisfação da Neutralidade Térmica pode não ser suficiente para que uma pessoa esteja efetivamente em estado de conforto térmico se ela estiver exposta a um campo assimétrico de radiação.

O homem é capaz de metabolizar apenas 20% da energia útil. Os 80% restantes são transformados em calor, que é eliminado por meio das trocas térmicas para a manutenção da temperatura e o equilíbrio do corpo humano. As trocas térmicas entre o homem e o ambiente promovem fluxo de calor pelos seguintes meios:

- Radiação: transferência entre o sol e o corpo sem contato direto
- Condução: contato entre o corpo e toda a superfície tocada
- Convecção: entre o corpo e o ar
- Evaporação: eliminação de calor por meio da pele

Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) - Standard 55-2004, existem seis fatores primários que definem as condições de conforto térmico:

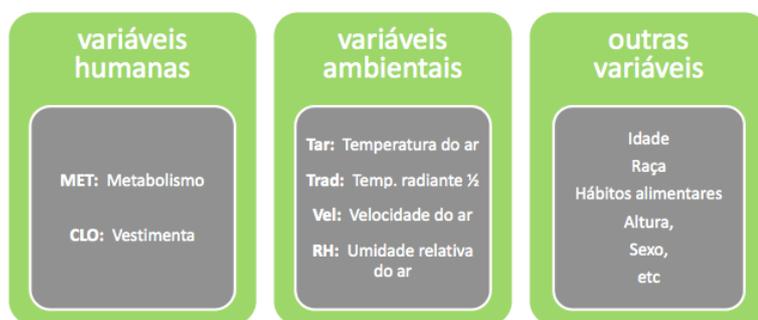
- Taxa metabólica
- Vestimenta (resistência térmica)

- Temperatura do ar
- Temperatura radiante
- Velocidade do ar
- Umidade relativa do ar

Essas seis variáveis (humanas e ambientais) que influenciam o conforto térmico de uma edificação, segundo definições da ASHRAE, tornam sua avaliação muito mais complexa do que uma simples análise e comparação entre as temperaturas internas e as temperaturas externas. O grande foco no Brasil e em países de clima tropical quanto ao desempenho térmico está voltado para o potencial de redução de temperaturas internas em relação às condições de exposição externas. No entanto, em algumas regiões do Brasil, ainda existe a necessidade de se considerar o desempenho térmico no inverno, o que consiste basicamente em edificar com técnicas e materiais que garantam uma condição térmica favorável nas temperaturas mais baixas, ou seja, há necessidade de se pensar em estratégias e materiais que favoreçam o aquecimento ao longo do dia, quando há influência da radiação solar e que, principalmente, essa temperatura seja mantida por uma quantidade maior de tempo no interior da edificação.

A temperatura interna do corpo humano é praticamente constante, variando entre 35°C e 37°C, mas quando deseja-se avaliar o Conforto Térmico, é importante considerar outros fatores que o influenciam, como as variáveis de conforto ilustradas na Figura 4. Para a obtenção de uma avaliação plena e com maior acurácia de conforto térmico, esses agentes devem ser analisados conjuntamente para a proposição de soluções e técnicas de atendimento.

Figura 4 – Variáveis de Conforto



Fonte: Desempenho Térmico de Edificações – Roberto Lamberts – UFSC (2014)

A **temperatura do ar** é um dos influenciadores mais simples e é aquele que nos remete rapidamente à avaliação da sensação de frio ou de calor. A sensação de conforto baseia-se principalmente na perda de calor do corpo, ocasionado pela diferença de temperatura entre a pele e o ar. O ar mais quente é mais leve e sobe, enquanto o ar mais frio desce. Essa movimentação proporciona uma sensação de resfriamento em um ambiente. A temperatura do ar também é conhecida como temperatura de bulbo seco (TBS).

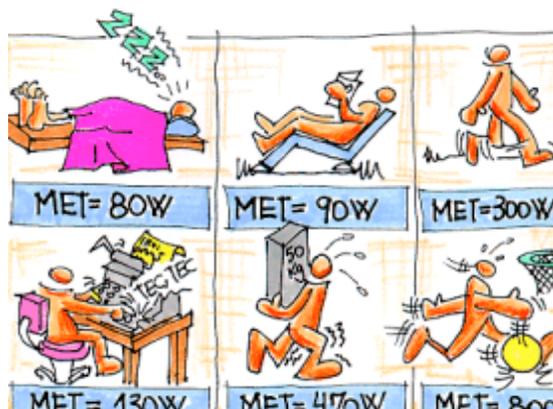
A **temperatura radiante** é a temperatura uniforme em um ambiente no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme.

A **umidade relativa** é a unidade que fornece a quantidade de vapor de água existente no ar. Na medida em que a temperatura do meio se eleva, aumenta-se a dificuldade de perdas por convecção e radiação, e o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a umidade relativa, menor será a eficiência da evaporação na remoção de calor.

Velocidade do ar é a medida que permite avaliar as trocas de calor por convecção e evaporação de uma pessoa, retirando o ar quente e a água em contato com a pele com mais eficiência.

O **metabolismo** está relacionado à atividade física exercida de cada indivíduo; quanto maior a atividade física, maior o metabolismo. A Figura 5 ilustra este conceito.

Figura 5 – Conforto Térmico – Atividade Física



Fonte: Eficiência Energética na Arquitetura
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando – UFSC (2014)

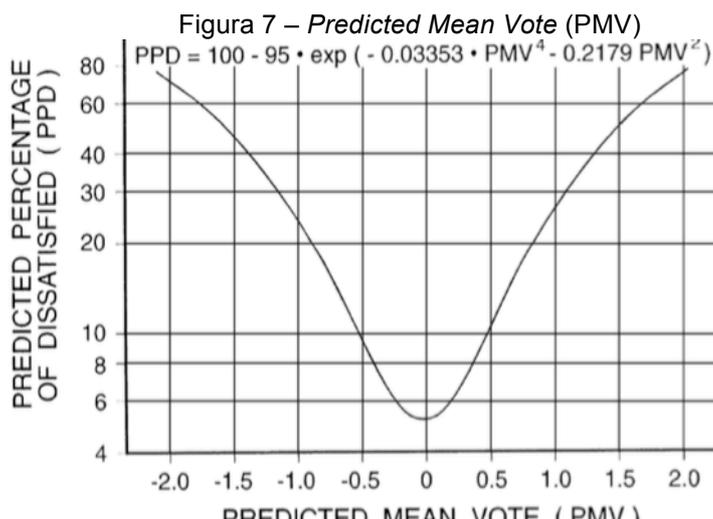
A **vestimenta** é outro fator que influencia a variável conforto térmico e refere-se à resistência térmica da roupa representada pela unidade de medida “clo”. Conforme a Figura 6, quanto mais roupa um indivíduo estiver vestindo, maior será a unidade clo.

Figura 6 – Conforto Térmico – Vestimenta



Fonte: Eficiência Energética na Arquitetura
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando – UFSC (2014)

Existem vários índices e formas de avaliar conforto térmico. Um dos métodos bem difundidos, desenvolvido por Fanger (1970) ilustrado na Figura 7, e considerado um dos mais completos é o PMV – *Predicted Mean Vote*, ou voto médio predito, que analisa a sensação de conforto em função de seis variáveis, relacionando-as com a porcentagem de pessoas insatisfeitas (*PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied*). Esse método é utilizado na ISO 7730 (1994), e considera que um ambiente é termicamente aceitável quando o percentual de pessoas insatisfeitas é menor que 10%, ou seja, o voto médio predito fica entre o menos que levemente frio e o menos que levemente quente ($-0,5 < PMV < +0,5$).



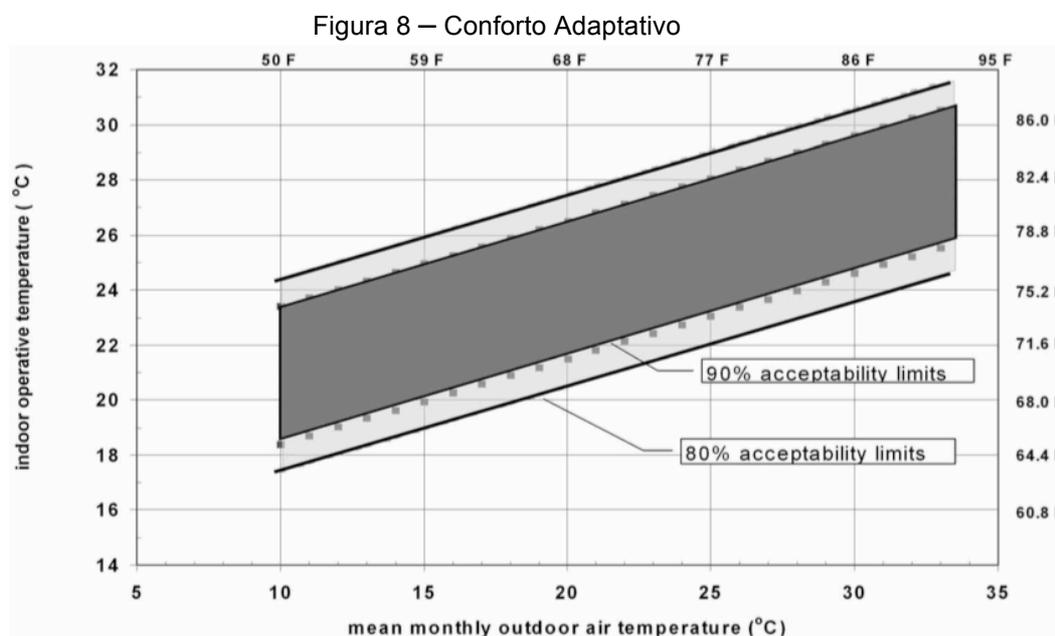
Fonte: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy - ASHRAE 55-2004

De acordo com ALVES, (2014), os modelos de conforto se dividem em dois tipos: modelos estáticos ou racionais e modelos adaptativos. Em complemento, a autora destaca que os modelos estáticos se baseiam na correlação da sensação térmica com a física e a fisiologia da transferência de calor, de modo que o índice obtido expressa o estado térmico do corpo humano, com base em ambientes termicamente controlados de câmaras climatizadas. Nicol e Humphreys (2002) sugerem que índices dessa natureza são de difícil aplicação em situações reais e, portanto, indicadores insuficientes das condições de conforto em edifícios. Os modelos adaptativos são baseados em levantamentos de campo de pessoas em suas atividades cotidianas e indicam modelagens para conforto térmico em espaço naturalmente ventilados (MONTEIRO; ALUCCI, 2010).

Alves (2014) entende ainda que, com base em estudos empíricos, Nicol e Humphreys (1973) sugeriram que poderia haver uma retroalimentação entre a sensação térmica dos usuários e seu comportamento, e, conseqüentemente, uma adaptação às condições climáticas. O princípio da adaptação se baseia no desconforto causado pela mudança e na reação das pessoas, de forma a restaurar seu conforto (NICOL *et al.*, 2009, p. 136; NICOL; HUMPHREYS, 2002).

A ASHRAE 55 dos anos de 2004, 2010 e 2013, e a CEN EN15251, referenciam a aplicação de avaliação baseada no conforto adaptativo, considerando que a resposta térmica de ocupantes possa variar em função do clima exterior, mas também de experiências térmicas, alterações na vestimenta, expectativa dos

ocupantes e possibilidade de controle. Para a avaliação de conforto, as normas propõem uma relação entre a temperatura operativa interna x temperatura externa, estabelecendo limites de temperatura aceitáveis e faixas de conforto, de acordo com a Figura 8.



Fonte: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy - ASHRAE 55-2004

De acordo com SANTO, ALVAREZ e NICO-RODRIGUES, (2013) as diferenças nas variações fisiológicas e psicológicas de cada pessoa são aspectos que impedem a definição de um nível com 100% de satisfação para todos, em um mesmo espaço, visto que as condições necessárias para obtenção do conforto não são iguais para os diferentes usuários. Assim, os limites de aceitabilidade de 90% devem ser usados quando se deseja um padrão mais elevado de conforto térmico.

2.2 Desempenho Térmico das Edificações e a Arquitetura Bioclimática

De acordo com ROMERO e REIS (2012), os edifícios compostos por paredes e coberturas possuem cerca de dez mil anos na história da humanidade. No local onde existiu a cidade de Jericó, fundada em data próxima a 9.000 a.C., foram descobertos assentamentos construídos em adobe, considerados um dos mais antigos, ou talvez a mais antiga representação arquitetônica já encontrada, enquanto edifício.

Em 1879, a luz elétrica foi inventada por Thomas Edison a partir de um filamento de algodão carbonizado, instalado em um bulbo de vidro com vácuo, que era aquecido com a passagem da corrente elétrica, até ficar incandescente.

A primeira unidade moderna do ar condicionado foi inventada por Willis Carrier, em 1902, em um processo mecânico para condicionar o ar, que permitia o controle da temperatura e da umidade por meio de serpentinas com água fria.

ROMERO e REIS (2012) destacam que, na história dos edifícios, a eletricidade fez parte de apenas 1% de todo o período, ou seja, vivemos 99% do nosso tempo histórico habitando edifícios sem utilizar a eletricidade e sem depender dela para aquecer ou resfriar nossas habitações. Os autores ainda complementam que há uma variedade de climas que atuaram e atuam no planeta, e que, em muitas vezes, estes climas são extremamente agressivos, com elevadas amplitudes térmicas, mas, ainda assim, não impossibilitaram a habitabilidade das civilizações. Os autores concluem então que:

[...] a humanidade sobreviveu às variações e à agressividade dos climas graças a uma arquitetura a eles adaptada. (ROMERO; REIS 2012).

Um dos primeiros fatores a ser considerado no desenvolvimento de um projeto de arquitetura é o clima no qual ele será desenvolvido. Conhecer as variáveis climáticas de uma região possibilita a identificação e a medição do nível de desconforto para desenvolver soluções de projeto que possam eliminar ou atenuá-los.

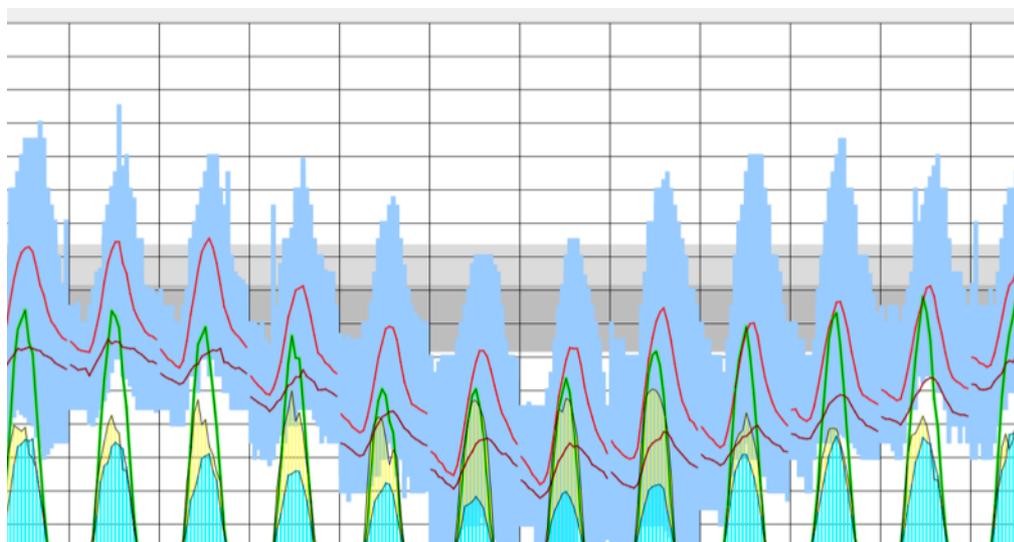
Existem três escalas climáticas que devem ser consideradas para o desenvolvimento de projetos. O macroclima representa as características gerais do local, descrevendo dados como: temperaturas, ventos, umidade, precipitações e sol. O mesoclima leva em consideração a topografia, o solo e a vegetação características do local. O microclima define-se pelas características que podem influenciar diretamente na edificação projetada, como a vegetação, ilhas de calor próximas, sombreamento de outras edificações e bloqueio ou canalização de ventos.

As variáveis do clima que influenciam no conforto e devem ser consideradas no desenvolvimento de projetos são:

- **Radiação Solar:** é a principal fonte de luz e de calor para o planeta,

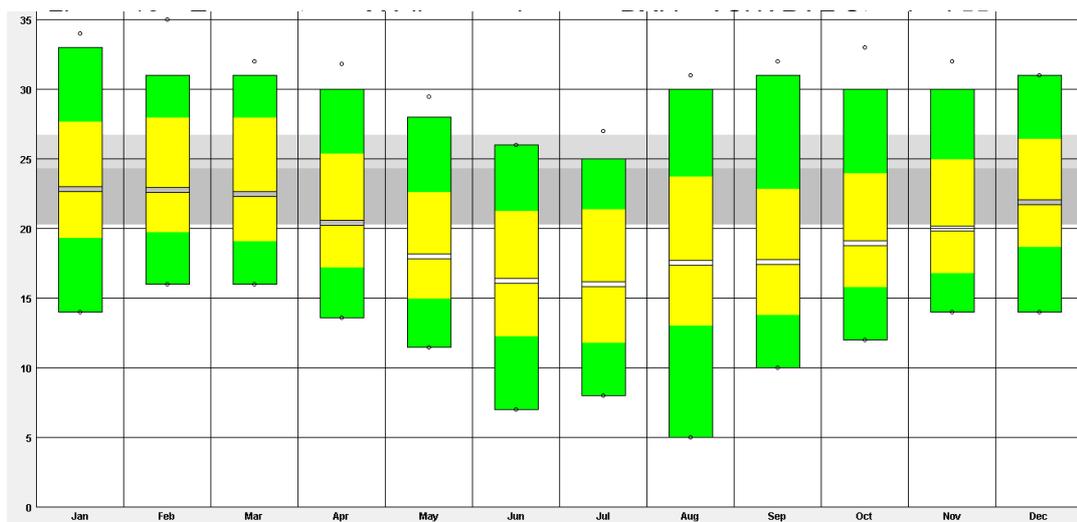
influenciando diretamente o conforto térmico e o conforto visual em uma edificação. Ao desenvolver o movimento de translação, a Terra tem uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do Equador, influenciando na radiação solar ao longo do ano e definindo as estações, por meio dos solstícios e equinócios. Na Figura 9, é possível identificar a radiação direta destacada pelas linhas amarelas e a radiação difusa evidenciada na cor *cyan* e sua relação direta com a temperatura, representada pela linha vermelha.

Figura 9 – Gráfico da radiação solar direta e difusa anual



Fonte: *Software Climate Consultant 6.0*, com base nos dados climáticos de São Paulo/Congonhas SWERA 837800 WWO

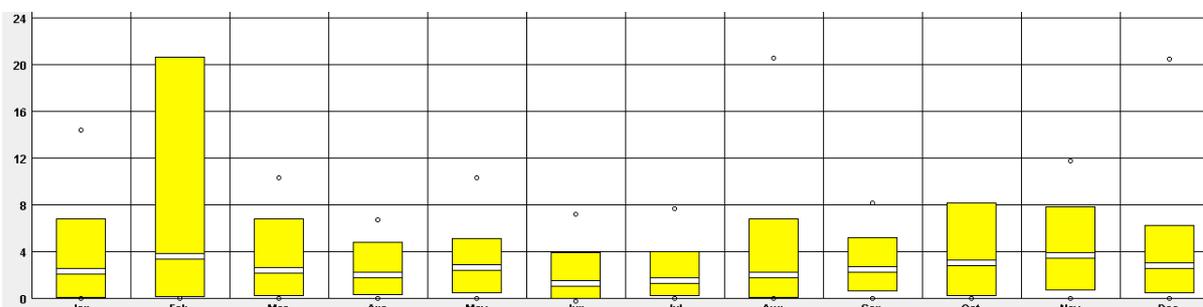
- **Temperatura do Ar:** a temperatura do ar é resultante dos fluxos das massas de ar e da recepção da radiação solar. Na Figura 10, é possível identificar as temperaturas médias de verão e de inverno na cidade de São Paulo na cor amarela, e as temperaturas máximas e mínimas na cor verde. A cor cinza identifica a zona de conforto, com base no PMV definido pela ASHARAE Standard 55.



Fonte: *Software Climate Consultant 6.0*, com base nos dados climáticos de São Paulo/Congonhas SWERA 837800 WWO

- **Vento:** são definidos pelas diferenças das temperaturas das massas de ar, gerando seu deslocamento da área de maior pressão para a área de menor pressão. A Figura 11 ilustra a velocidade do vento em cada um dos meses do ano.

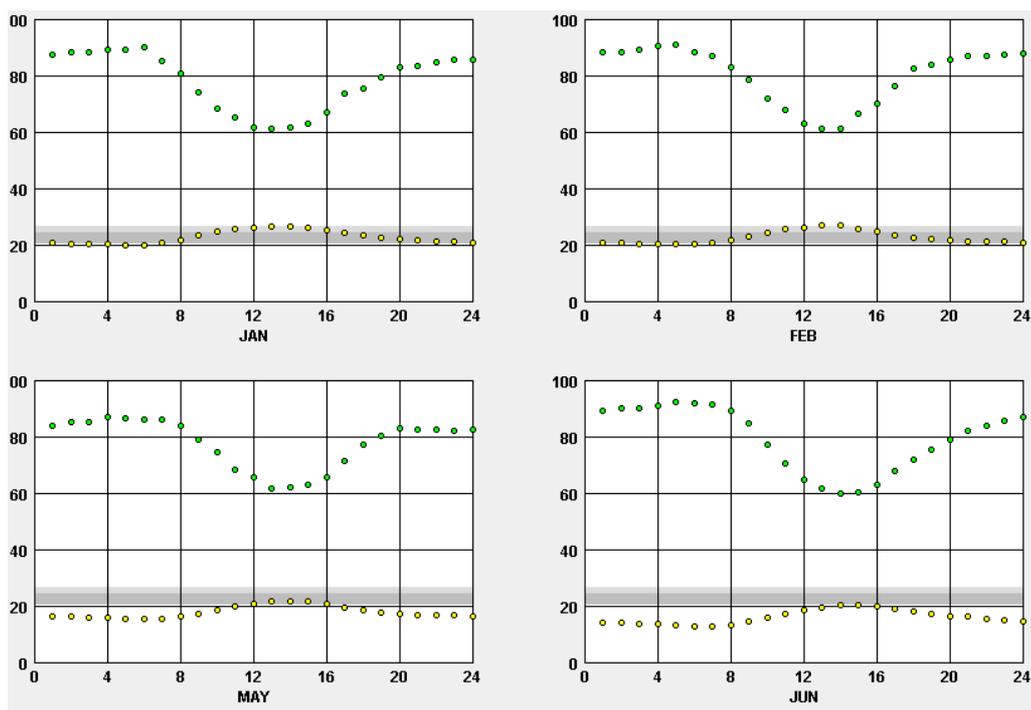
Figura 11 – Velocidade do Vento Anual



Fonte: *Software Climate Consultant 6.0*, com base nos dados climáticos de São Paulo/Congonhas SWERA 837800 WWO

- **Umidade:** é a resultante da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, e também da evapotranspiração dos vegetais. A Figura 12 demonstra a relação entre a temperatura identificada no gráfico pela cor amarela (linha inferior do gráfico), e a umidade na cor verde (linha superior do gráfico). Quanto menor à umidade, maior será a temperatura.

Figura 12 – Gráfico de umidade em relação a temperatura de bulbo seco

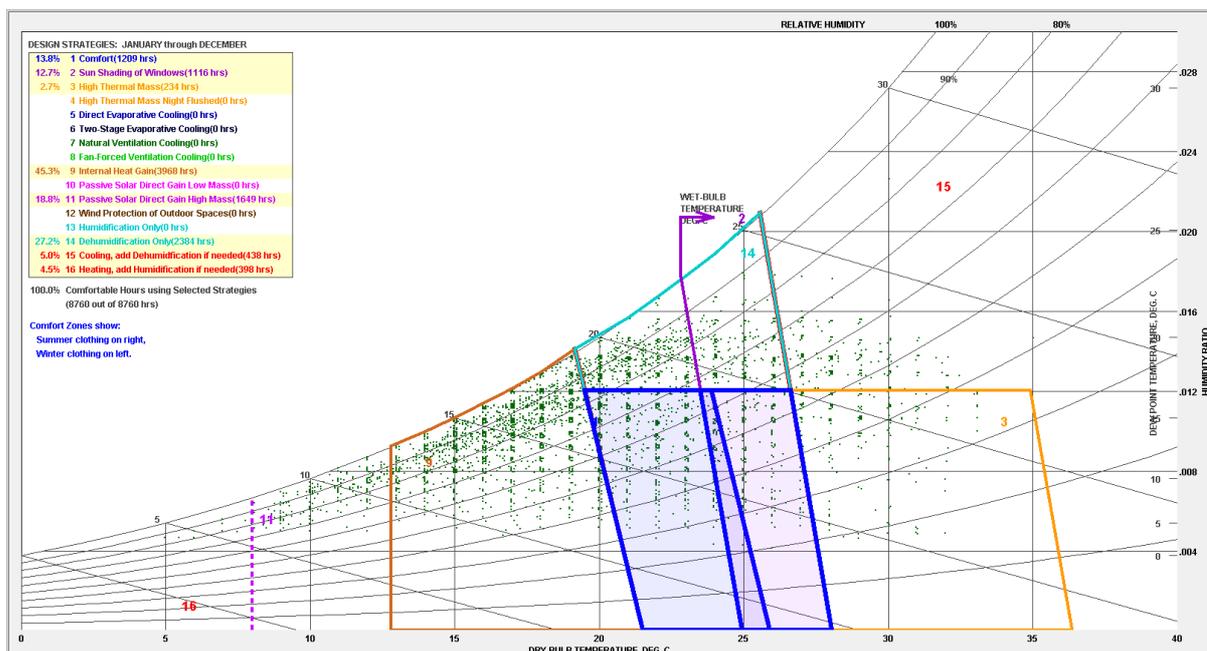


Fonte: *Software Climate Consultant 6.0*, com base nos dados climáticos de São Paulo/Congonhas SWERA 837800 WWO

A aderência do projeto ao clima é chamada de bioclimatologia, que tem como objetivo a otimização do desempenho térmico p estratégias passivas. Para determinação das estratégias, existem alguns métodos, como a Carta Psicométrica ilustrada na Figura 13, que representa a relação entre a temperatura do ar e a umidade. Esse gráfico ajuda a descrever as condições de conforto térmico, com base nos arquivos climáticos da região estudada.

O método foi desenvolvido em 1969 pelo arquiteto israelense Baruch Givoni, especialista em arquitetura bioclimática e é um dos mais utilizados no mundo para tal finalidade.

Figura 13 – Gráfico de umidade em relação a temperatura de bulbo seco



Fonte: *Software Climate Consultant 6.0*, com base nos dados climáticos de São Paulo/Congonhas SWERA 837800 WWO

O desempenho térmico não se resume em definir uma estratégia apenas para o verão; em algumas zonas climáticas, além de estabelecer técnicas para mitigar o aumento de temperaturas no interior de uma edificação nesta estação, é necessário definir, concomitantemente, estratégias para aumento e retenção de temperaturas no inverno. Para isso, existem uma série de técnicas passivas utilizadas, tais como:

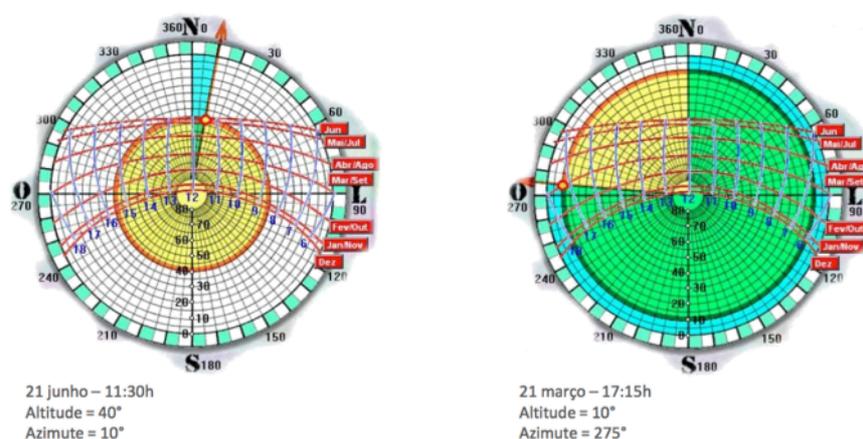
- **Ventilação Natural:** é utilizada como técnica para facilitar a troca de ar quente no ambiente, inserindo o ar de menor temperatura. No entanto, há casos onde a temperatura externa é tão quente, que a ventilação não ajudará na melhora da condição térmico interna. Existem diversos tipos de técnica para ventilação, sendo que as mais comuns são a ventilação cruzada e a efeito chaminé.
- **Resfriamento Evaporativo:** técnica utilizada associando água e ou vegetação na passagem pelo vento, que pode ser direto ou natural.
- **Massa Térmica para Resfriamento:** técnica da utilização de materiais com elevada inércia ou atraso térmico conseguido em função da capacidade de reter o calor por meio de suas propriedades e pela sua espessura.
- **Umidificação:** técnica de aproximar concentrações de água ou vegetações

para tornar o ar mais úmido.

- **Sombreamento:** é a técnica mais utilizada e há diversas soluções em projeto para obtê-la. Seu objetivo principal é proteger o sistema da edificação dos raios solares diretos e difusos para diminuição do ganho de temperatura.
- **Massa Térmica para Aquecimento:** técnica utilizada para ganho e manutenção da temperatura interna por meio de materiais que permitam a entrada do calor e o impeçam de sair. Materiais com massa térmica são capazes de armazenar a energia do sol e transformá-la em calor.
- **Aquecimento Solar:** técnica utilizada em locais de climas frios para a transformação da radiação direta em calor.

Um dos métodos para estudar a influência do sol na edificação utiliza as cartas solares, conforme ilustrado na Figura 14, que permitem a avaliação do ângulo da posição solar, sua trajetória no ano e em cada uma das horas do dia, em relação à edificação, seja para o desenvolvimento de estratégias, para o aumento da radiação e retenção de calor ou para o estudo de sombreamento e bloqueio solar.

Figura 14 – Carta Solar



Fonte: Desempenho térmico de edificações – Roberto Lamberts (2014)

2.3 A Norma de Desempenho NBR 15575

A Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013, ou simplesmente Norma de Desempenho, é uma norma brasileira que teve sua primeira versão lançada em

2008 e foi revisada em julho de 2013, tendo como principal objetivo o estabelecimento de critérios mínimos de desempenho aplicáveis aos diferentes sistemas que compõem as edificações habitacionais unifamiliares e multifamiliares, projetados a partir dessa data.

Seu foco direciona-se para o comportamento em uso dos sistemas integrantes das edificações habitacionais voltadas ao atendimento dos requisitos dos usuários, e não mais em prescrições, especificações de materiais ou determinações e imposições de como os sistemas devem ser construídos ou instalados.

A NBR 15575 é segregada entre os seguintes sistemas: estruturais, de pisos, de vedações verticais internas e externas, de coberturas e hidrossanitários. Ela estabelece a classificação de parâmetros dos sistemas abrangidos em três níveis de atendimento: (M) mínimo, com a obrigatoriedade de atendimento, (I) intermediário e (S) superior. O não atendimento a quaisquer dos parâmetros descritos na norma implica na obrigação de reparação por parte do construtor ou incorporador, a fim de garantir o desempenho mínimo exigido.

Para que o usuário possa verificar o atendimento dos parâmetros, a ABNT NBR 15575 prevê que seja desenvolvido pelo responsável pela incorporação ou construção o “Manual de Uso, de Operação e Manutenção” ou documento similar, conforme NBR14003, contendo o detalhamento da vigência de garantias e os níveis de desempenho (M, I ou S) alcançados pelos sistemas, juntamente com memoriais que descrevam o método utilizado e a comprovação do atendimento aos níveis especificados. A norma ressalta ainda que os projetistas devem especificar cada um dos materiais utilizados e os níveis de atendimento previstos em projeto, e quando não houver, que a especificação desses níveis de atendimento seja exigida do fabricante.

2.3.1 As Exigências dos Usuários

A ABNT NBR 15575 descreve uma lista das exigências dos usuários utilizadas como referência para avaliação do atendimento dos requisitos e dos critérios, separados nos três tópicos relacionados a seguir:

- 4.2 Segurança
 - segurança estrutural
 - segurança contra o fogo
 - segurança no uso e na operação

- 4.3 Habitabilidade
 - estanqueidade
 - desempenho térmico
 - desempenho acústico
 - desempenho lumínico
 - saúde, higiene e qualidade do ar
 - funcionalidade e acessibilidade
 - conforto tátil e antropodinâmico

- 4.4 Sustentabilidade
 - durabilidade
 - manutenibilidade
 - impacto ambiental

2.3.2 Incumbência dos Intervenientes

A ABNT NBR 15575 determina as responsabilidades de cada um dos intervenientes no processo de desenvolvimento de projeto e execução de empreendimentos habitacionais, definindo as seguintes atribuições:

- É de responsabilidade do **Fornecedor** de insumos, materiais, componentes e ou sistemas, caracterizar o desempenho de acordo com a norma; quando não houver norma vigente, que sejam fornecidos resultados comprobatórios do desempenho de seus produtos ou normas específicas internacionais.

- Ao **Projetista** é requerida a especificação dos materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho estabelecido na norma, com base

nas normas prescritivas e no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados. Quando não houver norma específica ou quando o fabricante não declarar o desempenho do produto utilizado, recomenda-se a solicitação de informações ao fabricante, a fim de comprovar o atendimento.

- É papel do **Incorporador ou Construtor** a elaboração e entrega ao proprietário da unidade do “Manual de operação, uso e manutenção” que atenda a ABNT NBR 14037, com a explicitação dos prazos de garantia aplicáveis.
- Ao **Usuário** cabe realizar a manutenção dos sistemas conforme o “Manual de uso, operação e manutenção” fornecido pelo Incorporador ou construtor.

2.3.3 Avaliação de Desempenho

A ABNT NBR 15575 define o termo Análise de Desempenho como sendo a ação de analisar a adequação ao uso de um determinado sistema ou processo construtivo, destinado ao cumprimento de uma função, independentemente da solução de projeto adotada para sua execução. Os resultados que balizaram o desenvolvimento do projeto devem ser registrados por meio de documentação fotográfica, memorial de cálculo, observações instrumentadas, catálogos técnicos de soluções adotadas e registros de planos de execução.

Há uma recomendação para que a avaliação do desempenho seja realizada por instituições de ensino ou pesquisa, laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multiprofissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica. Os principais métodos recomendados são: a realização de ensaios laboratoriais, ensaios de campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análises de projetos como métodos de avaliação válidos para comprovação do atendimento aos requisitos dos usuários, estabelecidos na norma.

A ABNT NBR 15575 prevê a possibilidade de avaliação por amostragem desde que seja comprovado que o sistema avaliado tenha condições iguais ao da avaliação que se deseja proceder, e que a amostragem seja representativa.

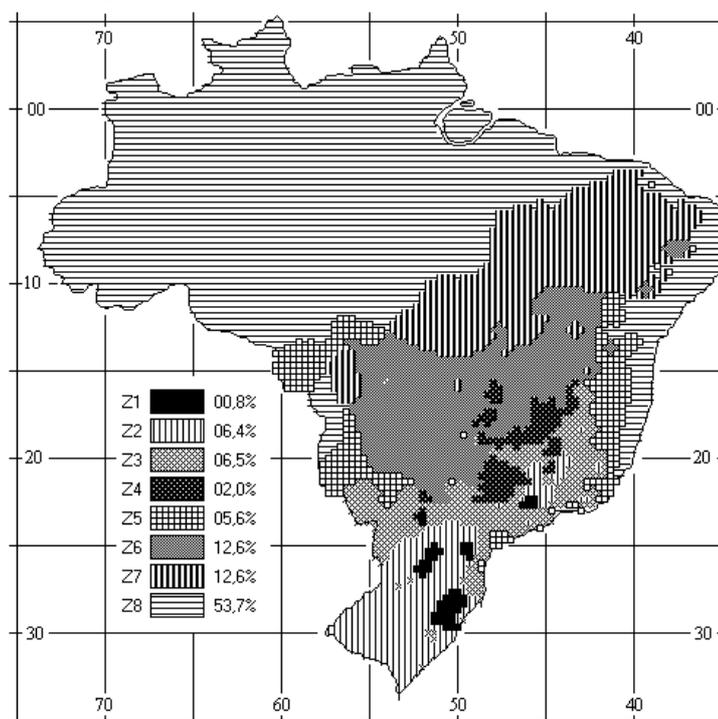
O relatório resultante da avaliação de desempenho deve reunir informações que caracterizem o edifício ou o sistema analisado e que, quando houver necessidade de realização de ensaios laboratoriais, o relatório deve conter a solicitação para sua realização, com a explicitação dos resultados pretendidos e a metodologia a ser empregada. A partir dos resultados obtidos, deve-se elaborar um documento de avaliação do desempenho, baseado nos requisitos e critérios avaliados.

2.3.4 O Desempenho Térmico na Norma de Desempenho

O primeiro elemento relacionado ao conforto térmico é o clima da região na qual o projeto está inserido. Devido à vasta extensão territorial, o Brasil possui oito zonas bioclimáticas, conforme mapa da zona bioclimática ilustrado na Figura 15, que se distinguem por apresentarem diferenças significativas nas condições climáticas.

A ABNT NBR 15575 descreve que a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3.

Figura 15 – Mapa da Zona Bioclimática Brasileira



Fonte: ABNT NBR 15220

O Mapa da Zona Bioclimática divide-se em oito zonas separadas em função do agrupamento de características climáticas e predominância do clima dessas regiões. A base para sua definição, além da posição geográfica, foram as médias mensais de temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas e as médias mensais das umidades relativas do ar, oriundas de fontes de dados Climatológicos desde 1931. A norma apresenta a lista das zonas bioclimáticas das capitais brasileiras, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Lista da zona bioclimática das capitais brasileiras

UF	Zona bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude [m]	Altitude
SE	8	Aracajú	10.92 S	37.05 W	5
PA	8	Belém	1.45 S	48.47 W	10
MG	3	Belo Horizonte	19.93 S	43.93 W	850
DF	4	Brasília	15.78 S	47.93 W	1160
MS	6	Campo Grande	20.45 S	54.62 W	530
MT	7	Cuiabá	15.55 S	56.12 W	151
PR	1	Curitiba	25.42 S	49.27 W	924
SC	3	Florianópolis	27.58 S	48.57 W	2
CE	8	Fortaleza	3.77 S	38.6 W	26
GO	6	Goiânia	16.67 S	49.25 W	741
PB	8	João Pessoa	7.1 S	34.87 W	7
AP	8	Macapá	0.03 N	51.05 W	14
AL	8	Maceió	9.67 S	35.7 W	65
AM	8	Manaus	3.13 S	60.02 W	72
RN	8	Natal	5.77 S	35.2 W	18
TO	1	Palmas	10.21 S	48.36 W	330
RS	3	Porto Alegre	30.02 S	51.22 W	47
RO	8	Porto Velho	8.77 S	63.08 W	95
PE	8	Recife	8.05 S	34.92 W	7
AC	8	Rio Branco	9.97 S	67.8 W	161
RJ	8	Rio de Janeiro	22.92 S	43.17 W	5
BA	8	Salvador	13.02 S	38.52 W	51
MA	8	São Luiz	2.53 S	44.3 W	51
SP	3	São Paulo	23.5 S	46.62 W	792
PI	7	Teresina	5.08 S	42.82 W	74
ES	8	Vitória	20.32 S	40.33 W	36

Fonte: Norma ABNT NBR 15575:2013

A ABNT NBR 15575 recomenda que o construtor ou incorporador informe o nível de desempenho dos sistemas que compõem a edificação avaliada, quando exceder o nível mínimo (M). Isto se aplica apenas aos métodos de simulação computacional e medição in loco, pois o método simplificado só atinge o nível mínimo.

Para comprovação do atendimento dos requisitos de conforto térmico, a norma prevê três procedimentos:

- Método Simplificado: é um procedimento normativo simplificado que define o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas detalhados na NBR 15575-4 e na NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica resultem em desempenho insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.
- Simulação Computacional.
- Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

2.3.5 O Método Simplificado da ABNT NBR 15575

Por meio deste método devem ser avaliados o atendimento aos valores de Transmitância Térmica (U), à Capacidade Térmica (CT) para os sistemas de vedação e coberturas, e à Aberturas de ventilação mínimas em função da zona bioclimática.

A transmitância térmica (U) é o fluxo de calor que atravessa a área unitária de um componente ou elemento quando existe um gradiente térmico de 1°K entre suas faces opostas, sendo o fluxo expresso em $\text{Watts/m}^2 \text{ K}$, conforme Tabela 4 e 5.

Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica (U) $\text{W/ m}^2 \cdot \text{K}$		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
<i>^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede</i>		

Fonte: Norma ABNT NBR 15575:2013

Tabela 5 – Transmitância térmica de coberturas

Transmitância Térmica (U) $\text{W/ m}^2 \cdot \text{K}$
--

Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV
α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA: O fator de ventilação (FV) está estabelecido na ABNT NBR 15220-2				

Fonte: Norma ABNT NBR 15575:2013

Segundo a ABNT NBR 15575, a capacidade térmica (CT) é a quantidade de calor por área unitária necessária para variar em uma unidade a temperatura de um componente ou elemento. De acordo com a Tabela 6, apenas as cidades localizadas na Zona Bioclimática 8 não precisam atender. É expressa em $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

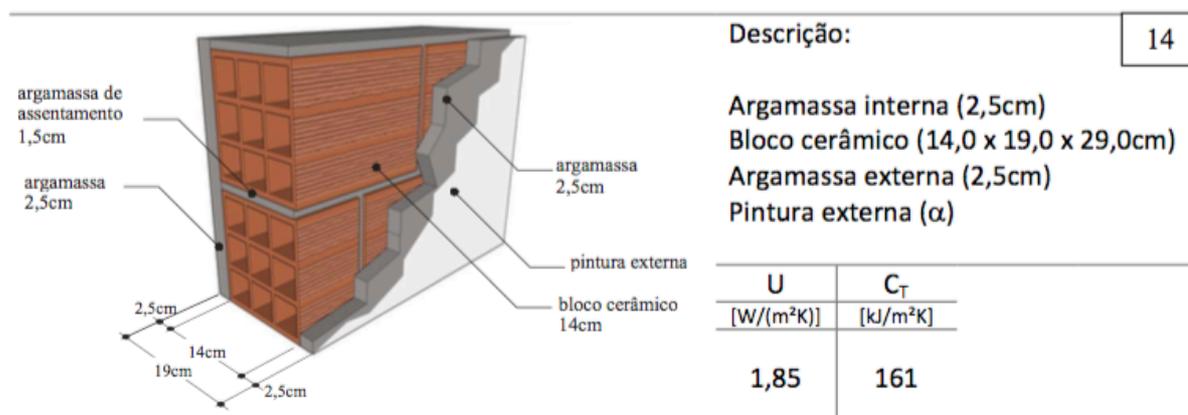
Tabela 6 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: Norma ABNT NBR 15575:2013

Uma especificação comumente utilizada na construção civil em vedações externas é a composição de uma vedação com núcleo de bloco cerâmico de 14,00 cm, argamassa externa de 2,5 cm, aplicação de pintura externa, argamassa de 2,5 na face interna. Esta composição, ilustrada na Figura 16, atende plenamente aos requisitos do Método Simplificado.

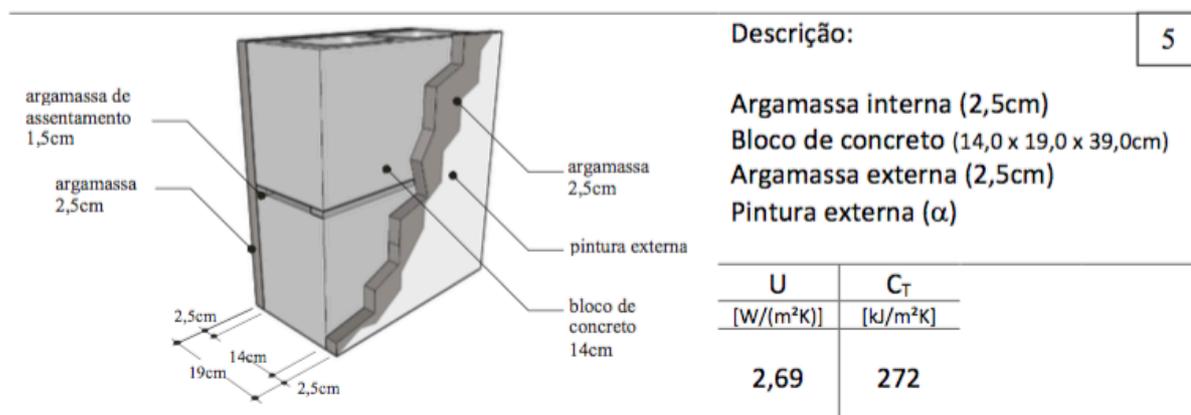
Figura 16 – Composição de uma vedação com núcleo de bloco cerâmico



Fonte: Catálogo de propriedades térmicas – Inmetro (2013)

Se utilizarmos as mesmas dimensões, substituindo apenas o bloco cerâmico pelo bloco de concreto, conforme se observa na Figura 17, e a absorvância à radiação solar for maior que 0,6 em determinadas regiões, o bloco de concreto não atenderá ao requisito mínimo de Transmitância Térmica.

Figura 17 – Composição de uma vedação com núcleo de bloco de concreto



Fonte: Catálogo de propriedades térmicas – Inmetro (2013)

O último critério de avaliação do Método Simplificado refere-se à porcentagem de abertura para ventilação em relação a área de piso, de modo a proporcionar a ventilação interna dos ambientes de permanência prolongada como: salas, cozinhas e dormitórios. De acordo com a Tabela 7 para as zonas bioclimáticas 1 a 7 a razão mínima de área de abertura para ventilação deve ser 7% em relação a área do piso. A norma requisita ainda que as aberturas estejam protegidas.

Tabela 7 – Área mínima de ventilação

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zonas 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL $A \geq 8\%$ da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL
<i>Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio</i>		

Fonte: Norma ABNT NBR 15575:2013

2.3.6 A Simulação Computacional

A Simulação Computacional é o método exigido na norma quando quaisquer um dos critérios do Método Simplificado não forem atendidos, ou ainda quando se almejar a obtenção de um nível superior de desempenho mínimo dos sistemas avaliados.

A norma descreve os critérios para realização da Simulação Computacional para avaliação do desempenho térmico destacando os seguintes itens:

- Para a realização das simulações computacionais, devem ser utilizadas como referência as Tabelas 8 e 9 apresentadas abaixo, que fornecem informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno.

Tabela 8 – Dados de dias típicos de verão de algumas cidades Brasileiras

Cidade	Temperatura máxima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade Décimos*
Aracaju	30,9	5,4	24,9	6277	6
Belém	33,4	10,5	26,1	4368	6
Belo Horizonte	32	10,3	21,7	4641	6
Boa Vista	35,3	9,8	25,8		6
Brasília	31,2	12,5	20,9	4625	4
Campo Grande	33,6	10	23,6	5481	6
Cuiabá	37,8	12,4	24,8	4972	6
Curitiba	31,4	10,2	21,3	2774	8
Florianópolis	32,7	6,6	24,4		7
Fortaleza	32	6,5	25,1	5611	5
Goiânia	34,6	13,4	21	4455	4

João Pessoa	30,9	6,1	24,6	5542	6
Macapá	33,5	9	25,8		7
Maceió	32,2	8,2	24,6	5138	6
Manaus	34,9	9,1	26,4	5177	7
Natal	32,1	8	24,8	6274	6
Porto Alegre	35,9	9,6	23,9	5476	5
Porto Velho	34,8	12,5	26	6666	7
Recife	31,4	7,4	24,7	5105	6
Rio Branco	35,6	12,7	25,4	6496	7
Rio de Janeiro	35,1	6,4	25,6	5722	5
Salvador	31,6	6,1	25	5643	5
São Luís	32,5	7,4	25,4	5124	5
São Paulo	31,9	9,2	21,3	5180	6
Teresina	37,9	13,2	25,1	5448	5
Vitória	34,6	7,4	25,9	4068	5

Fonte: Norma ABNT NBR 15575 (2013)

Tabela 9 – Dados de dias típicos de inverno de algumas cidades Brasileiras

Cidade	Temperatura mínima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade décimos*
Aracaju	18,7	5,1	21,5	5348	6
Belém	20,4	10,0	25,5	4161	6
Belo Horizonte	8,7	12,6	16,0	3716	3
Boa Vista	20,7	8,4	24,9		7
Brasília	10,0	12,2	14,8	4246	3
Campo Grande	13,7	11,5	17,3	4250	4
Cuiabá	11,4	14,3	20,1	4163	4
Curitiba	0,7	11,6	11,0	1666	6
Florianópolis	6,0	7,4	13,4		6
Fortaleza	21,5	7,0	24,0	5301	5
Goiânia	9,6	14,9	16,2	1292	3
João Pessoa	19,2	6,5	22,4	4836	6
Macapá	21,8	6,5	24,9		8
Maceió	17,8	7,5	21,7	4513	6
Manaus	21,4	7,9	25,0	4523	7
Natal	19,1	7,8	22,5	5925	5
Porto Alegre	4,3	8,6	12,1	2410	6
Porto Velho	14,1	14,1	23,6	6670	5
Recife	18,8	6,7	22,1	4562	6
Rio Branco	11,9	14,9	22,1	6445	6
Rio de Janeiro	15,8	6,3	19,1	4030	5
Salvador	20,0	5,0	21,7	4547	5
São Luís	21,5	6,9	24,9	4490	6
São Paulo	6,2	10,0	13,4	4418	6
Teresina	18,0	12,6	22,9	5209	4
Vitória	16,7	6,9	20,4	2973	5

Fonte: Norma ABNT NBR 15575 (2013)

* A coluna *Nebulosidade Décimos* indica o fator de céu encoberto. A nebulosidade de 5/10 (cinco décimos) ou 0,5 equivale à metade da abóboda celeste encoberta. O valor zero corresponde a nenhuma nuvem identificada no momento do levantamento.

- Na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se a utilização dos dados climáticos de uma cidade próxima, com características climáticas semelhantes, na mesma zona bioclimática brasileira (conforme indicado na NBR 15220, Parte 3). Se o clima na cidade não for semelhante ao de nenhuma outra que tenha seus dados disponibilizados, recomenda-se evitar o método da Simulação Computacional.
- Para a realização das simulações computacionais, recomenda-se o emprego do programa EnergyPlus. Outros programas de simulação poderão ser utilizados desde que permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e atendam aos requisitos da *ASHRAE Standard 140*, que estabelece procedimentos para a simulação computacional.

Para a geometria do modelo de simulação, deve-se levar em conta a habitação como um todo, considerando cada ambiente como sendo uma zona térmica. Na composição de materiais para a simulação, deve-se utilizar dados das propriedades térmicas dos materiais e ou componentes construtivos obtidos em laboratório, por meio de método de ensaio normalizado. Na ausência desses dados ou na impossibilidade de obtê-los junto aos fabricantes, é permitida a utilização dos dados disponibilizados na NBR 15220, Parte 2, como referência.

Os métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos são referenciados na norma para que sejam seguidos na realização da Simulação Computacional (Tabela 10).

Tabela 10 – Métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C 518, ASTM C 177 ou ISO 8302
Calor específico	Medição ASTM C 351 – 92b
Densidade de massa aparente	1.1 Medição conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material
Emissividade	Medição JIS A 1423/ ASTM C1371 – 04a
Absortância à radiação solar	Medição ANSI/ASHRAE 74/88, ASTM E1918-06, ASTM E903-96
Resistência ou transmitância térmica de elementos	Medição conforme ABNT NBR 6488 ou cálculo conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos ASTM E903-96
Características fotoenergéticas (vidros)	EN 410 – 1998/ EN 12898

Fonte: Norma ABNT NBR 15575 (2013)

As exigências de desempenho, quando a verificação é feita por meio de simulação, no verão especificadas na norma de desempenho resumem-se à apresentação de condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais às do ambiente externo, para o dia típico de verão. O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura exterior, conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Critérios de avaliação de valores máximos de temperatura

Nível de Desempenho	CRITÉRIO	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$
<small> $T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius </small>		

Fonte: Norma ABNT NBR 15575 (2013)

As exigências de desempenho no inverno exigem que as condições térmicas no interior do edifício habitacional nas zonas bioclimáticas 1 a 5 sejam melhores que do ambiente externo, no dia típico de inverno, não sendo necessário realizar a simulação para inverno nos edifícios localizados nas zonas bioclimáticas 6, 7 e 8. A norma prevê que os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de

recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, no dia típico de inverno, devam ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C para obtenção do desempenho mínimo, 5°C para o desempenho intermediário e 7°C para o superior, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Critérios de avaliação de valores mínimos de temperatura

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas Bioclimáticas 1 a 51)	Zonas Bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	
<small>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius</small>		

Fonte: Norma ABNT NBR 15575 (2013)

A norma de desempenho especifica ainda que a avaliação, por meio de simulação, deve ser feita para um dia típico de verão e outro de inverno, salvo em edificações localizadas nas Zonas Bioclimáticas 6, 7 e 8. Para conjuntos habitacionais ou edifícios multipiso, devem ser selecionadas unidades habitacionais representativas conforme estabelecido a seguir:

- a) conjunto habitacional de edificações térreas: selecionar uma unidade habitacional com o maior número de paredes expostas.
- b) edifício multipiso: selecionar uma unidade do último andar com cobertura exposta.

Todos os recintos da unidade habitacional devem ser simulados levando em conta as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliando os resultados dos recintos dos dormitórios e salas, considerando as seguintes condições:

- A edificação deve ser orientada conforme a implantação. A unidade habitacional da edificação objeto da simulação deve ser a mais crítica do ponto de vista térmico.
- Caso a orientação da edificação não esteja definida, esta deve ser posicionada de tal forma que a unidade a ser avaliada tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico.

Como condição crítica do ponto de vista térmico, recomenda-se (para a zona bioclimática de São Paulo ou para qualquer zona bioclimática ou para o hemisfério sul):

- a) no verão: janela do dormitório ou da sala voltada para o oeste e a outra parede exposta voltada para o norte. Caso não seja possível, o ambiente deve contar com, pelo menos, uma janela voltada para o oeste;
- b) no inverno: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste. Caso não seja possível, o ambiente deve contar com, pelo menos, uma janela voltada para o sul;
- c) obstrução no entorno: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e ou vento. Edificações de um mesmo complexo, por exemplo, um condomínio, podem ser consideradas, desde que previstas para habitação no mesmo período. Essa informação deve constar na documentação de comprovação de desempenho;
- d) obstrução por elementos construtivos previstos na edificação: dispositivos de sombreamento (exemplos: para-sóis, marquises, beirais) devem ser considerados na simulação.

Deve-se adotar uma taxa de ventilação do ambiente de uma renovação de ar por hora (1 ren/h).

A absorptância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, conforme as seguintes orientações:

- a) cobertura: valor especificado no projeto, correspondente, portanto, ao material declarado para o telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura;
- b) parede: assumir o valor da absorptância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas:

- cor clara: $\alpha = 0,3$
- cor média: $\alpha = 0,5$
- cor escura: $\alpha = 0,7$

De acordo com o requisito da Norma de Desempenho 11.5.2, a unidade habitacional que não atender aos critérios estabelecidos para o verão deve ser simulada novamente, considerando-se as seguintes alterações:

- ventilação: configuração da taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 Ren/h) e janelas sem sombreamento;
- sombreamento: inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar, no mínimo, 50% da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- ventilação e sombreamento: combinação das duas estratégias anteriores, ou seja, inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

2.3.7 A Medição *In Loco*

A avaliação do desempenho térmico de edificações, via medições *in loco*, deve ser aplicada em edificações em escala real (1:1). Para tanto, deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitório e sala, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726 (1998).

Para avaliar edificações existentes, é fundamental considerar as situações apresentadas a seguir:

- a) no caso de uma única unidade habitacional, medir os recintos indicados tal como se apresentam.

b) em conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso, escolher uma ou mais unidades que possibilitem a avaliação nas seguintes condições (para a zona bioclimática x ou hemisfério sul):

- verão: janela do dormitório ou da sala voltada para o oeste e outra parede exposta voltada para o norte;
- inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para o sul e outra parede exposta voltada para o leste;
- no caso de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar;
- caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Para avaliação em protótipos, recomenda-se que eles sejam construídos considerando-se as condições estabelecidas a seguir:

- nas regiões bioclimáticas 6 a 8 (ABNT NBR 15220-3), protótipo com janela do dormitório ou sala voltada para a face oeste;
- nas regiões bioclimáticas 1 a 5 (ABNT NBR 15220-3), construir um protótipo que atenda aos seguintes requisitos:
 - condição de inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para a face leste;
 - condição de verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para a face norte.
- obstrução por elementos externos: quando possível, as paredes e as janelas dos protótipos devem ser desobstruídas (sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento).

No caso de avaliação em protótipo, este deve reproduzir as condições mais semelhantes possíveis àquelas que serão obtidas pela edificação real, evitando-se desvios de resultados causados por sombreamento ou ventilação diferentes da obra real.

O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por, pelo menos, um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

As exigências de desempenho no inverno ou no verão são as mesmas exigidas por meio do método de simulação computacional.

2.3.8 Considerações sobre a Norma de Desempenho

O cumprimento dos critérios de desempenho térmico da Norma ABNT NBR 15575 por meio do Método Simplificado tem se mostrado insuficiente para garantir o atendimento pleno à qualidade e ao conforto no habitat. De acordo com Brito *et al.* (2012), o método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios presente na atual versão da norma, baseado em valores limite para propriedades térmicas representativas do sistema construtivo sem considerar o projeto do edifício, tem se mostrado limitado. A análise realizada pelos autores antecede a atual versão da norma, mas não é descartada, pois os critérios e níveis de desempenho térmico da primeira versão, datada de 2008, permaneceram inalterados.

Não considerar as características regionais e os aspectos do projeto que podem influenciar positiva ou negativamente no desempenho térmico torna o método simplificado restrito, podendo este não atender às necessidades dos usuários. Brito *et al.* (2012) entendem que a aprovação do edifício pelo método simplificado deveria garantir que sistemas construtivos totalmente inadequados às condições climáticas fossem rapidamente identificados e descartados. Entretanto, em razão da não consideração do projeto, o cumprimento desse objetivo tem se mostrado limitado.

Segundo Chvatal (2014), a relevância de métodos simplificados é indiscutível, pois permitem que edificações mais padronizadas e com baixo nível de complexidade sejam analisadas de forma expedita, sem a necessidade de se recorrer à simulação computacional. Para tanto, o método simplificado deve ser capaz de avaliar de forma fidedigna o comportamento térmico do edifício, de modo que o desempenho por ele obtido não seja superior ao verificado por meio da simulação. Caso contrário, pode ser aprovado um projeto que não apresente o desempenho mínimo necessário.

A simulação computacional referenciada na norma como método de avaliação de conforto térmico se mostra um instrumento que representa com maior fidelidade as condições do ambiente em relação ao método simplificado de avaliação. Este método incorpora variáveis ausentes no método simplificado, tais como a espacialidade da edificação, permitindo que suas condições de exposição sejam representadas com maior fidelidade. No entanto, é importante ressaltar que o desempenho térmico de uma edificação não se limita aos materiais constituintes, sendo tão importante quanto o processo de avaliação de desempenho a consideração, mesmo que hipotética, de outras variáveis, tais como o ganho térmico originado pela ocupação de usuários e equipamentos no interior da edificação, o que não acontece na norma em razão da especificação da simulação sem cargas térmicas.

Embora o método de Simulação Computacional, se bem conduzido, se aproxime mais da realidade em função da maior quantidade de variáveis analisadas, é importante ressaltar que essa mesma quantidade e liberdade do usuário podem gerar resultados incongruentes e não bem conduzidos, uma especificação errada do tipo de céu, por exemplo, pode gerar resultados que não correspondam a realidade. Outro fator importante descrito por Silva *et al.* (2014) refere-se às variáveis desconsideradas pela NBR 15575, que exercem influência direta nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, causando falta de precisão no resultado final. Os autores complementam que os usuários possuem liberdade de escolher quaisquer valores para essas variáveis para a obtenção da melhor classificação do nível de desempenho da edificação, pois o método atual assim o permite.

Com base nessa informação, é possível afirmar que uma revisão da norma objetivando a inclusão de critérios para a simulação computacional que englobem padrões pré-definidos de ocupação adequados à realidade brasileira e ao padrão socioeconômico, bem como a especificação de variáveis que possam restringir as incongruências que vêm sendo estudadas por especialistas em simulação e conforto térmico, contribuirá para melhorar efetivamente o desempenho térmico das edificações.

2.4 A Sustentabilidade

Historicamente, o conceito de sustentabilidade começou a ser formulado em Estocolmo, a partir da conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) realizada em 1972, iniciando o processo de conscientização de que os recursos naturais poderiam ser extintos e da necessidade de políticas e ações globais para o planeta.

Na década de oitenta, foi criada uma comissão para promover audiências em todo o mundo, com a finalidade de ouvir líderes de governo, população em geral e representantes de diversos setores e grupos, para que expressassem suas opiniões quanto ao desenvolvimento do planeta, dando continuidade ao que havia sido iniciado há 15 anos.

Essa iniciativa originou um documento chamado de “Relatório de *Brundtland*”, ou “*Our Common Future*”, que foi concluído e apresentado em 1987. Esse conjunto de discussões criticou o modelo de desenvolvimento adotado até então pelos países industrializados e reproduzido largamente pelos países em desenvolvimento, alertando para os riscos do uso excessivo dos recursos naturais, sem considerar as limitações dos ecossistemas. Dentre outros assuntos discutidos, destacam-se a diminuição do consumo de energia, o desenvolvimento de tecnologias e a criação de fontes renováveis de energia.

O relatório objeto dessa iniciativa descreve ainda a incompatibilidade entre os padrões de produção e consumo em relação ao desenvolvimento sustentável, ratificando a necessidade de uma relação “ser humano/meio ambiente”. Dentre as principais medidas discutidas e incorporadas nesse relatório no âmbito da

construção civil estão a diminuição do consumo de energia, a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas, o controle do processo de urbanização, o desenvolvimento de tecnologias de fontes renováveis de energia e a produção industrial por meio de tecnologias ecológicas adaptadas. Como conclusão, o resultado comprova que o atual modelo de desenvolvimento é incompatível e insustentável; de um lado, um cenário de aumento da riqueza, consumo, conforto e facilidades, e do outro, a miséria, o aumento da poluição, a degradação e o impacto ao meio ambiente. Diante deste cenário, surgiu a ideia de Desenvolvimento Sustentável.

Segundo Silva (2003) *apud* Oliveira (2014), a preocupação com a escassez dos recursos naturais foi intensificada com a crise do petróleo na década de setenta, desencadeando iniciativas para maximizar a eficiência energética dos produtos gerados pelo setor da construção civil.

A construção civil é um dos mercados que mais impactam negativamente o meio ambiente, sendo responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais extraídos, produzindo 40% dos resíduos sólidos urbanos e 50% do consumo de energia elétrica na fase de uso e operação.

De acordo com o Wri (2005), a emissão de gases de efeito estufa gerados apenas para a energia elétrica e aquecimento em edificações residenciais e comerciais correspondem a 15,3% do total mundial. Em todo o ciclo de vida da construção civil existe alta taxa de consumo de recursos naturais, desperdício e degradação do meio ambiente, tornando-o um dos segmentos de maior impacto ambiental. Práticas unicamente exploratórias características de países recém-industrializados e em desenvolvimento ainda hoje são observadas na construção civil.

O mercado da construção civil está entre os mercados mais atrasados do mundo e em muitos países, principalmente nos subdesenvolvidos e em desenvolvimento, edificando com práticas centenárias e ultrapassadas, causando desperdício e enorme impacto ao meio. Diante deste cenário, em que as gerações atuais já conseguem sentir e são impactadas com as consequências desse desequilíbrio foram desenvolvidas as certificações sustentáveis.

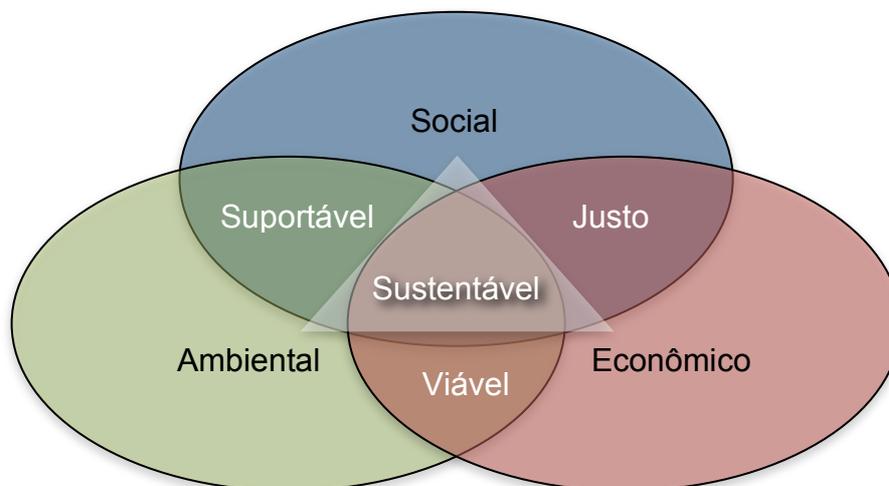
Segundo Agopyan e John (2011), a indústria da construção civil demorou para começar a discutir e enfrentar os problemas de sustentabilidade, mesmo sendo a indústria que mais consome recursos naturais e gera resíduos, com significativa geração de poeira e poluição sonora, e além de, historicamente, ser considerada como uma atividade “suja”, não tinha sido apontada como um segmento com problemas de sustentabilidade até meados da década de noventa.

No livro “Projetar e Construir Bairros Sustentáveis”, Melhado *et al.* (2013) definem uma construção sustentável como a combinação de um projeto que quantifique os impactos que causam ao meio ambiente e à saúde humana, em que sejam empregadas todas as tecnologias disponíveis para mitigá-los. Os autores complementam ainda que “o edifício deve ser pensado em relação ao seu entorno com uma metodologia de gestão de projeto integrada e circular, e não mais de maneira isolada”.

O conceito de sustentabilidade é composto por três pilares: social, econômico e ambiental. Para que efetivamente sejam sustentáveis os aspectos que compõem este tripé, os mesmos devem interagir entre si de maneira harmoniosa. O aspecto social valoriza práticas para que os anseios gerais de uma sociedade, tais como saúde, educação, segurança e lazer, sejam atendidos. O econômico refere-se à fabricação e distribuição de serviços no mercado utilizando-se de práticas coerentes, éticas, de concorrência com aplicação de preço justo e sem exploração de recursos ou mão de obra. O desenvolvimento ambiental está ligado às práticas diretas ou indiretas que possam mitigar o impacto das ações no meio ambiente.

A Figura 18 ilustra o *triple botton line*, tripé base do conceito de Desenvolvimento Sustentável, com a representação dos três pilares que o fundamentam.

Figura 18 – Integração das três dimensões do desenvolvimento sustentável



Fonte: Adaptação do autor, livro “Projetar e Construir Bairros Sustentáveis” (Melhado *et al.*, 2013)

As edificações sustentáveis são caracterizadas por incorporarem princípios relacionados e intrínsecos à edificação, que são visíveis e tangíveis, e algumas, como a certificação AQUA-HQE consideram aspectos relacionados ao processo e ao desenvolvimento do empreendimento de uma forma mais abrangente. Segundo Romero e Reis (2012), as certificações tratam fundamentalmente de cinco grupos de assuntos: local, água, energia, materiais e qualidade do ambiente interior. Os autores acrescentam que as terminologias podem sofrer alterações entre as certificações, mas o conteúdo comum a todas se concentra nos cinco grupos, conforme se observa na Figura 19.

Figura 19 – Escopo principal das certificações ambientais



Fonte: Adaptação do autor – Eficiência Energética em Edifícios (ROMERO; REIS, 2012)

O exemplo do projeto de requalificação de um antigo estádio e seu entorno em Nice, na França, vencido pelos escritórios *Team Maison Edouard Francois* e *ABC Architects Associate Architect*, ilustrado na Figura 20, previsto para ser concluído em 2018, baseia-se em preceitos e técnicas sustentáveis e transformará o antigo estádio em um complexo de uso misto para acomodar 300 apartamentos e 6.000 m² de área comercial, integrados a um futuro parque com base no conceito de desenvolvimento sustentável: aproveitamento de materiais reciclados, uso de vegetação local, redução de consumo de recursos naturais, aberturas operáveis em três lados opostos para evitar o uso de ar condicionado, entre outros. O projeto está sendo desenvolvido e será submetido às certificações LEED e BREEAM.

Figura 20 – Ilustração do projeto *The Ray*



Fonte: <http://www.edouardfrancois.com/en/projects/housing/details/article/58/le-ray/#.WGaWGLYrLGI>

O custo empregado no uso e na operação de uma habitação multifamiliar é, em média, quatro vezes maior do que o custo empregado em sua construção num período de 40 anos, sendo o principal componente deste custo o consumo de energia elétrica, gás e água. Considerando apenas este fato, essa alegação já é suficiente para justificar a busca pelo desenvolvimento de edificações sustentáveis, com adequado conforto térmico, independentemente das certificações, pois muitas das práticas que podem e deveriam ser implantadas em projetos são requisitos básicos de qualidade, que foram preteridos para acomodar outras prioridades, como a busca pelo máximo coeficiente de aproveitamento de construção, a construtibilidade e racionalização em detrimento da qualidade.

2.5 As Certificações Ambientais

As certificações ambientais são mecanismos ou processos voluntários aos quais os empreendedores submetem seus projetos e empreendimentos para uma avaliação de critérios de desempenho para obtenção de selos que comprovem a adoção de práticas, soluções de projeto, medidas e processos baseados nos princípios do desenvolvimento sustentável, que têm como principais objetivos a redução de consumo de recursos naturais, a melhoria nas condições de conforto internas do ambiente, a redução da degradação e do impacto ao meio ambiente por meio da redução e gestão de resíduos, a aquisição de matéria-prima, materiais e sistemas certificados com garantia de origem, entre outros.

Uma das certificações ambientais mais difundidas é a ISO 14.001:1996 composta de normas e diretrizes com enfoque na gestão ambiental de empresas. Assim como as demais certificações ambientais, ela é avaliada e auditada por um OCC (Organismo Certificado Credenciado) para comprovação e validação do atendimento aos requisitos estabelecidos. Seu diferencial, entretanto, diz respeito à sua aplicação, apenas empresarial, enquanto as demais certificações ambientais, com exceção do AQUA-HQE™ que tem um componente de gestão, são aplicáveis exclusivamente a avaliação do desempenho do empreendimento.

Atualmente, existem inúmeras certificações ambientais com foco no mercado da construção, que foram desenvolvidas, em sua grande maioria, com base nas características, normas e referenciais de seu país de origem, sofrendo pouca ou quase nenhuma adaptação para serem aplicadas em outros países. Existem, porém, algumas certificações genuinamente brasileiras, como a Casa Azul, conforme descrito na Tabela 13.

O Procel Edifica é uma regulamentação energética que tem como principal objetivo de incentivar a aplicação de soluções que reduzam o consumo energético a luz da “Lei de Eficiência Energética”, e embora não seja considerada efetivamente uma certificação ambiental, o Procel Edifica é um mecanismo que isoladamente pode ser analisada conjuntamente e comparada as demais certificações ambientais.

As certificações que se destacam no mercado da construção e vêm crescendo em relação ao número de edificações certificadas no Brasil são: a americana LEED e a europeia francesa AQUA-HQE™, mas existem outras, como a inglesa BREEAM e a alemã DGNB. Cada uma tem sua característica, processo e método específicos. A Tabela 13 apresenta a lista das certificações analisadas neste trabalho.

Tabela 13 – Lista das certificações analisadas (pesquisa realizada em janeiro de 2017)

Certificação	Ano de Criação	Origem	Empreendimentos Certificados no Brasil e Fonte
AQUA-HQE™	2008	Brasil	168 certificados <i>http://vanzolini.org.br/ AQUA-HQE™/empreendimentos-certificados/#</i>
BREEAM	1990	Inglaterra	02 certificados <i>Fonte: http://www.breeam.com/search?q=Brazil</i>
CASA AZUL	2010	Brasil	10 certificados <i>http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx</i>
DGNB	2009	Alemanha	Nenhum empreendimento certificado <i>Fonte: http://www.dgnb-system.de/en/projects/</i>
LEED	1999	Estados Unidos	1225 certificados <i>http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php</i>
PROCEL EDIFICA	2014	Brasil	41 etiquetados <i>http://www.Procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}</i>

Fonte: Desenvolvimento do autor

Direcionando a análise de como as certificações podem contribuir no desempenho térmico das edificações, destaca-se que não apenas os usuários se beneficiarão de edificações certificadas, mas o meio ambiente e o empreendedor. Ao meio ambiente, são atribuídos alguns benefícios diretos, tais como a redução da emissão de poluentes, e do consumo energético, ambos causados pela redução no uso do ar condicionado. Ao empreendedor, além dos benefícios de valorização dos empreendimentos certificados, a vinculação de sua marca a ações sustentáveis que, indiretamente, refletirão em maior confiança, e conseqüentemente, maior desempenho em vendas, e na obtenção de subsídios do governo para

empreendimentos sustentáveis. O usuário se beneficiará com a redução do consumo de energia elétrica, aumento da qualidade do ar interior, maior valorização do imóvel e de seu investimento, menor obsolescência e maior conforto, ocasionados pelas melhores condições de habitabilidade proporcionados previstas em algumas certificações.

2.5.1 A Certificação AQUA-HQE™

AQUA-HQE™ é uma certificação ambiental internacional derivada da certificação francesa *Démarche Haute Qualité Environnementale* (HQE), também conhecida como Alta Qualidade Ambiental. Caracteriza-se como um processo de gestão que tem como principal objetivo garantir a qualidade ambiental dos empreendimentos submetidos à certificação de sustentabilidade.

A certificação está estruturada em dois mecanismos, o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), que se refere à avaliação do sistema de gestão ambiental adotado pelo empreendedor, e a Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), que avalia os desempenhos arquitetônico e técnico da construção.

O SGE é o instrumento por meio do qual são estabelecidos os objetivos, o planejamento e o desempenho requerido pelo empreendedor, além do processo e dos métodos para obtenção da certificação. Já a QAE permite avaliar o atendimento aos requisitos técnicos da edificação, com base nas 14 categorias existentes no AQUA-HQE™. Ambos os instrumentos são auditados durante o processo de desenvolvimento do empreendimento, a fim de evidenciar e avaliar a satisfação dos referenciais de certificação.

2.5.1.1 Aplicação

Atualmente o AQUA-HQE™ se aplica a diferentes tipos de empreendimentos, que são segregados por fase: Edifícios em Construção e Em Operação, conforme classificação da Tabela 14, sendo que existe um referencial técnico específico de Edifícios em Construção para o setor Residencial e outro para as demais edificações. Há um referencial específico para Bairros e Loteamentos e para

Edifícios em Fase de Operação, além de referenciais para avaliação do uso sustentável, da gestão sustentável e do edifício propriamente dito.

Tabela 14 – Lista dos tipos de avaliação para cada tipo de uso e fase

Tipo	Aplicação
Edifícios em Construção	Aplicável a qualquer tipo de edifícios em construção,
Edifícios em Operação	Aplicável para qualquer edifício já construído
Bairros e Loteamentos	Aplicável a bairros e loteamentos em escala urbana

Fonte: <http://vanzolini.org.br/aqua/categoria-documentos/informacoes-gerais/>

2.5.1.2 Categorias

A certificação baseia-se na avaliação de 14 categorias agrupadas em quatro famílias ou temas, de acordo com a Tabela 15, e abrange todas as fases de desenvolvimento de um empreendimento: Pré-projeto, Projeto e Execução.

Tabela 15 – Lista das 14 categorias agrupadas por Tema

Edifício e seu entorno	Energia	Conforto higrotérmico	Qualidade dos espaços
Produtos, sistemas e processos construtivos	Água	Conforto acústico	Qualidade do ar
Canteiro de obras	Manutenção	Conforto visual	Qualidade da água
Resíduos		Conforto olfativo	

Fonte: Adaptação do autor do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção – Fundação Vanzolini (abril/2016)

2.5.1.3 Método de Avaliação

A certificação divide-se em três fases: (i) Pré-projeto, (ii) Projeto e (iii) Execução. A fase Pré-projeto refere-se à elaboração do programa de necessidades destinado aos projetistas para a concepção arquitetônica e técnica do empreendimento. Na fase de Projeto, são desenvolvidos os projetos arquitetônicos e técnicos, com base no

programa desenvolvido na fase anterior. A Execução é a fase na qual, efetivamente, o empreendimento é executado e entregue.

O método de avaliação inicia-se pelo atendimento aos critérios técnicos de cada uma das 14 categorias existentes. O requisito mínimo para obtenção da certificação é atender ao menos 7 no requisito Base, 4 Boas Práticas e 3 Melhores Práticas, o que caracteriza atendimento ao nível Base em todas as categorias, conforme descrito na Tabela 16.

Tabela 16 – Tabela do nível de atendimento por categorias

NÍVEL	Critério
BASE (B)	Para atingir o Nível <i>BASE (B)</i> em uma categoria, o projeto deve atender as exigências de todos os pré-requisitos da categoria. Para ser certificado, um projeto deve atender, no mínimo, aos pré-requisitos (<i>NÍVEL BASE</i>) de 07 categorias + 04 Boas Práticas e + 03 Melhores Práticas.
BOAS PRÁTICAS (BP)	Para atingir respectivamente os níveis BOAS PRÁTICAS e MELHORES PRÁTICAS, é necessário alcançar uma porcentagem de pontos em relação ao conjunto dos pontos aplicáveis à categoria. A porcentagem de pontos a alcançar no nível MP é mais alta do que no nível BP
MELHORES PRÁTICAS (MP)	

Fonte: Adaptação do autor do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção – Fundação Vanzolini (abril/2016)

O Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção, versão do mês de abril de 2016 da Fundação Vanzolini, explicita quais critérios são obrigatórios para o atendimento dos pré-requisitos, identificados pela letra B na coluna Nível. Para alcançar os níveis superiores, como o BP ou MP, é necessário que, além do B (Base), o empreendedor atenda critérios complementares que estão explicitados e possuem um número identificado na coluna Nível, que varia em função da complexidade e relevância do atendimento. A soma de todos os números da categoria indicará se o valor alcançado foi suficiente para obter uma avaliação superior a B ou a BP. Ao final de cada categoria, o referencial descreve a quantidade de pontos mínimos para cada um dos níveis.

O processo de avaliação do AQUA-HQE™ contempla ainda uma avaliação do nível alcançado por tema. Esse cálculo estabelece uma escala de 1 a 5 estrelas, atribuída em função do nível de atendimento em cada uma das categorias, conforme ilustrado na Tabela 17.

Tabela 17 – Cálculo do nível alcançado por Tema

TEMAS	*	**	***	****	*****
Energia e Economias Categorias: 4, 5 e 7	3B	1 BP	1 MP + 1 BP	2 MP	2 MP + 1 BP
Conforto Categorias: 8, 9, 10 e 11	4B	2 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP	3 MP + 1 BP
Saúde e segurança Categorias: 12, 13 e 14	3B	1 BP	1 MP + 1 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP
Meio ambiente Categorias: 1, 2, 3 e 6	4B	2 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP	3 MP + 1 B

Fonte: Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção – Fundação Vanzolini (abril/2016)

A certificação AQUA-HQE™ atribui um nível global de atendimento ao empreendimento, que é baseado na composição da avaliação das categorias, combinada com a avaliação do agrupamento dos temas. Há cinco classificações possíveis, conforme se observa na coluna “Nível Global” da Tabela 18. O Nível HQE *Pass* é o nível mínimo, e o *Exceptional*, o máximo.

Tabela 18 – Cálculo do nível global do empreendimento

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
HQE PASS	14 categorias em B e 4 estrelas
HQE GOOD	Entre 5 e 8 estrelas
HQE VERY GOOD	Entre 9 e 12 estrelas
HQE EXCELLENT	Entre 13 e 15 estrelas
HQE EXCEPTIONAL	16 estrelas ou mais

Fonte: Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção – Fundação Vanzolini (abril/2016)

2.5.1.4 O Processo de Certificação

O processo de certificação está dividido em três etapas, Pré-Projeto, Projeto e Execução. Na fase de Pré-Projeto o empreendedor juntamente com um consultor acreditado desenvolve a análise do perfil nas 14 categorias do QAE e definição do Sistema de Gestão do Empreendimento, que será utilizado para controle em todas as fases do projeto. São realizadas auditorias e emitidos certificados ao final de cada uma das fases. As auditorias tem a finalidade de evidenciar e avaliar o atendimento as exigências do referencial do Sistema de Gestão do Empreendimento e o atendimento da Qualidade Ambiental do Edifício. Não havendo desvios o processo é concluído com a emissão do certificado.

2.5.2 A Certificação BREEAM

O *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM), ou Método de Avaliação Ambiental do Instituto de Pesquisa de Edifícios, é uma das certificações mais antigas, tendo iniciado suas atividades em 1991 no Reino Unido e, atualmente, tem forte atuação na Europa.

O BREEAM se baseia em medidas de desempenho referenciais, chamadas de *technical standards* para avaliação do projeto em todo seu ciclo de vida.

2.5.2.1 Aplicação

O BREEAM é aplicável a todo tipo de empreendimento: residências, edificações comerciais, bairros, infraestrutura, escritórios, *datacenters*, industriais, entre outros, e está subdividido em cinco modalidades principais, descritas na Tabela 19.

Tabela 19 – Lista dos tipos de avaliação para cada tipo de uso e fase

Tipo	Aplicação
<i>Communities</i>	Para projetos de escala urbana
<i>Infrastructure</i>	Para projetos de infraestrutura (em versão Beta)
<i>New Construction</i>	Para novas edificações de uso doméstico e comerciais
<i>In Use</i>	Para edifícios comerciais existentes em operação
<i>Refurbishment</i>	Para edifícios residenciais e comerciais

<i>International</i>	Aplicado em edifícios residenciais ou comerciais internacionalmente, contemplando normas locais
----------------------	---

Fonte : <http://www.breeam.com/technical-standards>

A modalidade mais difundida é a *New Construction*, que abrange novas construções comerciais e residenciais segregadas em nove categorias com diferentes pesos.

2.5.2.2 Categorias

A certificação baseia-se na avaliação de dez categorias, cada qual possuidora de diversos critérios, que são denominados créditos. Na Tabela 20 observa-se a lista das dez categorias da certificação BREEAM.

Tabela 20 – Lista das dez categorias do BREEAM

Transporte	Energia	Gerenciamento	Saúde e bem-estar
Materiais	Água	Inovação	Resíduos
Poluição	Uso da terra e ecologia		

Fonte: *BREEAM International New Construction 2016 – Technical Manual – SD233 1.0*

2.5.2.3 Método de Avaliação

Durante o processo de avaliação, cada categoria é subdividida em uma série de questões, parâmetros, objetivos e metas. Quando um objetivo é atingido, os créditos são concedidos.

Para projetos que não se adequam as normas técnicas (*technical standards*) existentes de avaliação, o BREEAM oferece um serviço chamado *bespoke*, que foi desenvolvido para ser adaptável às necessidades e particularidades do projeto, por meio do desenvolvimento de critérios específicos de avaliação no início do processo de certificação, após submissão do empreendedor a um formulário de aplicação.

O nível de desempenho da certificação BREEAM é determinado pelo número total de créditos alcançados, as avaliações possíveis, que variam entre “Passa” e “Excepcional”, conforme ilustrado na Tabela 21. Essas avaliações se refletem em uma série de estrelas impressas no certificado.

Tabela 21 – Avaliações da Certificação BREEAM

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
Passa (<i>Pass</i>)	30% dos critérios atendidos
Bom (<i>Good</i>)	45% dos critérios atendidos
Muito Bom (<i>Very Good</i>)	55% dos critérios atendidos
Excelente (<i>Excellent</i>)	70% dos critérios atendidos
Excepcional (<i>Outstanding</i>)	85% dos critérios atendidos

Fonte : <http://www.breeam.com/certification-training>

O certificado final só é fornecido após visita de um avaliador BREEAM à obra concluída, a fim de comprovar o atendimento e a implementação das práticas sustentáveis estabelecidas durante a fase de concepção e projeto.

2.5.2.4 O Processo de Certificação

O processo de certificação tem início com a escolha da norma técnica aplicável ao tipo de projeto a ser certificado juntamente com um consultor habilitado. Após a escolha, deve-se realizar uma pré-avaliação do empreendimento com base nos critérios definidos no padrão técnico. Com o acompanhamento do consultor, são geradas as evidências dos atendimentos aos critérios estabelecidos. Durante a fase de projeto, pode ser emitido um certificado temporário; após a conclusão da obra, validação e comprovação do atendimento, emite-se o certificado final.

Na seção de energia, o BREEAM enfatiza a otimização do consumo abrangendo itens como energia renovável, iluminação externa e soluções mais eficientes para

elevadores. Ainda nessa seção, a orientação, a envoltória e a forma da edificação são itens que devem ser desenvolvidos antes do projeto e especificação de equipamentos de climatização.

2.5.3 A Certificação DGNB

O Selo *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DGNB), ou Sociedade Alemã de Construção Sustentável, desenvolvido em parceria com o Ministério dos Transportes, Edificações e Assuntos Urbanos da Alemanha, é um dos selos criados com a missão de introduzir uma visão mais abrangente da edificação, incorporando critérios relacionados a todo o ciclo de vida do empreendimento.

O conceito da Certificação DGNB é baseado pelo conceito de Esquemas. Cada uso e tipo de edificação possui um esquema próprio. Há certificados para escritórios, edifícios administrativos, atacado, montadoras, saúde, indústrias, hotéis, residências, uso misto e educacional. Se um determinado tipo de edificação não for aderente a nenhum esquema existente, um comitê avaliará a possibilidade de desenvolvimento de um novo esquema.

2.5.3.1 Aplicação

A Certificação DGNB é aplicável a qualquer tipo de edifício, conforme descrito na Tabela 22. Uma edificação com até três anos de construção pode ser submetida à certificação, e existe ainda a possibilidade de certificar edifícios que foram modernizados.

Tabela 22 – Lista da aplicação do DGNB

Tipo	Aplicação
<i>National and International</i>	Aplicação flexível para projetos internacionais
<i>Public and private</i>	Para projetos em parceria público-privada
<i>Urban districts and buildings</i>	Para projetos de escala urbana
<i>New and existing buildings</i>	Para edifícios comerciais existentes em operação
<i>Individual, building ensemble and serial certification</i>	Aplicação de certificação de múltiplos edifícios semelhantes

Fonte: <http://www.dgnb-system.de/en>

2.5.3.2 Categorias

O sistema de avaliação do DGNB está dividido em seis categorias, descritas abaixo, com 50 critérios distribuídos entre eles. (Tabela 23)

- Ambiental: Uso racional dos recursos, com peso de 22,5% de toda a avaliação.
- Econômica: Análise completa do custo do ciclo de vida, com peso de 22,5% de toda a avaliação.
- Sociocultural e Funcional: Foco no conforto do usuário, com peso de 22,5% de toda a avaliação.
- Técnica: Foco na melhora da funcionalidade, com peso de 22,5% de toda a avaliação.
- Processo: Ênfase no processo de desenvolvimento de projeto integrado, com um peso de 10% de toda a avaliação.
- Implantação: Foco no impacto da proposta em relação à localidade do empreendimento ao contexto local avaliado.

Tabela 23 – Lista das seis categorias do DGNB

Ambiental	Econômica	Sociocultural e Funcional	Técnica
Processo	Implantação		

Fonte : <http://www.dgnb-system.de/en/system/criteria/core14/>

2.5.3.3 Método de Avaliação

O DGNB define quatro níveis de certificação: Bronze, Prata, Ouro e Platina atribuídos em função da avaliação do desempenho alcançado individualmente por cada uma das categorias, e do total alcançado pelo conjunto de critérios avaliados. Tabela 24.

Tabela 24 – Avaliações da certificação DGNB

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
Bronze	35% dos critérios totais atendidos
Silver	50% dos critérios totais atendidos e 35% dos critérios atendidos em cada um dos grupos
Gold	65% dos critérios totais atendidos e 50% dos critérios atendidos em cada um dos grupos
Platinum	80% dos critérios totais atendidos e 65% dos critérios atendidos em cada um dos grupos

Fonte : http://www.dgnb-system.de/en/system/evaluation_and_awards/

2.5.3.4 O Processo de Certificação

O processo de certificação inicia-se com a contratação de um consultor, que desenvolverá o *Project Certification Query* (PCQ) e o encaminhará à DGNB. Feita a avaliação, formalizam-se contratos entre o cliente e o consultor e o cliente e a DGNB, que são totalmente independentes. O protocolo do projeto no portal da DGNB é feito *online* pelo consultor. Posteriormente, a DGNB avaliará se há necessidade de adaptação do Esquema em função de características específicas ou se um esquema existente poderá ser utilizado. Após submissão do projeto com evidências de atendimento validadas pelo consultor, realiza-se uma verificação de conformidade pelo DGNB, que emitirá o pré-certificado e o certificado, que seguem o mesmo processo.

2.5.4 A Certificação LEED

O *Leadership in Energy and Environmental Design*, ou simplesmente LEED, é um selo de certificação ambiental americano da *Green Building Council*, com maior expressividade no mundo em número de edificações certificadas e em processo de certificação.

Os projetos submetidos a uma certificação LEED são analisados em oito tópicos, sendo que, em todos eles, existem práticas obrigatórias, também conhecidas como pré-requisitos, e as recomendações ou créditos.

2.5.4.1 Aplicação

O selo divide-se em cinco tipologias de uso, conforme se observa na Tabela 25.

Tabela 25 – Lista das categorias LEED

Tipo	Fase	Aplicação
LEED BD+C	Projeto e Construção	Novas Construções ou Grandes Reformas, Envoltória e Núcleo Central, Escolas, Lojas de Varejo, data Centers, Galpões e Centros de Distribuição, Hospedagem, Unidades de Saúde
LEED ID+C	Projeto e Construção	Projetos de Escritórios, Interiores Comerciais, Hospedagem, Lojas de Varejo
LEED O+M	Operações e Manutenção	Edifícios comerciais, Lojas de Varejo, Escolas, Hospedagem, Data Centers, Galpões e Centros de Distribuição
LEED ND	Planejamento, Projeto, até 75% construído	Desenvolvimento de projetos com escala de Bairros
LEED for Homes	Projeto e Construção	Residências e 75 edifícios multifamiliares baixos

Fonte : <http://www.gbcbrazil.org.br/tipologia-leed.php>

2.5.4.2 Categorias

A Certificação LEED se baseia na avaliação de oito dimensões possíveis, conforme ilustrado na Tabela 26.

Tabela 26 – Lista das categorias LEED

Localização e Transporte	Espaço Sustentável	Eficiência do uso da água	Energia e Atmosfera
Materiais e Recursos	Qualidade Ambiental Interna	Inovação e Processos	Créditos de Prioridade Regional

Fonte : <http://www.gbcbrazil.org.br/tipologia-leed.php>

- **Localização e Transporte:** Incentiva o desenvolvimento de bairros planejados com modais de transportes eficientes, criação e desenvolvimento de espaços abertos
- **Espaço Sustentável:** voltado para práticas que minimizam o impacto ao ecossistema durante a fase de implantação do empreendimento, com critérios de análise abrangentes a grandes centros urbanos, como a redução do uso de carros e redução de ilhas de calor.
- **Eficiência do uso da água:** incentiva práticas e soluções para a redução do consumo de água potável, alternativas eficientes para o tratamento e reaproveitamento dos recursos.
- **Energia e Atmosfera:** incentiva a adoção de soluções que privilegiem a otimização e eficiência energética por meio de estratégias como simulações, medições independente, adoção de equipamentos e sistemas eficientes.
- **Materiais e Recursos:** têm foco na adoção de materiais de baixo impacto ambiental que privilegiem a possibilidade de reuso e reciclagem, que sejam regionais, reduzindo o CO², que possam movimentar a economia local e que ainda possam ser reaproveitados, reduzindo o volume de resíduos.
- **Qualidade ambiental interna:** tem como principal foco a preocupação com a qualidade interna do ar em ambientes com permanência de grande volume de pessoas e de tempo, encorajando a adoção de práticas de controle dos sistemas adotados, conforto térmico, entrada de luz natural e conforto visual.
- **Inovação e Processos:** promovem a busca por soluções de projeto inovadoras não descritas ou especificadas que possam beneficiar quaisquer um dos pilares de sustentabilidade.
- **Créditos de Prioridade Regional:** incentivam os créditos definidos como prioridade regional em função das particularidades de cada país, conforme as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes.

2.5.4.3 *Método de Avaliação*

O nível da Certificação LEED é definido pelo número de pontos alcançados pela certificação, que varia de 40 (mínimo) a 110 (máximo) juntamente com o atendimento aos pré-requisitos, que são obrigatórios. Para obtenção do nível *Certified* (Certificado), todos os pré-requisitos devem ser atendidos; se, além dos pré-requisitos, o empreendimento alcançar pontos adicionais de recomendações (créditos), este poderá atingir níveis mais altos em função da quantidade de pontos obtidos, conforme se verifica na Tabela 27.

Tabela 27 – Avaliações da Certificação LEED

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
<i>Certified</i>	40-49 pontos
<i>Silver</i>	50-59 pontos
<i>Gold</i>	60-79 pontos
<i>Platinum</i>	80 + pontos

Fonte : <http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>

2.5.4.4 O Processo de Certificação

O processo de certificação inicia-se pela escolha da tipologia do projeto. Por meio de um portal *online*, o empreendedor deve registrar o projeto. Durante seu desenvolvimento, a documentação exigida com base nos *templates* padrão deverá ser submetida à análise no portal. Esses *templates* serão avaliados por uma equipe de auditoria, que poderá solicitar revisão ou, estando de acordo, certificar o empreendimento.

2.5.5 PROCEL Edifica

O PROCEL é um Programa de Conservação de Energia Elétrica desenvolvido pela Eletrobrás, empresa de capital aberta de economia mista com controle acionário do Governo Federal brasileiro, em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, Ministério das Cidades, universidades, centros de pesquisas tecnológicos e setor da construção civil.

Tem como principal objetivo promover o uso racional da energia elétrica e incentivar práticas para redução de recursos naturais em edificações, reduzindo o impacto ao meio ambiente por meio de diferentes áreas de atuação, tais como: Equipamentos, Edificações, Iluminação Pública, Poder Público, Indústria e Comércio, e Conhecimento.

Na área de Edificações, intensificou e priorizou estudos e o desenvolvimento de um programa de etiquetagem a edifícios públicos e, desde 2009, em parceria com o Inmetro, confere a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas.

2.5.5.1 Aplicação

O Procel Edifica é aplicável a qualquer tipo de habitação, conforme Tabela 28. No Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) são definidos o que o Procel avalia em cada tipo de edificação.

Tabela 28 – Lista das categorias PROCEL Edifica

Tipo	Fase	Aplicação
Unidade Habitacional Autônoma	Projeto e Edificação Construída	Edificações Residenciais Unifamiliar
Edificação Unifamiliar	Projeto e Edificação Construída	Edificações Residenciais Unifamiliar
Edificação Multifamiliar	Projeto e Edificação Construída	Edificações Residenciais Multifamiliar

Fonte : Cartilha PBE Edifica_R3, Eletrobrás, Rio de Janeiro (2013)

2.5.5.2 Categorias

Conforme ilustrado na Tabela 29, nas edificações residenciais multifamiliares são avaliadas a envoltória, os sistemas de aquecimento de água e os sistemas das áreas comuns (elevadores, bombas, iluminação, ventilação, etc.). Para unidades habitacionais autônomas, a avaliação de sistemas de áreas comuns não se aplica.

Tabela 29 – Lista das categorias avaliadas pelo PROCEL Edifica

Envoltória	Sistemas de Aquecimento de Água	Sistemas das Áreas Comuns
-------------------	--	----------------------------------

Fonte : Cartilha PBE Edifica_R3, Eletrobrás, Rio de Janeiro (2013)

2.5.5.3 Método de Avaliação

A etiquetagem de edificações reflete o nível de eficiência energética alcançada pela edificação nos três critérios avaliados tanto na fase de projeto como na de edificação construída. Esta etiqueta reflete o nível de atendimento dos requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, sendo (A) mais eficiente e (E) menos eficiente, (Tabela 30).

A avaliação das edificações multifamiliares é realizada a partir de uma regra de ponderação das ENCESs de todas as unidades habitacionais que a compõem.

Tabela 30 – Avaliações da ENCE Procel Edifica

E	Pontuação < 1,5
D	Pontuação $1,5 \leq PT < 2,5$
C	Pontuação $2,5 \leq PT < 3,5$
B	Pontuação $3,5 \leq PT < 4,5$
A	Pontuação $\geq 4,5$

Fonte : Cartilha PBE Edifica_R3, Eletrobrás, Rio de Janeiro (2013)

O referencial de análise Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) conta com pré-requisitos básicos a serem atendidos e bonificações, atribuídas em função da adoção de estratégias mais eficientes.

2.5.5.4 O Processo de Certificação

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtida por meio da avaliação da edificação por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro, com base nos regulamentos técnicos RTQ-R.

O processo de etiquetagem inicia-se com uma solicitação de avaliação de projeto ao OIA, acompanhado dos projetos, memoriais e demais documentos exigidos. O OIA realizará a inspeção ou análise de projeto, utilizando-se de método prescritivo ou simulação termoenergética. Ao final, será emitida a ENCE de projeto com o respectivo nível de eficiência alcançado pela edificação.

Após a conclusão da construção, o OIA realizará a inspeção *in loco* para verificação do atendimento aos critérios definidos em projeto, emitindo a ENCE da edificação com o respectivo relatório da inspeção.

2.5.6 A Certificação Casa Azul

Trata-se de um instrumento que classifica social e ambientalmente projetos de empreendimentos habitacionais que adotem soluções eficientes nas fases de construção, uso e ocupação e manutenção. É o primeiro sistema de classificação de construções sustentáveis do Brasil. Foi desenvolvido em 2010 pela Caixa Econômica Federal como forma de incentivo ao desenvolvimento sustentável, por meio de uma metodologia de classificação socioambiental aplicada unicamente aos projetos de empreendimentos habitacionais, por meio do reconhecimento de propostas que apresentem soluções eficientes para as fases de construção, uso, ocupação e manutenção das edificações, que promovam aumento da qualidade da habitação e o uso racional de recursos naturais.

2.5.6.1 Aplicação

A adesão à certificação do empreendimento para obtenção do selo é voluntária e se aplica a todos os projetos de empreendimentos habitacionais apresentados à Caixa Econômica Federal para financiamento, conforme Tabela 31.

Tabela 31 – Aplicabilidade do Selo Casa Azul

Tipo	Fase	Aplicação
Edificações Habitacionais	Projeto	Submetidos às linhas de financiamento ou repasse

Fonte: Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável (2010)

2.5.6.2 Categorias

Os projetos submetidos ao Selo Casa Azul são avaliados conforme as seis categorias descritas na Tabela 32, englobando, ao todo, 53 critérios.

Tabela 32 – Lista das categorias do Selo Casa Azul

Qualidade Urbana	Projeto e Conforto	Eficiência Energética	Gestão de Água
Conservação dos Recursos Materiais	Práticas Sociais		

Fonte: Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável (2010)

2.5.6.3 Método de Avaliação

O sistema classifica os empreendimentos em três níveis: Bronze, Prata e Ouro, conforme Tabela 33, sendo que a categoria Bronze se aplica somente às Habitações de Interesse Social (HIS) e unidades habitacionais com valor de até R\$ 130.000,00, construídas em cidades com população igual ou superior a um milhão de habitantes, até R\$ 100.000,00 para unidades localizadas em municípios com população igual ou inferior a 250 mil habitantes, e R\$ 80.000,00 para os demais municípios. Para a categoria Bronze, devem ser atendidos, no mínimo, 19 critérios obrigatórios. Para a categoria Prata, os 19 critérios obrigatórios e mais seis critérios de livre escolha, e para a categoria Ouro, 19 critérios obrigatórios e 12 critérios de livre escolha.

Tabela 33 – Níveis de gradação do Selo Casa Azul

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
Bronze	Critérios obrigatórios
Prata	Critérios obrigatórios e mais seis critérios de livre escolha
Ouro	Critérios obrigatórios e mais 12 critérios de livre escolha

Fonte: Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável (2010)

2.5.6.4 O Processo de Certificação

A concessão do selo se dá após verificação do atendimento aos critérios estabelecidos durante a fase de viabilidade técnica do empreendimento. Após análise e aprovação, a Caixa informará a gradação alcançada pelo projeto.

2.5.7 Considerações acerca das certificações ambientais e comparação do AQUA-HQE™ e a ABNT NBR 15575

Na Certificação AQUA-HQE™, há 4 categorias que influenciam diretamente no conforto térmico. Embora esteja inserida na Categoria Energia, a melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia, é um dos critérios que indiretamente afeta o conforto térmico. O atendimento aos Níveis A ou B nos equivalentes numéricos da envoltória (RTQ-R) e a pontuação extra em função da justificativa da concepção bioclimática para envoltória, orientação, aportes solares e ventilação cruzada, também contribuem indiretamente para o conforto térmico da edificação.

Na Categoria Conforto Higrotérmico destacam-se a exigência de adoção de medidas de proteção ótimas quanto ao sol e ao calor, aproveitamento do potencial bioclimatológico aplicado à arquitetura e incentivo da realização de estudo aerodinâmico para identificação de melhores soluções, por meio de simulação computacional. Demonstrando adaptabilidade às características brasileiras, a Certificação AQUA-HQE™ referencia a ABNT NBR 15575 para atendimento das condições de verão e inverno, e fornece pontos adicionais em função do atendimento igual ou superior a 80% de horas ocupadas em conforto, tanto para o

verão quanto para o inverno, comprovadas por meio de simulação computacional, com base no RTQ-R publicado pelo Inmetro.

Na Categoria Conforto Visual – Iluminação Natural, a certificação exige a disposição de um índice de abertura superior ou igual a 15% em pelo menos um cômodo de maior permanência em cada unidade da residência, e fornece pontos adicionais para o atendimento ao percentual de FLD (Fator de Luz do Dia) nas áreas de maior permanência.

Na Categoria Qualidade do Ar – Ventilação, a descrição do princípio de ventilação é item obrigatório e há concessão de pontos extras para a previsão de aberturas para o exterior nas diferentes fachadas para 80% das residências. Também há pontuação extra para o escoamento de ar entre as aberturas localizadas em, pelo menos, duas diferentes fachadas, permitindo o fluxo de ar. No caso de áreas mínimas das aberturas, para garantir a ventilação, o atendimento mínimo da ABNT NBR 15575 é exigência obrigatória.

A Certificação BREEAM estabelece, na Categoria *Indoor Air Quality*, um ponto para atendimento ao critério de ventilação natural com área de abertura de, no mínimo 5% da área de piso, ou por meio da demonstração de estratégia em projeto que favoreça a ventilação cruzada.

Na Categoria *Thermal Comfort*, o BREEAM estabelece um crédito para a modelagem térmica utilizando como base o *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), de acordo com a ISO 7730:2005. Ainda na Categoria de Conforto Térmico, o BREEAM fornece um ponto adicional para a adaptabilidade às mudanças climáticas projetadas e um ponto para controle da zona térmica.

O DGNB avalia o conforto térmico com base no critério de temperatura operativa para resfriamento e para aquecimento, juntamente com a relação da umidade relativa e a temperatura radiante. A Categoria Conforto Térmico é uma das que representa maior peso, com 5% em relação à pontuação total.

Na Categoria Controle do Usuário, o DGNB referencia o controle do usuário ao conforto térmico e a qualidade do ar interior como fatores que contribuem para a

satisfação do usuário. Esta categoria atribui pontos para soluções que permitam o controle da ventilação, do sombreamento e da iluminação natural e artificial.

A Categoria Qualidade do Envelope do Edifício compreende a avaliação da transmitância térmica dos materiais constituintes da edificação e requer que sejam adotadas práticas para evitar e controlar as pontes térmicas. O selo destaca ainda a necessidade de troca de ar externo e a proteção solar como métodos para obtenção de alto nível de conforto térmico.

A Certificação LEED estabelece requisitos mínimos de configuração de abertura de ar externo por meio do procedimento de ventilação natural da ASHRAE 62.1-2010, mas concede a opção de comprová-la por meio de norma local, desde que seja mais rigorosa.

Na Categoria Conforto Térmico, o LEED contempla a Norma ASHRAE 55-2010 para o envelope do edifício; entretanto, esta norma pode ser substituída por norma local equivalente. As condições de conforto devem considerar a ocupação humana.

O LEED determina o atendimento ao conforto térmico com base nos índices de satisfação (PMV) e insatisfação dos usuários (PPD).

O Procel Edifica, por meio do RTQ-R, referencia a comprovação de atendimento aos índices de propriedades térmicas dos materiais por meio do cálculo de transmitância térmica e capacidade térmica para coberturas e paredes na Categoria Envoltória.

Na Categoria Ventilação Natural, o RTQ-R estabelece como pré-requisito um percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação para os ambientes de permanência prolongada individualmente. Também determina como pré-requisito a ventilação cruzada para a unidade habitacional como um todo e, em caso de não ser considerada, a avaliação da Envoltória ficará limitada a atingir, no máximo, o nível C.

A iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser de, no mínimo, 12,5% da área útil.

O Selo Casa Azul, na Categoria Projeto e Conforto, estabelece como critério de avaliação das vedações a avaliação da transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes e coberturas. Referencia a necessidade de proporcionar ao

usuário melhores condições de conforto térmico, levando em consideração a zona bioclimática, o controle sobre a ventilação e a radiação solar.

Na Categoria Desempenho Térmico – Orientação ao Sol e Ventos, o Selo Casa Azul estabelece o atendimento às condições de conforto térmico por meio de estratégias de projeto, como a implantação e a arquitetura, levando em consideração a zona bioclimática e técnicas passivas de aproveitamento da geometria solar e aberturas projetadas para favorecer a entrada de ventos dominantes.

Todos os critérios acima podem ser comprovados por meio de projetos, uso de cartas solares, máscaras ou simulação computacional. Os critérios obrigatórios que influenciam no desempenho térmico da edificação são os mesmos estabelecidos na ABNT NBR 15220-2 para cálculo de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT).

Das certificações avaliadas, todas estabelecem requisitos de desempenho da envoltória, que influenciam diretamente no conforto térmico e na eficiência energética das edificações, mas algumas, como a Certificação AQUA-HQE™, destacam-se por referenciar em seus requisitos as normas e regulamentações locais e o Programa de Etiquetagem do Procel Edifica, que tem um enfoque muito grande na conservação de energia.

Excluindo os critérios indiretos que contribuem e favorecem a condição de conforto térmico de uma edificação, e analisando especificamente os critérios diretos, na certificação AQUA-HQE™, o percentual de critérios relacionados ao conforto térmico é maior que das demais certificações. Os critérios de conforto térmico da certificação AQUA-HQE™ é de 6,96% (Tabela 34) em relação ao total de critérios existente em todas as demais categorias da certificação.

Com base na análise dos critérios diretos de conforto térmico ilustrados na Tabela 34, requeridos por cada uma das certificações estudadas, é possível afirmar que o AQUA-HQE™ é a certificação que apresenta a maior quantidade de requisitos que influenciam no conforto térmico da edificação e a que, potencialmente demonstra maior capacidade de atendimento efetivo, em função do seu critério de avaliação, que exige minimamente para obtenção do certificado, que sejam atendidas sete

categorias com o nível Base, quatro com o Boas práticas e três com Ótimas Práticas.

Tabela 34 – Comparação dos requisitos de conforto térmico das certificações avaliadas

CERTIFICAÇÃO	Créditos	% dos créditos totais
AQUA-HQE™	230	
Conforto Higrotérmico		
Proteção ótima quanto ao sol e calor	B	
Empregar o potencial bioclimatológico aplicado à arquitetura	1	
Realização de estudo aerodinâmico para identificar melhores soluções por meio de simulação	2	
Favorecer boas condições de conforto higrotérmico no verão e no inverno	B	
Atender desempenho mínimo às condições de inverno da NBR 15575	B	
Percentual de horas ocupadas = $\geq 80\%$ de conforto no inverno, comprovados por simulação computacional (RTQ-R)	3	
Atender desempenho mínimo às condições de verão da NBR 15575	B	
Percentual de horas ocupadas = $\geq 80\%$ de conforto no inverno, comprovados por simulação computacional (RTQ-R)	3	
Equipar cada unidade com termo higrômetro	1	
Ventilação		
Descrever o princípio de ventilação	B	
Prever aberturas para o exterior nas diferentes fachadas para 80% das unidades	2	
As zonas bioclimáticas 1 a 8 devem possuir ventilação cruzada ou estratégias de diferencial de pressão	1	
Projeto de ventilação natural prevendo escoamento de ar de, pelo menos, duas diferentes fachadas	3	
Atender a ABNT NBR 15575-4 com relação à área mínima das aberturas nas áreas de maior permanência	B	
Total	16	6,96
BREEAM	149	
Saúde e Bem Estar		
Modelagem térmica	1	
Adaptabilidade a mudança climática	1	
Controle da zona térmica	1	
Qualidade Ar interior		
Ventilação natural	1	
Total	4	2,68
DGNB	40	
Qualidade Sociocultural e Funcional		
Conforto térmico – Temperatura operativa – Aquecimento e resfriamento/Temperatura radiante / Aquecimento / Umidade relativa – Aquecimento e resfriamento	1	
Qualidade do ar interior – Taxas de ventilação por ocupação	1	

Qualidade Técnica		
Qualidade do envelope do edifício – Transmitância térmica / Pontes térmicas, Troca de ar / Proteção térmica solar	1	
Total	3	2,01
LEED		
110		
Qualidade Ambiental Interna		
Desempenho mínimo da qualidade do ar interno	1	
Aumento de ventilação	1	
Conforto térmico – projeto	1	
Conforto térmico – verificação	1	
Total	4	3,64
Casa Azul		
53		
Projeto e Conforto		
Desempenho térmico – vedações	1	
Desempenho térmico – orientação ao sol e ventos	1	
Ventilação e iluminação natural de banheiros	1	
Total	3	5,66

Fonte: Desenvolvimento do autor

Em comparação ao AQUA-HQE™, pode-se afirmar que a ABNT NBR 15575 é o instrumento com a menor quantidade de critérios aplicáveis ao desempenho térmico de uma habitação.

O atendimento da norma por meio do método simplificado, que se resume ao estabelecimento de materiais com propriedades termofísicas, capazes de reduzir a temperatura interna em relação à externa, combinado a uma taxa mínima de abertura para ventilação natural, não garante condições de conforto ao usuário, sendo necessário analisar outros fatores tão importantes quanto a temperatura, para avaliação do desempenho térmico. Tais fatores estão presentes na Certificação AQUA-HQE™, como a aplicação e a comprovação de ventilação cruzada, a consideração da bioclimatologia e o emprego de técnicas passivas no desenvolvimento do projeto arquitetônico.

O AQUA-HQE™ estabelece critérios de capacidade térmica e transmitância térmica dos materiais constituintes de vedação e taxa mínima de abertura para ventilação natural, mas complementa as exigências de conforto térmico com critérios relacionados à ventilação cruzada e percentuais de conforto e insatisfação dos usuários, levando em consideração as cargas térmicas atuantes na edificação.

Avaliando os critérios indiretos de conforto térmico presentes na Certificação AQUA-HQE™ e não contemplados na ABNT NBR 15575, destaca-se o projeto integrado como prática recomendada para obtenção de melhores índices e melhores soluções de projeto.

Contrariamente ao conceito da ABNT NBR 15575 presente em outras categorias, a categoria de conforto térmico, analisada por meio do método simplificado, prescreve índices de propriedades de materiais e percentual de abertura para ventilação, ao invés de exigir desempenho. Por esse motivo, pode-se afirmar que uma edificação que comprove o atendimento aos requisitos de conforto térmico da Certificação AQUA-HQE™ terão maior probabilidade de garantir conforto ao usuário, se comparados a edificações que atendam à NBR 15575 apenas por meio do método simplificado.

3. PROJETO

A adequação do projeto às condições climáticas é tema de inúmeros estudos que transcendem a simples avaliação de utilização de técnicas passivas para o aumento do desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação. Morillón (1999) destaca que não se pode esperar que uma determinada tipologia de arquitetura seja imposta como modelo ótimo para todas as edificações em diferentes regiões. Arosztegui (1993) observa a necessidade de tomada de decisões nas etapas iniciais do projeto em relação às condições climáticas, a fim de atingir desempenho térmico, e que este está diretamente ligado ao gasto energético de uma edificação.

O sombreamento é uma das técnicas mais antigas de edificação. A proteção à exposição solar de áreas mais sensíveis e de maior permanência de uma edificação é um conceito milenar utilizado desde a pré-história, mas é comumente ignorada no desenvolvimento de projetos multifamiliares. Olgyay & Olgyay (1957) enfatizam que o sombreamento tem sido utilizado em diferentes culturas e expõem um método para cálculo da trajetória solar, objetivando a implantação de dispositivos de sombreamento, destacando que estes dispositivos podem ser eficientes e influenciar o consumo energético, desde que utilizados em um projeto bem desenvolvido.

Segundo um estudo dirigido por Miglievich (2008) *apud* Herrera (2013), os fatores que mais influenciam na eficiência energética das edificações são:

- 1) Deficiência nos códigos de obras
- 2) Inadequações de projeto
 - a. Orientação inadequada
 - b. Mal dimensionamento das aberturas
 - c. Especificações inadequadas de materiais (vedação, cobertura e aberturas)
 - d. Desconsideração de ventos dominantes e ausência de ventilação cruzada
- 3) Ausência de simulação energética na fase de projeto

- 4) Falta de integração entre os profissionais envolvidos
- 5) Dificuldades de financiamento
- 6) Utilização de equipamentos ineficientes
- 7) Má escolha de materiais construtivos na fase de ocupação
- 8) Pouco aproveitamento de energia renovável

Das inadequações pesquisadas por Miglievich (2008), observa-se que, das oito destacadas, cinco estão diretamente ligadas ao projeto, sendo que nelas se concentram as inadequações de maior relevância e influência no desempenho energético e térmico de uma edificação. Percebe-se ainda que as principais falhas apontadas pelo autor têm origem nas primeiras fases de desenvolvimento de projeto.

Os Códigos de Obras, também apontados no estudo, assim como algumas normas, são instrumentos regulatórios que foram desenvolvidos para estabelecer critérios mínimos e abrangentes, e têm como principal objetivo atender genericamente a diversos sistemas de uma edificação, não tendo a pretensão e nem o objetivo de atingir alto desempenho e qualidade da edificação.

O projeto de arquitetura em consonância com o clima traz redução de carga térmica para o interior da edificação, além de outros benefícios diretos aos usuários. Estratégias simples, como a adoção de cores claras em climas quentes, sombreamento em áreas transparentes, ventilação e iluminação natural, são algumas das técnicas utilizadas que contribuem para o aumento da qualidade dos edifícios. Porém, estes são apenas alguns dos componentes e variáveis que definem a qualidade, sendo necessária a investigação do processo de desenvolvimento do projeto como um todo, e não apenas o *design management*, como se este fosse o único responsável, capaz de solucionar todas as incompatibilidades e incongruências observadas nos projetos de habitação edificados em larga escala em todas as regiões do Brasil.

3.1 A Qualidade e o Processo de Projeto

Melhado e Oliveira (2013) entendem que os empreendimentos da construção civil devem atender aos objetivos estratégicos dos seus empreendedores e viabilizar a sobrevivência e o crescimento das organizações que deles participam. E complementam:

[...] o projeto pode ser utilizado como um instrumento na viabilização desses objetivos, por meio de seu potencial de influenciar e definir as características físicas do produto edificação, desempenhando, dessa forma, um papel de grande responsabilidade como racionalizador dos processos de construção e como instrumento de aumento da satisfação dos usuários finais. (MELHADO; OLIVEIRA, 2013)

As decisões quanto à forma, funcionalidade e métodos de construção são tomadas nas fases de concepção e desenvolvimento do projeto e, nelas, projetistas trabalham usualmente com um pequeno número de informações (MELHADO; OLIVEIRA, 2013). Esse número faz com que a variabilidade e as incertezas inerentes ao processo aumentem, e que a grande variedade de requisitos de desempenho e componentes envolvidos na construção também contribuam para a ampliação da complexidade, na medida em que, quanto mais complexo for o produto, mais complexo será o processo.

Em uma visão fundamentada na Gestão da qualidade, Melhado (1994) descreve que o projeto do edifício pode ser compreendido como um processo que, a partir de dados de entrada, deve apresentar soluções que respondam satisfatoriamente às necessidades dos clientes a quem o edifício se destina. Para tanto, tais necessidades devem ser traduzidas em parâmetros de entrada (programa), e os dados de saída (projetos) devem contemplar soluções para o produto e para sua produção.

Com base nesse conceito e investigando o processo com foco no desempenho térmico, de acordo com práticas adotadas no desenvolvimento de projetos, observa-se um aspecto que pode influenciar diretamente este requisito: a tradução dos parâmetros de entrada para formulação do programa, na concepção e no estudo preliminar do empreendimento. Na alegação de Melhado e Oliveira (2013), nota-se um típico cenário de desequilíbrio, que permite ao arquiteto intermediar e atender

tanto aos requisitos do empreendedor quanto às necessidades dos usuários. Essa relação mostra-se frágil pela dualidade de objetivos dos envolvidos quando os interesses são conflitantes, e na sua grande maioria, o são. É necessário investigar se essa dualidade da relação dominante do incorporador como “dono do negócio” e responsável pelo equilíbrio financeiro do empreendimento influencia na qualidade dos dados de entrada, limitando a possibilidade de intervenções e soluções de projeto, ou se há falha na qualidade e no processo de obtenção dos dados de entrada e formulação dos requisitos do programa.

Existem duas definições que se inter-relacionam na construção civil quando tratamos de Gestão de Projetos: o *Project Management* e o *Design Management*. Em linhas gerais, o *Project Management* é mais abrangente e refere-se à gestão de todo o ciclo de vida, desde a prospecção do terreno para incorporação, passando pelo estudo de viabilidade, aquisição, planejamento, orçamento, contratação de fornecedores, venda, *marketing*, execução, aprovações, entrega, operação e manutenção. Na construção civil, o *Design Management* está inserido dentro do *Project Management*, conforme ilustrado na Figura 21, com o escopo mais objetivo e restrito. Entretanto, o *Design Management* detém uma abrangência muito maior do que um simples subproduto do *Project Management*, pois é multidisciplinar, com interações e retroalimentações em todo o ciclo de vida de um projeto, com as principais áreas de conhecimento e partes interessadas.

Figura 21 – Relacionamento do *Design* com o *Project Design*



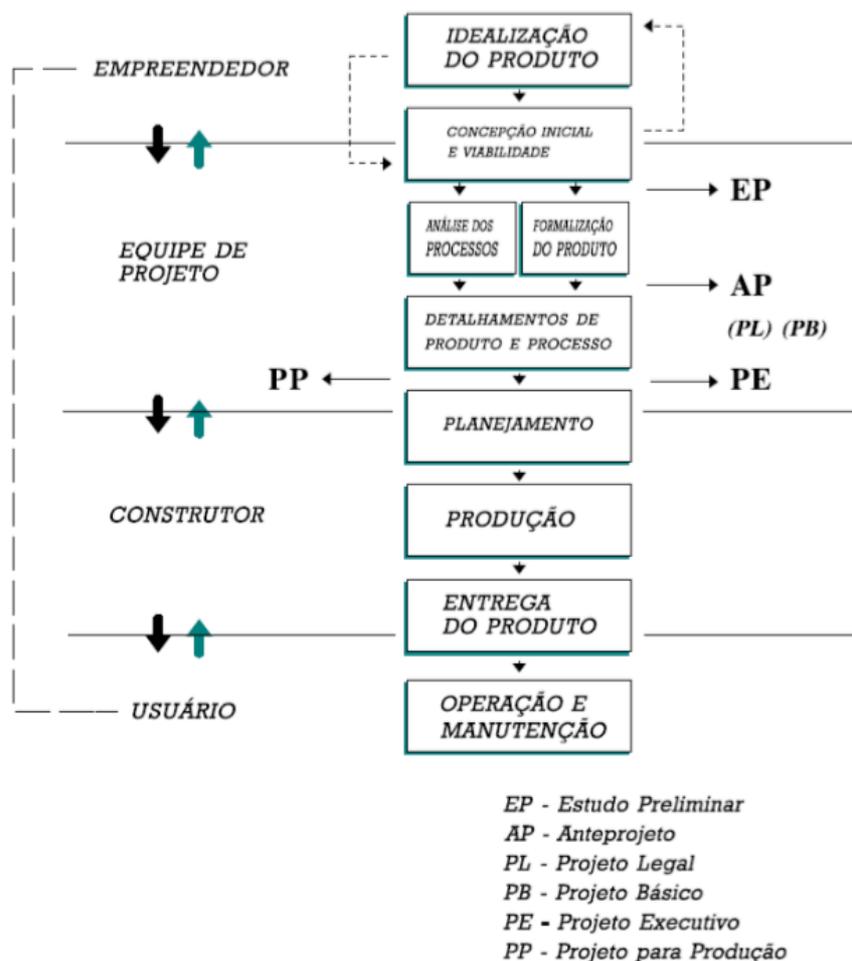
Fonte: A Importância da Gestão de Projetos nos Processos de Certificação Ambiental (MELHADO, 1994)

Segundo Melhado e Farssura (2014), o processo de desenvolvimento de projeto é desenvolvido em várias etapas e deve proporcionar a integração entre os diversos agentes envolvidos. De acordo com Bertezini (2006), o processo de projeto deve ser entendido de uma forma mais ampla, abordando, além das questões específicas de seu processo, as questões relacionadas aos demais processos do empreendimento.

Conforme ilustrado na Figura 22, Melhado (1994) subdivide e define o processo de projeto (*design*) nas seguintes etapas:

1. **Idealização do produto:** solução inicial para o atendimento do programa de necessidades e restrições iniciais.
2. **Análise de viabilidade:** avaliação da solução sob os aspectos de custo, tecnologia, adequação ao usuário e restrições legais correspondentes, em um processo iterativo, até que a solução definitiva seja encontrada e traduzida em um estudo preliminar, que será a base para o desenvolvimento do projeto.
3. **Formalização:** a solução é consolidada, originando o anteprojeto.
4. **Detalhamento:** elaborados em conjunto o detalhamento final do produto (Projeto Executivo) e os processos de execução (Projeto para Produção).
5. **Planejamento e execução:** planejamento das etapas de execução da obra.
6. **Entrega:** entrega do produto ao usuário, com disponibilização de assistência técnica da construtora no início, e fase na qual serão coletadas informações para a retroalimentação e melhoria contínua do processo.

Figura 22 – Modelo de etapas do processo de projeto



Fonte: Melhado (1994)

Na incorporação imobiliária, um típico cenário de desenvolvimento de projeto inicia-se na Idealização do Produto por uma área conhecida normalmente como Novos Negócios. Em alguns casos, essa área é totalmente dissociada da área de Engenharia e Coordenação de Projetos; em outras, é parte integrante. A área é ocupada, majoritariamente, por profissionais com competências administrativas e econômicas, cujo objetivo é possuir capacidade de avaliar rapidamente a viabilidade técnica e comercial de uma área em relação a um produto desejado. Dentre as principais atividades desenvolvidas, destacam-se a consulta à legislação e aos órgãos responsáveis pelo zoneamento, a capacidade de atendimento à demanda em relação às concessionárias de energia, água e esgoto, as análises de potencial construtivo, a pesquisa de mercado da região para definição inicial de porte, partido e padrão, os cálculos e simulações de valores médios de venda, e os cálculos de

viabilidade financeira, incluindo o valor limite a ser pago pelo(s) terreno(s) estudado(s).

A área de Novos Negócios trabalha em conjunto com um projetista de arquitetura, seja ele interno ou terceirizado, que desenvolve principalmente o estudo de massa e de implantação, para que a edificação pretendida esteja em conformidade com o zoneamento e com as demais legislações vigentes, e que atenda minimamente aos pré-requisitos técnicos de espacialidade e tipologia.

Havendo viabilidade, inicia-se a etapa de concepção do projeto. Nesta fase, ainda há pouca interação entre todos os envolvidos no desenvolvimento do projeto, e os projetistas de engenharia vão sendo inseridos conforme o avanço do desenvolvimento do projeto.

Em cada uma das fases definidas por Melhado (1994) no *Design Management*, existem produtos e subprodutos que retroalimentam o projeto, servindo como dados de entrada para o desenvolvimento das fases seguintes. Com base nessa definição, quando na ausência de processos de gestão definidos com foco na qualidade e atendimento aos requisitos do usuário, nota-se um potencial desequilíbrio na interface do *Project Management* e no *Design Management*, que não fornece um programa (dados de entrada) adequado e em consonância com os requisitos dos usuários e do empreendedor.

Quando avaliamos potenciais de melhoria em projetos já executados, todas as conclusões remetem a decisões que deveriam ter sido tomadas nas fases iniciais do desenvolvimento de projeto, e no desempenho térmico não é diferente. É sabido que o impacto nos custos e o prazo em alterações de projeto, é muito menor quando realizado nas fases iniciais de desenvolvimento de projeto, conforme ilustrado na Figura 23. No que tange ao atendimento ao conforto térmico, após a aquisição de um terreno com coeficiente de aproveitamento de construção definidos, em alguns casos, não há muito mais o que se fazer, resultando num projeto de baixo desempenho.

Figura 23 – Influência do custo de alterações de projeto em relação ao tempo



Fonte: Hammarlund & Josephson (1992) *apud* Melhado (1994)

3.2 Projeto Integrado de Empreendimentos IPD

A recorrência de atrasos na construção civil está se tornando um problema cultural e aceito na maioria dos casos e em diferentes esferas. É fato que a alta complexidade dos projetos, a alta taxa de interações e a pouca utilização de máquinas e automação, aliados a fatores imponderáveis, tornam o processo de desenvolvimento na construção civil um desafio que precisa ser melhor estudado e estruturado.

Segundo Manzione e Melhado (2007), muitas das falhas estão ligadas ao processo em si e ao planejamento do projeto, e a adoção de um modelo de projeto sequencial, lento e baseado em grandes lotes de troca de informação, é um dos fatores e deficiências no processo, que contribuem para a baixa qualidade e ineficácia na construção civil.

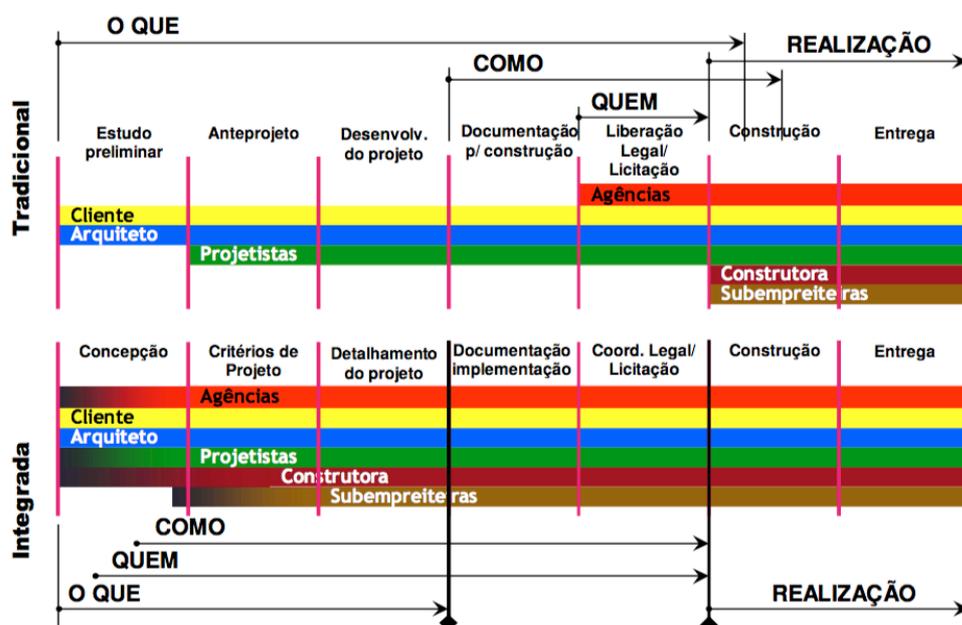
A prática típica de projeto caracteriza-se por um processo segmentado e pelo isolamento entre as disciplinas. Durante as primeiras etapas, as soluções são desenvolvidas apenas pelo contratante, enquanto a contratação dos demais projetistas costuma ocorrer apenas nas etapas finais, quando os principais conceitos já estão definidos e as possibilidades de alteração são muito restritas. Tais características, aliadas a uma profunda separação entre as etapas de projeto e construção, são apontadas como causadoras de muitas dificuldades para o

atendimento às demandas do empreendimento (MELHADO, 2001; FABRICIO, 2002 *apud* GITAHY e SILVA, 2012).

De acordo com a definição da AIA (2014) *apud* Santos (2015), *Integrated Project Delivery* (IPD) é um enfoque para o desenvolvimento de empreendimentos que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócio e práticas profissionais em um processo que, colaborativamente, aproveita os talentos e percepções de todos os participantes para otimizar resultados do empreendimento, aumentar o valor para o cliente, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as etapas do projeto, fabricação e construção.

A comparação entre o processo tradicional de desenvolvimento de projeto e o desenvolvimento integrado (IPD), demonstrado na Figura 24, ressalta como o modelo tradicional sequencial de desenvolvimento de projetos influencia diretamente na qualidade do produto final, já que o projeto é um processo multidisciplinar.

Figura 24 – Processo Tradicional x IPD

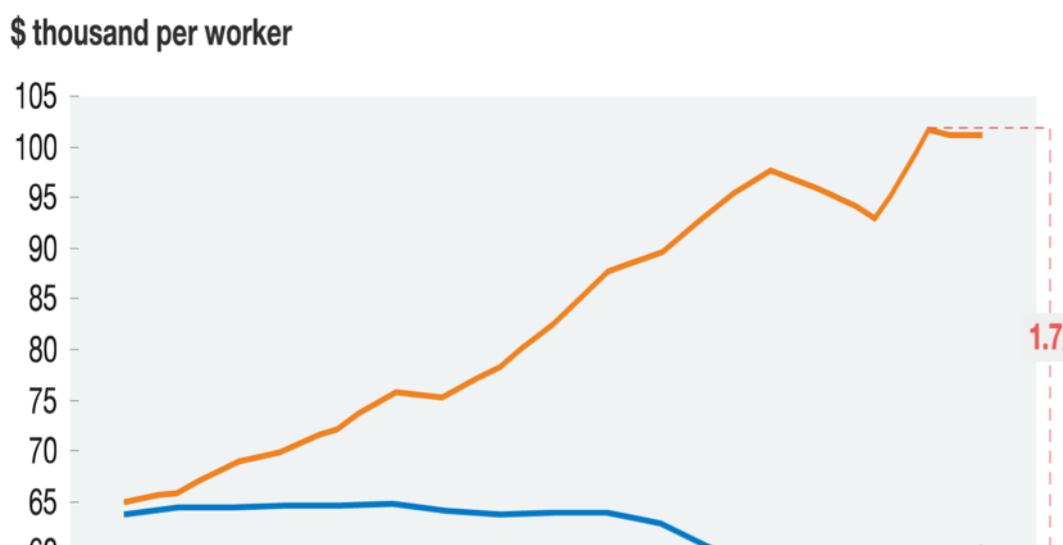


Fonte: Desenvolvimento Integrado de Empreendimentos – Eduardo Toledo Santos (2015)

Toledo (2015) afirma que a indústria seriada utiliza práticas de engenharia concorrente há muito tempo, com equipes multidisciplinares colaborando desde o início e em todas as facetas do ciclo de vida de um produto, a fim de garantir que

seu projeto incluía todas as características necessárias do mercado. Em um artigo divulgado pela empresa McKinsey & Company com base em entrevistas e estudos em diversos países foi registrado crescente aumento de produtividade nas atividades de manufatura *no ano de 1994 até 2010, enquanto no mesmo período, o setor da construção se manteve constante conforme gráfico da Figura 25.*

Figura 25 – Gráfico comparativo de Produtividade do Setor da Construção em relação à Manufatura



Fonte: MCKinsey & Company – The Construction productivity imperative
CHANGALI, MOHAMMAD e NIEUWLAND (2015)

A certificação de empreendimentos é conduzida por meio de auditorias realizadas por organismos certificadores credenciados (OCCs). Cada selo possui um processo distinto, como descrito no capítulo anterior, alguns com mais, outros com menos interações com os agentes de desenvolvimento de projeto. Em linhas gerais, os profissionais que representam as certificações iniciam suas atividades estabelecendo as metas e níveis de atendimento pretendidas pelo empreendimento, planejam as atividades a serem realizadas, acompanham o atendimento e auditam o processo durante o desenvolvimento projeto e execução do empreendimento. Quase que em sua totalidade, as certificações estabelecem como requisito o projeto participativo e integrado nas fases iniciais do desenvolvimento, e este, por si só, é um dos fatores que contribui diretamente para melhorar a qualidade do empreendimento.

Algumas certificações dedicam pontuações específicas para o processo de desenvolvimento do projeto e requerem que decisões sejam antecipadas, tais como a contratação de consultores especialistas e projetistas de engenharia, para que possam contribuir com soluções e melhorias nas fases iniciais do projeto, aumentando assim a qualidade do empreendimento, que no modelo sequencial se torna mais difícil.

Outra grande contribuição de algumas das certificações ambientais no processo de projeto refere-se à uma terceira parte interessada envolvida no processo, o OCC, que tem potencial indireto de direcionar e intermediar os conflitos de interesse entre os projetistas e os incorporadores durante a concepção do projeto.

3.3 A Influência do Processo de Projeto no Desempenho Térmico

O processo tradicional de desenvolvimento de projetos baseado nas certificações de qualidade elevaram o patamar de qualidade das empresas da construção civil, com a inserção de práticas e metodologias de verificação e controle; porém, muito aquém do que efetivamente poderiam ser. Independentemente das certificações ambientais ou de normas, ainda há um grande hiato e potencial de melhoria contínua nos processos das empresas da construção civil para que os empreendimentos possam ter mais qualidade.

O processo atual de desenvolvimento de projetos nas empresas da construção civil ainda possui falhas. A passagem de uma fase para outra na gestão de processos, independentemente do segmento, sempre foi crítica e objeto de atenção pela grande quantidade de falhas originadas, principalmente pela quantidade de interações e problemas oriundos da comunicação.

As fases iniciais do processo de desenvolvimento de projeto são determinantes na qualidade da condição térmica de um empreendimento, e precisam ser revistas pelos agentes com mais atenção. Existem falhas relacionadas à comunicação, ao conflito de interesses, à divergência na responsabilidade e nas atribuições dos agentes envolvidos. A adoção de práticas de Processo de Projeto Integrado e a inserção da Modelagem da Informação na Construção poderão reduzir os riscos, aumentando a qualidade dos empreendimentos.

Melhado *et al.* (2013) afirmam no livro “Construir Bairros Sustentáveis” que bons projetos, com soluções arquitetônicas que privilegiem a orientação solar, a iluminação e a ventilação natural, em muito já contribuem para a obtenção de uma edificação sustentável, sem falar que os itens mencionados não obrigatoriamente agregam custo ao empreendimento. Complementam afirmando que uma boa prática seria a adoção de referenciais normativos como guia, e as diretrizes presentes nesses referenciais devem ser utilizadas na definição do programa do empreendimento, na contratação dos projetistas e na avaliação das soluções de arquitetura e de engenharia incorporadas na fase de concepção do projeto.

Contudo, avalia-se que algumas certificações ambientais que privilegiam processos como o AQUA-HQE™, por exemplo, podem contribuir indiretamente para a melhoria do processo de desenvolvimento de projeto. Práticas de desenvolvimento de processo integrado para a antecipação da tomada de decisões e obtenção de respostas que habitualmente seriam dadas somente em fases avançadas deverão ser definidas nas fases iniciais de desenvolvimento do projeto. Integração com as demais áreas e verificação de itens como consumo de energia com ou sem ventilação artificial, por exemplo, podem contribuir para que seja possível avaliar o impacto da edificação antes do desenvolvimento completo do projeto e, com isso, garantir melhor qualidade aos usuários e menor impacto ao meio ambiente.

4. A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação é um instrumento que tem como principal objetivo avaliar o comportamento de um determinado sistema e sua relação com as condicionantes reais e/ou situações hipotéticas, a partir de um protótipo virtual ou parâmetros, seja para validar hipóteses e conceitos antes do início de sua efetiva produção ou para estudar o objeto concebido sem intervenções. É largamente utilizada em diferentes segmentos de produção em série de equipamentos industriais e em sistemas de média e alta complexidade, pela capacidade de propiciar análises reais de comportamento, se comparada ao alto custo do desenvolvimento de protótipos reais para análises e testes.

Desde sua formação, faz parte da vida do arquiteto simular, seja para avaliação ou representação da estética ou da função. A Arquitetura é conhecida como uma das profissões que mais exige competência de análise e representação, e os arquitetos sempre tiveram e desenvolveram, ao longo de sua profissão, técnicas e habilidades para avaliar suas concepções, a fim de representá-las graficamente para diferentes públicos. O desenvolvimento de maquetes físicas de terrenos e edificações para estudos de implantação, projeção de sombras, ventos e análise de entorno não deixam de ser um exercício de estudo e simulação, seja para auto avaliação e análise, ou para apresentação a terceiros.

O advento da computação gráfica trouxe aos arquitetos um grande ganho de produtividade no desenvolvimento de estudos e protótipos virtuais com alto grau de fidelidade e precisão, e muitos profissionais se apropriaram muito bem desses recursos. Todavia, a simulação computacional pode ser muito mais complexa do que isso, pois pode requerer uma grande quantidade de dados de entrada para que se possa simular corretamente um produto em relação ao meio em que será inserido.

Os *softwares* de apoio ao projeto, e não simplesmente suporte à desenho (CAD), trazem recursos de análises e simulações. Os modeladores tridimensionais que oferecem suporte à Modelagem de Informação da Construção (BIM) possuem inúmeros recursos para simular soluções de projeto e, normalmente, se integram com sistemas específicos de uma determinada finalidade.

4.1 Sistemas de Simulação Energética de Edificações

As primeiras ferramentas de simulação foram desenvolvidas nas décadas de sessenta e setenta, para estudo do desempenho energético da envoltória das edificações. Esses sistemas rapidamente ampliaram seus recursos, incorporando a possibilidade de análises de sistemas de iluminação, climatização, aquecimento e ventilação. Atualmente, além das funcionalidades descritas, incorporam estudos de transferência de calor e massa, acústica, sistemas de controle e a possibilidade de simulações de climas urbanos e microclimas.

Tratando especificamente da simulação e análise de desempenho térmico e energia das edificações, há uma série de *softwares* destinados à tal finalidade. Alguns estão integrados aos modeladores tridimensionais, outros fornecem recursos de leitura e importação de modelos desenvolvidos, e existem ainda os que são totalmente independentes.

Cada simulador tem um objetivo específico, mas, resumidamente, todos são aplicáveis a estudos de novos projetos e de reabilitações de edifícios existentes. Os principais objetivos dos simuladores são:

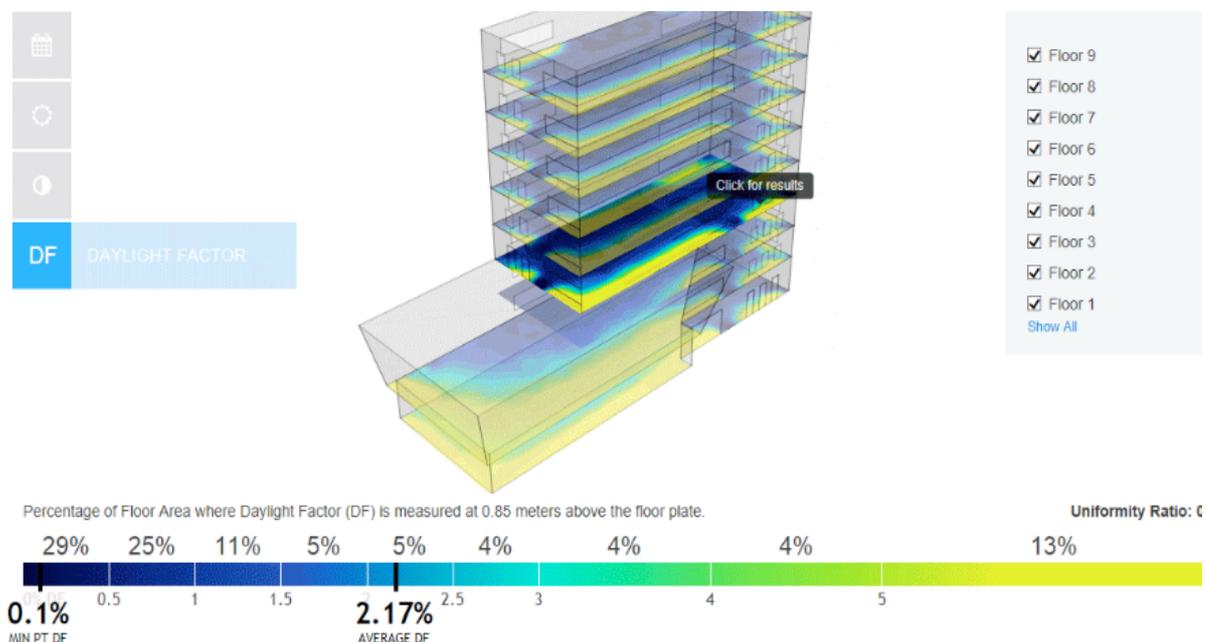
- Desenvolvimento de estudos de estratégias e técnicas de projeto ativas e passivas para melhoria da condição climática das edificações.
- Cálculo de cargas de resfriamento e ou aquecimento em Zonas Bioclimáticas, que necessitam de ambas.
- Cálculo e análise de desempenho energético para projetos e *retrofit* de edificações existentes.
- Simulação de consumo energético e auxílio no sistema de gerenciamento de energia e controle.
- Produção de relatórios de comportamento de consumo final de energia elétrica por períodos para desenvolvimento de estratégias de redução de consumo.

As ferramentas de simulação energética de edificações com interface gráfica específica mais difundidas que utilizam como base de cálculo o *software* Energyplus, são:

- gEnergy
- Simergy
- N++
- Design Builder
- Sefaira

Há inúmeros *softwares* de simulação energética, alguns mais simples, outros extremamente complexos, fornecendo análises de radiação, desempenho da envoltória, radiação solar, percentual de luz natural, conforme ilustrado na Figura 26, e consumo energético em tempo real para embasar o desenvolvimento de estudos de viabilidade e de concepção de projetos.

Figura 26 – Exemplo de análise de luz solar gerado por meio do *software* Sefaira

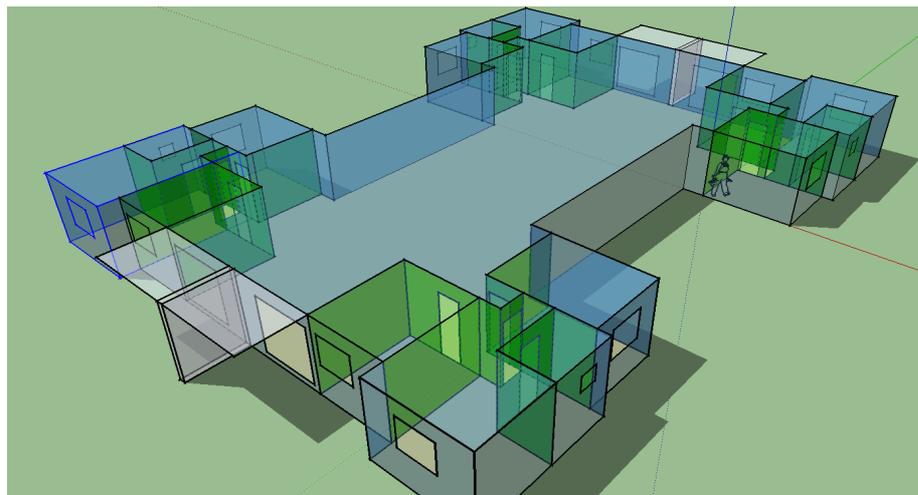


Fonte: <http://sefaira.com/sefaira-architecture/>

Os principais sistemas de simulação computacional para análise de desempenho térmico permitem que o usuário crie zonas térmicas, que são caracterizadas como “volumes virtuais”, representando as três dimensões de um ambiente de análise ou

um agrupamento de múltiplos ambientes a serem analisados. A definição das zonas térmicas depende do objetivo da simulação. Na Figura 27 foram criadas zonas térmicas para cada apartamento do pavimento objeto da simulação, e uma zona térmica única para o núcleo do pavimento. Os resultados fornecidos por esses sistemas são individualizados para cada zona térmica modelada.

Figura 27 – Exemplo de Zonas Térmicas



Fonte: Desenvolvimento do autor

Uma das capacidades intrínsecas de sistema de simulação computacional ambiental é que o mesmo permita a importação de arquivos climáticos de estações meteorológicas. Este arquivo é um banco de dados contendo os dados climáticos das 8.760 horas correspondentes ao ciclo de um ano inteiro, englobando as quatro estações do ano. Os principais dados fornecidos por esta base de dados são:

- Temperatura de Bulbo Seco
- Temperatura de Bulbo Úmido
- Temperatura de Ponto de Orvalho
- Umidade Relativa
- Velocidade do Vento

Por se tratar de um volume grande de informações, os *softwares* de simulação dispõem de funcionalidades de importação e recursos para selecionar dias

específicos, períodos ou faixas de temperatura. Os arquivos climáticos normalmente são arquivos em formato texto tabulado, contendo a lista dos dados históricos da localidade desejada. A Figura 28 ilustra a importação de um arquivo climático em um *software* de edição de planilhas, destacando os principais dados oriundos do arquivo climático, como a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) em cada uma das horas do dia, utilizada como referência para as simulações energéticas.

Figura 28 – Arquivo climático da cidade de São Paulo em formato CSV

Localização	Latitude {N+/S-}	Longitude {E+/W-}	Zona Horaria {+/- GMT}	Elevação {m}									
São Paulo	-23.62	-46.65	-3	802									
Mês	Dia	Hora	TBS {C}	TBU {C}	T. Pto Orvalho {C}	Pressao Atmosferica {kPa}	Umidade {kg/kg}	U. R. {%}	Densidade do ar {kg/m3}	Entalpia {BTU/LB}	Velocidad e do Vento {m/s}	Direção do Vento {graus}	
1	1	1	17.4	15.9	14.8	92.5	0.011758182	86	1.089	47.2	2	120	
1	1	2	17.4	15.9	14.8	92.5	0.011758182	86	1.089	47.2	2	160	
1	1	3	17.2	16.1	15.3	92.4	0.012099917	90	1.088	47.8	1	170	
1	1	4	17.2	16.2	15.4	92.3	0.012237255	91	1.086	48.2	0	0	
1	1	5	16.4	15.9	15.4	92.3	0.012199983	95	1.089	47.3	1	70	
1	1	6	16	15.6	15.1	92.3	0.012000972	96	1.091	46.4	8	50	
1	1	7	16.4	15.8	15.2	92.4	0.012064295	94	1.091	46.9	7	30	
1	1	8	16.8	16	15.3	92.4	0.012142869	93	1.089	47.5	5	30	
1	1	9	17.8	16.7	15.9	92.4	0.01259861	90	1.085	49.7	4	30	
1	1	10	19.5	17.5	16.2	92.4	0.012917128	83	1.078	52.3	5	50	
1	1	11	22.2	18.8	17.0	92.4	0.013529487	74	1.067	56.6	1	20	
1	1	12	25	19.6	16.9	92.4	0.013477196	62	1.057	59.3	2	30	
1	1	13	25.9	20	17.1	92.3	0.013690009	59	1.052	60.8	4	330	
1	1	14	27.7	20.5	17.1	92.2	0.013684828	53	1.045	62.6	2	340	
1	1	15	26.7	19.5	15.9	92.1	0.012682746	53	1.049	59.0	4	10	
1	1	16	22.3	19.2	17.5	92.1	0.01409119	76	1.062	58.1	8	70	
1	1	17	23.3	19	16.7	92.1	0.013397188	68	1.060	57.4	9	80	
1	1	18	21.1	19	17.8	92.0	0.014330179	83	1.065	57.5	4	130	
1	1	19	21	19.3	18.3	92.0	0.014790733	86	1.064	58.6	3	180	
1	1	20	20.8	19.6	18.8	92.0	0.01529861	90	1.064	59.6	2	120	
1	1	21	20.3	19.4	18.7	92.1	0.015206833	92	1.067	58.9	3	130	
1	1	22	20.4	19.5	18.8	92.1	0.015306406	92	1.067	59.2	3	90	
1	1	23	20	19.5	19.0	92.2	0.015456376	96	1.069	59.2	2	60	
1	1	24	20.1	19.5	18.9	92.2	0.015414518	95	1.069	59.2	3	70	
1	2	1	20	18.4	17.4	92.2	0.013934006	86	1.072	55.4	6	40	

Fonte: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)

O site do Energy Plus (<https://energyplus.net/weather>) fornece arquivos climáticos de diferentes localidades no mundo. O *website* do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, disponibiliza para os usuários um recurso para exportação de arquivos climáticos em diferentes extensões das principais regiões do Brasil.

Os sistemas de simulação energética são capazes ainda de suportar a inclusão das cargas térmicas de pessoas, iluminação de equipamentos e definir agendamento de atividades de ocupação.

4.2 EnergyPlus

A ferramenta de simulação energética EnergyPlus é a mais utilizada em todo o mundo, referenciada nas principais normas de análise térmica e concebido pelo Departamento de Energia Americano *US Department of Energy Building Technologies Office* a partir de duas ferramentas já existentes, o BLAST e o DOE-2, que, individualmente, eram capazes de simular edificações climatizadas ou não em diferentes condições climáticas, em um ano típico e em uma determinada localização geográfica. Atualmente, são capazes de simular o aquecimento, o resfriamento com base em diferentes sistemas, a iluminação, o consumo de água, entre outros recursos. Na Figura 29, é possível identificar, por exemplo, a unidade mais quente e a quantidade de horas de cada uma das zonas térmicas em determinada faixa de temperatura com base na combinação de arquivos climáticos, geometria da edificação, propriedades físicas dos materiais e padrão de ocupação.

Figura 29 – Tabela gerada no OpenStudio a partir dos cálculos do EnergyPlus

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 56 (F)	56-61 (F)	61-66 (F)	66-68 (F)	68-70 (F)	70-72 (F)	72-74 (F)	74-76 (F)
THERMAL_ZONE: APO1_BANHO	0	0	0	0	2737	2677	2096	1009	229	12
THERMAL_ZONE: APO1_D1	0	0	0	0	2804	2581	2059	1111	200	5
THERMAL_ZONE: APO1_D2	0	0	0	0	3091	2687	1815	936	220	11
THERMAL_ZONE: APO1_D3	0	0	0	0	3255	3005	2009	481	10	0
THERMAL_ZONE: APO2_BANHO	0	0	0	0	2897	2512	1776	1032	441	97

Fonte: Desenvolvimento do autor

O EnergyPlus é uma ferramenta gratuita referenciada como instrumento comprobatório de atendimento às principais normas de desempenho térmico, incluindo a ABNT NBR15575. Não é uma ferramenta gráfica, onde se desenvolvem modelos tridimensionais, mas fornece suporte e permite a integração com outras aplicações e sistemas que utilizam seus recursos, incorporados para o processamento de dados de entrada e saída.

Atualmente, algumas aplicações de cálculo e simulação já permitem a importação de modelos de informação da construção (BIM) gerados por meio de modeladores tridimensionais por meio do formato *gbXML*, esquema voltado para simulações

energéticas e sustentabilidade.

Um fluxo de trabalho operacional para a simulação energética bastante difundido fundamenta-se na utilização do *software* SketchUP, da fabricante Trimble, juntamente com o *plug-in* do *software* OpenStudio, marca registrada da *Alliance for Sustainable Energy* (LCC), desenvolvido por NREL, ANL, LBNL, ORNL e PNNL – *National Laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*.

O SketchUp é indicado para o desenho tridimensional da envoltória da edificação simulada e da compartimentação dos ambientes. As ferramentas do OpenStudio são utilizadas para a definição das zonas térmicas, associação do uso e atribuição do tempo, permanência, função aos elementos desenhados, definição de cargas térmicas por meio de bibliotecas pré-definidas e definição de zonas bioclimáticas. Todos os parâmetros definidos no OpenStudio podem ser diretamente inseridos no EnergyPlus, porém, com uma carga de trabalho muito maior em razão da ausência de uma interface gráfica e automatismos no EnergyPlus, presentes no OpenStudio e nas demais aplicações com a mesma função.

Após estabelecer os parâmetros, a edificação pode ser simulada a partir da definição da localidade e carregamento do arquivo de dados climáticos da região desejada, que deve conter informações relativas aos 365 dias de um ano hipotético, que englobem as temperaturas registradas, umidade, velocidade do vento e demais dados relacionados ao clima no período simulado. O processamento é realizado pelo EnergyPlus, mas é necessária a utilização de ferramentas específicas para tabular e gerar gráficos dos dados obtidos.

4.3 Ferramentas Simplificadas

No mercado há uma série de ferramentas com capacidade para desenvolver cálculos complexos, simular o comportamento térmico e o consumo energético a partir da definição dos sistemas de uma edificação, dos materiais constituintes, do uso e da ocupação combinado aos arquivos climáticos da região na qual se localiza o objeto de estudo. No entanto para se obter resultados satisfatórios, é necessário inserir uma quantidade grande de parâmetros, além de, na maioria dos casos ser

necessário dedicar horas para o processamento dos dados obtidos a partir da simulação. Por esta razão o desenvolvimento de novos softwares de simulação vem crescendo, incorporando recursos que reduzem o tempo dedicado na transcrição da geometria da edificação, contemplando interface gráfica e programações que automatizam o processo de inserção de dados, e em alguns casos tendo capacidade de importarem entidades gráficas oriundas de modeladores tridimensionais.

O Domus Procel é a primeira ferramenta nacional de simulação, considerada dinâmica. Possui uma interface gráfica que permite o desenvolvimento do modelo tridimensional da edificação diretamente da aplicação. O software foi desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC) e é gratuito. Dentre suas funções destaca-se a avaliação do conforto térmico, ganhos térmicos, demanda e consumo de energia, climatização e avaliação de conformidade do RTQ-R.

Outra ferramenta para desenvolvimento de simulação energética simplificada é o ESBO (Early Stage Building Optimization) que tem recursos que facilitam a busca pela otimização da eficiência da edificação nos estágios iniciais, ou seja, contribui na concepção do projeto e dos sistemas incorporados. (Figura 30)

Figura 30 – Software ESBO

The screenshot displays the ESBO software interface for configuring a simple room. The interface is organized into several sections:

- Simple room**: Includes a 'Project data' icon and a 'Location and case' section with a dropdown for 'Location' (Berlin/Schonefeld_093850 (ASHRAE 2013)) and temperature fields (Max temp. 29.9 °C, Min temp. 15.4 °C).
- Sizing case**: Radio buttons for 'Summer' (selected), 'Winter', 'Cooling power', and 'Overheating (no local cooling)'.
- Zone and materials**: Includes an 'Envelope' dropdown (Medium envelope), a 'Window' section with 'Window area incl. frame' (1.8 m²), 'Shading type' (Drop arm awning), and 'Shading' (Generic drop-arm awning). It also has a 'Glazing' dropdown (Double Clear Air 2-panes [U=2.88, g=0.77, Tvis=0.81]) and an 'Orientation' dropdown (South).
- Thermal loads**: A table for defining loads and operation times.

Load Type	Value	Unit	Operation time (hours)
Number of occupants	1	items	8
Light	100.0	W	8
Other loads	150.0	W	8
- Operation**: Fields for 'Supply air flow' (20.0 L/s), 'Fan operation time' (10.0 hours), 'Supply air temperature' (16.0 °C), 'Cooling setpoint' (25 °C), and 'Heating setpoint' (n.a. °C).
- 3D Model**: A 3D perspective view of a room with dimensions 4.0 m (width), 2.5 m (depth), and 2.6 m (height). A compass rose indicates the orientation.
- Buttons**: 'Start simulation' and 'Give more input data'.

Fonte: <http://www.equa.se/en/esbo>

5. ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de investigar todos os fatores influenciadores no desempenho térmico de uma habitação multifamiliar, foi desenvolvido um estudo de caso segregado em duas etapas:

- A. Desenvolvimento e aplicação de um questionário voltado às empresas incorporadoras e projetistas de arquitetura, para investigar como a vigência da NBR 15575 influenciou no desenvolvimento de projeto.
- B. Aplicação dos métodos de avaliação de conforto térmico da NBR 15575 e da Certificação AQUA-HQE™ em um edifício habitacional existente, situado na cidade de São Paulo.
 - 1. Avaliação do desempenho térmico do empreendimento por meio do Método Simplificado da NBR 15575.
 - 2. Avaliação do desempenho térmico do empreendimento por meio da Simulação Computacional.
 - 3. Avaliação e comparação do desempenho térmico por meio da medição *in loco*.
 - 4. Análise do desempenho térmico do empreendimento com base na Certificação AQUA-HQE™.

5.1 Caracterização do Empreendimento

O objeto deste estudo de caso foi construído por uma tradicional incorporadora com mais de 30 anos de experiência no mercado, com foco nos públicos A e B, mais de 1,6 milhões de metros quadrados construídos e cerca de 17 mil unidades habitacionais entregues em diferentes cidades e regiões do Brasil.

Trata-se de uma edificação residencial, concluída em 2008, que possui uma torre única de 23 pavimentos, com quatro unidades de três dormitórios por pavimento.

Sua área útil aproximada conta com 90 m² e está localizada na zona sul da cidade de São Paulo.

Este empreendimento foi escolhido por incorporar algumas práticas de desenvolvimento sustentável, sendo que, dentre elas, se destacam a fonte alternativa de energia, com painéis fotovoltaicos instalados na cobertura para aquecimento de água, capazes de aquecer os chuveiros de todas as unidades, durante todas as estações do ano, e a estação de tratamento de água localizada no subsolo para captação, tratamento e reutilização da água dos chuveiros nos vasos sanitários. Caracteriza-se por possuir a tipologia em forma de “H”, com unidades-espelho voltadas para as quatro orientações, conforme ilustrado na Figura 31.

Figura 31 – Implantação do empreendimento com a localização de cada unidade



Fonte: Desenvolvimento do autor

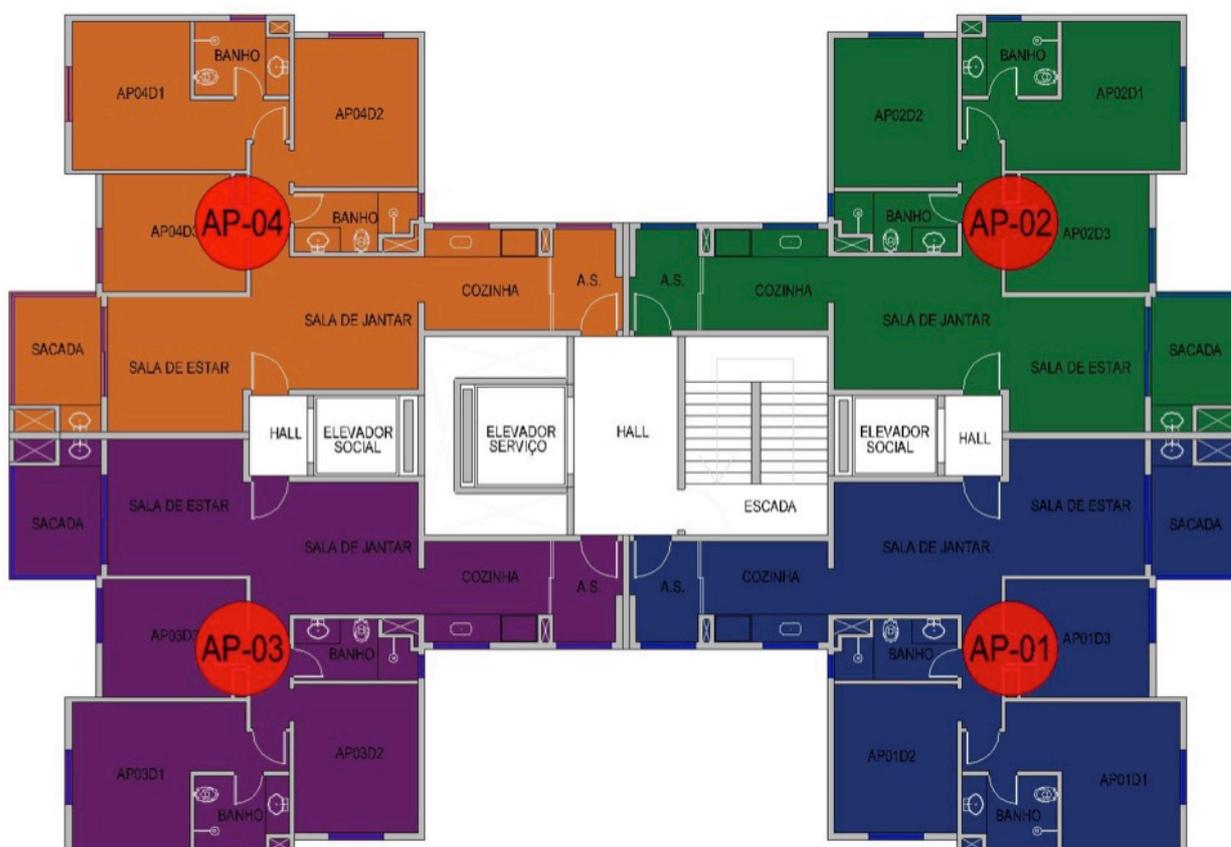
Para realização do estudo de caso, os ambientes analisados foram identificados preliminarmente pela unidade, seguida da numeração de cada um dos dormitórios, conforme Tabela 35 e planta baixa ilustrada na Figura 32.

Tabela 35 - Nomenclatura dos ambientes simulados

Apartamento	Orientação	Dormitório 01	Dormitório 02	Dormitório 03
AP01	L / N	AP01D1	AP01D2	AP0D3
AP02	N / O	AP02D1	AP02D2	AP02D3
AP03	S / L	AP03D1	AP03D2	AP03D3
AP04	O / S	AP04D1	AP04D2	AP04D3

Fonte: Desenvolvimento do autor

Figura 32 – Planta esquemática do pavimento com a identificação dos ambientes avaliados



Fonte: Desenvolvimento do autor

5.2 Etapa A – O Processo de Projeto com a NBR 15575

Para avaliar como o tema vem sendo tratado pelos principais agentes, elaborou-se um questionário específico sobre o conforto térmico, que foi submetido aos projetistas responsáveis pelo estudo de viabilidade e concepção do projeto, e aos responsáveis pela definição do produto nas empresas de incorporação, listados na

Tabela 35. As empresas identificadas na tabela como “I” são Incorporadoras; as identificadas como “P”, são Projetistas.

Tabela 36 – Questionário: Projetistas e Incorporadores

QUESTIONÁRIO				
Empresa	Tipo	Atende ao item 11 da NBR 15575?	Como garante?	Como o tema é tratado?
A	I	Não tem certeza	Não garante	Solicitando em contrato que o autor do projeto se responsabilize pelo atendimento da norma
B	I	Sim	Não garante	Solicitando em contrato que o autor do projeto se responsabilize pelo atendimento da norma e referencie o atendimento nos projetos
C	I	Sim	Por meio de Simulação Computacional Software HAP 4.61 Hourly Analysis	Integração durante a fase de concepção para avaliar as melhores técnicas para desenvolvimento do projeto. Mudança no processo com reuniões específicas para verificar o atendimento da norma. A empresa abre discussões sobre o tema
D	I	Sim	Não garante	Solicitando em contrato que o autor do projeto se responsabilize pelo atendimento da norma e referencie o atendimento nos projetos
E	I	Sim	Não garante	Solicitando em contrato que o autor do projeto se responsabilize pelo atendimento da norma e referencie o atendimento nos projetos
F	I	Sim	Garante	Exigindo o memorial de cálculo de capacidade térmica e transmitância térmica
G	I	Sim	Elaboração de método para verificação durante o desenvolvimento de projeto	Treinamentos, consultoria especializada e medição <i>in loco</i> antes da entrega da obra
H	I	Sim	Cobrança dos projetistas à evidência em carimbo e nos projetos e memoriais	Inseriu um item no <i>checklist</i> de verificação de projeto com relação à menção do atendimento às normas vigentes
I	I	Sim	Desenvolvimento do cálculo simplificado, descrevendo o desempenho obtido. Especificação em projeto do	Desenvolvimento de <i>checklist</i> com os 281 itens a serem atendidos e treinamento específico para todos os envolvidos no processo de projeto

			desempenho obtido	
J	P	Sim	Por meio de cálculo (método simplificado)	Tabela de composição de vedações e cobertura com valores pré-definidos para utilização em projeto
K	P	Sim	Com base nos cálculos simplificados previsto, porém se a construtora alterar a composição de materiais ela não se responsabiliza	Depende da incorporadora. Algumas exigem apenas em contrato, outras solicitam que seja especificado em prancha, no carimbo, e outras, em documento complementar e memorial de cálculo
L	P	Sim	Por meio do Método Simplificado	Biblioteca de composição de materiais padrão
M	P	Sim	Por meio do Método Simplificado, apenas quando requisitado	Se a construtora não definir a composição dos materiais utilizados
N	P	Sim	Por meio do Método simplificado	Biblioteca de composição de materiais padrão
O	P	Sim	Por meio do Método Simplificado	Biblioteca de composição de materiais padrão

Fonte: Desenvolvimento do autor

Após aplicação do questionário junto às Incorporadoras, avaliou-se que apenas quatro delas adotam alguma ação direta no processo de desenvolvimento de projeto com relação ao atendimento ao requisito de conforto térmico exigido na NBR 15575. Todas as quatro inseriram em seu processo de qualidade a verificação, ou metodologia de validação e acompanhamento, para garantia do atendimento. As demais Incorporadoras referenciam o atendimento nos manuais, mas não garantem o atendimento – que fica sob a responsabilidade do arquiteto, tratando do tema apenas no âmbito legal, por meio de exigência em contrato do atendimento a todas as leis e normas aplicáveis.

A Empresa “C” introduziu a realização de reuniões no processo de projeto, com o objetivo de discutir, antes do desenvolvimento do projeto, as melhores técnicas aplicáveis para melhorar o conforto térmico das habitações e para garantir seu atendimento. A própria Incorporadora desenvolve a simulação computacional de todos os projetos para se certificar de que as soluções adotadas atendem à NBR 15575.

A Empresa “G” informou que, após a vigência da norma, contratou o ensaio, por meio do Método Simplificado, dos materiais que não atendiam aos requisitos. Alguns

deles foram mantidos e outros tiveram que ser substituídos. Complementou sua ação com a contratação de especialistas para desenvolvimento de treinamento e palestras para todos os funcionários e projetistas. A Empresa “I” também adotou como prática a contratação de especialistas, após conclusão da obra, para verificação do atendimento aos requisitos da NBR 15575.

A Empresa “I” desenvolveu um *checklist* enumerando todos os requisitos da norma e o inseriu como dado de entrada em seu processo de desenvolvimento de projeto. Complementarmente, treinou todos os colaboradores internos e externos envolvidos no processo.

A Empresa “L” destacou que não há nenhuma dificuldade em atender às exigências de conforto da NBR 15575, e que algumas normas prescritivas locais possuem critérios mais restritivos que a norma.

Ao entender que a responsabilidade e o eventual ônus para reparação são de sua responsabilidade, a Empresa “M” comentou que passou a se preocupar com a especificação não apenas da espessura das paredes externas, mas também com a descrição de sua composição no projeto e memoriais.

Com base na entrevista com os projetistas, conclui-se que o atendimento ao desempenho térmico da ABNT NBR 15575, por meio do método simplificado, não apresenta algum grau de complexidade. Salvo exceções, as propriedades físicas de materiais dos sistemas de paredes e de coberturas atendem, em sua grande maioria, a este requisito.

Quando perguntados sobre o atendimento da norma em relação à efetiva qualidade de projeto, todos os projetistas foram unânimes ao afirmar que muitos projetos que atendem aos requisitos mínimos da ABNT NBR 15575 não contam com a melhor alternativa de projeto, e reiteram que, se houvesse mais tempo na concepção, no desenvolvimento dos estudos e maior liberdade na proposição de soluções, sem preocupação exclusiva com os limitadores que privilegiam apenas o aumento do potencial construtivo, os projetos, com certeza, teriam maior qualidade. Segundo os projetistas, há grande resistência dos incorporadores em aceitar propostas de tipologias fora do padrão “H” de quatro unidades, sendo sabido que esta tipologia não favorece conforto térmico em determinadas orientações solares.

Os Incorporadores relatam, em sua maioria, que esperam uma resposta mais rápida e assertiva na requisição de estudos de viabilidade para seus arquitetos. Esperam ainda que os projetistas consigam se aparelhar com tecnologia e outros meios que contribuam para o desenvolvimento de alternativas e sugestões, a fim de que possam justificar e embasar as proposições de novas ideias quantificando o impacto, garantindo a manutenção do custo previsto para o empreendimento e o retorno do investimento em relação às ideias já implantadas e aferidas.

Para garantir o cumprimento dos requisitos da Norma de Desempenho NBR 15575, algumas Incorporadoras optaram pela contratação de uma empresa terceirizada ou consultoria responsável pela verificação do atendimento aos requisitos; outras incorporaram em seu processo de qualidade pontos de controle para se assegurarem do atendimento.

No que tange exclusivamente ao atendimento ao conforto térmico, há pouca preocupação por parte dos agentes envolvidos em razão da facilidade de comprovação por meio do Método Simplificado, mesmo cientes das suas limitações.

O atendimento aos requisitos, em alguns casos, nem sempre é comprovado, existindo ainda incorporadoras que ignoram a norma e projetistas que se eximem de suas responsabilidades com relação ao seu atendimento.

5.3 Etapa B1 – Avaliação do Método Simplificado

Foi realizado o cálculo de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) conforme a ABNT NBR 15575, com o objetivo de avaliar se a edificação atende às exigências previstas na norma e qual é o índice atingido.

Para esta avaliação, o cálculo foi desenvolvido com base nos dados levantados a partir das características constantes nos memoriais descritivos, manual do usuário e levantamento *in loco* das dimensões, obtendo-se os seguintes resultados:

Vedação Externa

Dimensões do tijolo = 9,00 x 14,00 cm x 19,00 cm

Espessura da Argamassa de Assentamento = 1,0 cm

Espessura da Argamassa de emboço = 2,5 cm

Espessura Total da Parede = 19,0 cm

Tabela 37 – Resumo dos dados de vedações obtidos nos cálculos

Critério	Mínimo Exigido na Norma	Valores Obtidos em Projeto	Status
CT	≥ 130	192	✓
U	≤ 3,7	2,02	✓
α	≤ 6,0	0,4	✓

Fonte: Desenvolvimento do autor

Cobertura

Laje de Concreto = 9,00 cm

Camada de ar entre a laje e a telha = 15,00 cm

Telha de fibrocimento = 2,00 cm

Tabela 38 – Resumo dos dados de cobertura obtidos nos cálculos

Critério	Mínimo Exigido na Norma	Valores Obtidos em Projeto	Status
CT	N/A	238	✓
U	≤ 2,3	2,05	✓
α	≤ 6,0	0,4	✓

Fonte: Desenvolvimento do autor

A norma exige ainda que seja verificada a razão entre a área de piso e a área de abertura. De acordo com a Tabela 39 todos os ambientes atendem tal proporção, caracterizando atendimento aos requisitos da norma por meio do método simplificado.

Tabela 39 – Resumo de área de ventilação

Ambiente	Área de Piso	Área da janela	% de Abertura	Área da Abertura	Razão	Status
Cozinha	6,19 m ²	0,77 m ²	100%	0,72 m ²	11,63%	✓
Sala de Estar	9,08 m ²	4,20 m ²	50%	2,10 m ²	23,12%	✓
Dormitório 1	8,02 m ²	1,20 m ²	50%	0,60m ²	7,48%	✓
Dormitório 2	8,46 m ²	1,20 m ²	50%	0,60m ²	7,09%	✓
Suíte	8,00 m ²	1,20 m ²	50%	0,60m ²	7,50%	✓

Fonte: Desenvolvimento do autor

5.4 Etapa B2 – Avaliação por meio da Simulação Computacional

A simulação computacional objeto deste estudo de caso foi desenvolvida conforme especificação da NBR 15575. A geometria foi modelada por meio do *software* Sketchup 3D (Marca Registrada Trimble), juntamente com o aplicativo OpenStudio e o visualizador de resultados do EnergyPlus *xEsoView*.

A simulação computacional só é exigida pela norma se alguns dos critérios estabelecidos por meio do método de avaliação simplificado não forem atendidos. Dentre outros critérios, para o desenvolvimento da simulação são estabelecidas as temperaturas limite (mínimas e máximas) nos dias típicos de verão e inverno, em função da zona bioclimática do empreendimento.

Os dados básicos a serem considerados para o desenvolvimento da simulação encontram-se nos anexos da norma. A cidade de São Paulo está inserida na Zona Bioclimática 3, conforme descrito na Tabela 40.

Tabela 40 – Resumo dos dados de referência da NBR 15575

Dados de referência para a simulação com base na NBR 15575		
Cidade	São Paulo	Tabela A1 da NBR 15575
Zona Bioclimática	3	Tabela A1 da NBR 15575
Latitude	23.5 S	Tabela A1 da NBR 15575
Longitude	46.62W	Tabela A1 da NBR 15575
Altitude	792	Tabela A1 da NBR 15575

Fonte: Dados de Pesquisa

De acordo com a Norma de Desempenho, nas Zonas Bioclimáticas 1 a 7, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como dormitórios e salas, desconsiderando as fontes internas de calor, deve atender aos seguintes critérios, que podem ser vislumbrados na Tabela 41:

- Para atingir o nível mínimo de desempenho, a temperatura máxima interna da edificação não deve ser igual ou maior do que a temperatura externa máxima de 31,9° C.
- Para atingir o nível intermediário de desempenho, a temperatura máxima interna da edificação deve estar entre 29,9° C e 28° C.

- Para atingir o nível superior de desempenho, a temperatura máxima interna da edificação deve estar 4° C abaixo da temperatura máxima de referência.

Tabela 41 – Referência dos Níveis de Atendimento à NBR 15575

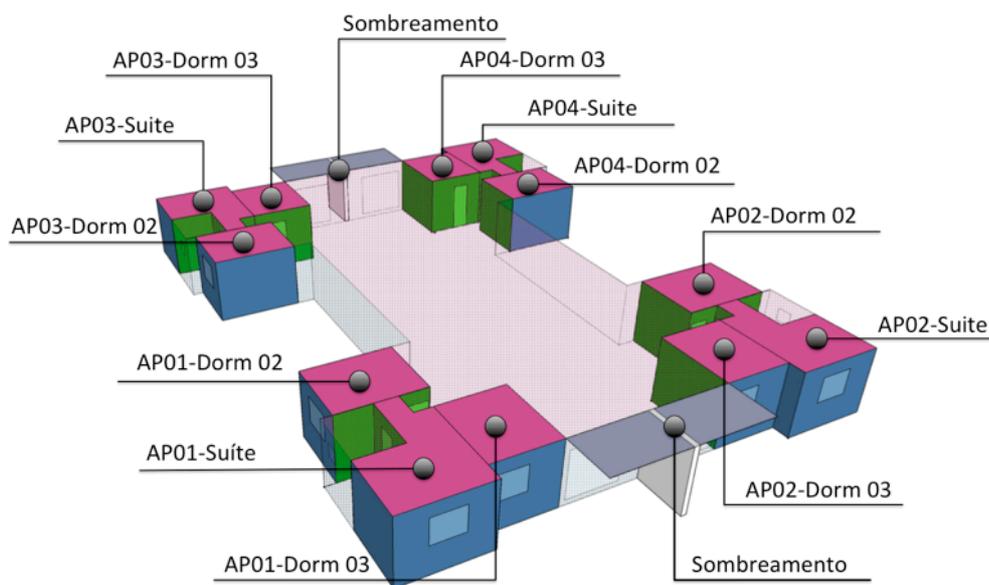
Dados de referência para atendimento ao nível mínimo		
Temperatura máxima diária	31,9° C	Tabela A2 da NBR 15575
Temperatura mínima diária	9,2° C	Tabela A3 da NBR 15575
Dados de referência para atendimento ao nível intermediário		
Temperatura máxima diária	29,9° C	Tabela A2 da NBR 15575
Temperatura mínima diária	11,2° C	Tabela A3 da NBR 15575
Dados de referência para atendimento ao nível superior		
Temperatura máxima diária	27,9° C	Tabela A2 da NBR 15575
Temperatura mínima diária	12,2° C	Tabela A3 da NBR 15575

Fonte: Desenvolvimento do autor

As definições básicas para o desenvolvimento da simulação computacional da habitação objeto deste estudo de caso foram:

- Modelagem do pavimento tipo, do andar mais alto;
- Criação de uma zona térmica para cada dormitório do andar, identificados na Figura 33 como zonas térmicas numeradas de 1 a 12;
- Criação de uma zona térmica complementar para os banheiros da suíte que não foram objeto deste estudo de caso, e serão modeladas apenas para simular a transferência de calor de um ambiente para outro;
- Criação de zonas térmicas complementares da área social e de serviços que não foram objetos deste estudo de caso, e serão modeladas apenas para simular a transferência de calor de um ambiente para outro;
- Criação de zonas térmicas de sombreamento para as sacadas.

Figura 33 – Imagem das zonas térmicas modeladas do pavimento



Fonte: Desenvolvimento do autor

O modelo da geometria da edificação para fim da simulação foi realizado a partir das zonas térmicas, que contemplam os parâmetros de exposição solar, vento, contato com o solo e sombreamento. O resultado da modelagem, ilustrado por meio da Figura 34, é um modelo tridimensional minimalista que agrega uma série de parâmetros para desenvolvimento da simulação.

Figura 34 – Imagem do modelo tridimensional para simulação



Fonte: Desenvolvimento do Autor

Após o desenvolvimento da modelagem, foram associadas ao modelo as informações listadas na Tabela 42, a saber: dados climáticos, configurações de ventilação e carga térmica, e propriedades dos materiais utilizados para a simulação.

Tabela 42 – Dados utilizados para desenvolvimento da simulação computacional

Dados Climáticos	
Arquivo climático	São_Paulo_TRY LABEE.epw
Temperatura mínima de projeto de inverno bulbo seco	16,2° C
Amplitude térmica de inverno	10° C
Temperatura máxima de projeto de inverno bulbo seco	31,9° C
Umidade no inverno bulbo seco	13,4%
Umidade no verão bulbo seco	21,3%
Pressão barométrica	96000
Clareza verão	1
Clareza inverno	0
Configurações	
Ventilação Natural	Uma renovação de ar por hora
Período Simulação	01 janeiro / 31 dezembro
Ocupação / Cargas Térmicas	Não requerido na norma
Transferência de calor pelo solo e cobertura	Adiabático
Pintura Externa (cor clara)	0,3
Composição de Materiais Parede Externa	
Revestimento Externo – Argamassa - Espessura	2,5 cm
Revestimento Externo – Rugosidade	Média
Revestimento Externo – Condutividade	0,1 W/m*K
Revestimento Externo – Densidade	2000,00 kg/ m ³
Revestimento Externo – Calor Específico	1000,00 J/kg*K
Revestimento Externo – Absortância Térmica	0,3
Revestimento Externo – Absortância Solar	0,7
Revestimento Externo – Absortância Visível	0,7
Núcleo – Tijolo Cerâmico - Espessura	14 cm
Núcleo – Rugosidade	Média
Núcleo – Condutividade	0,9 W/m*K
Núcleo – Densidade	909,000 kg/ m ³
Núcleo – Calor Específico	920,000 J/kg*K
Núcleo – Absortância Térmica	0,9
Núcleo – Absortância Solar	0,7
Núcleo – Absortância Visível	0,7
Revestimento Interno – Gesso Corrido – Espessura	2,5 cm
Revestimento Interno – Rugosidade	Suave
Revestimento Interno – Condutividade	0,16 W/ m*K
Revestimento Interno – Densidade	784,900 kg/ m ³
Revestimento Interno – Calor Específico	830,00 J/kg*K
Revestimento Interno – Absortância Térmica	0,9
Revestimento Interno – Absortância Solar	0,4
Revestimento Interno – Absortância Visível	0,4
Composição de Materiais Parede Interna	
Revestimento Interno/Externo – Gesso Corrido Espessura	0,4 cm
Revestimento Interno/Externo – Rugosidade	Médio
Revestimento Interno/Externo – Condutividade	0,16 W/m*K

Revestimento Interno/Externo – Densidade	784,900 kg/ m ³
Revestimento Interno /Externo – Calor Específico	830,00 J/kg*K
Revestimento Interno/Externo – Absortância Térmica	0,9
Revestimento Interno/Externo – Absortância Solar	0,4
Revestimento Interno /Externo – Absortância Visível	0,4
Núcleo – Placa de Gesso Acartonado – Espessura	9 cm
Núcleo – Rugosidade	Média
Núcleo – Condutividade	3 W/m*K
Núcleo – Densidade	400,00 kg/ m ³
Núcleo – Calor Específico	500,00 J/kg*K
Núcleo – Absortância Térmica	0,3
Núcleo – Absortância Solar	0,4
Núcleo – Absortância Visível	0,7
Composição de Materiais Laje e Piso	
Revestimento Externo – Concreto - Espessura	0,12 cm
Revestimento Externo – Rugosidade	Média
Revestimento Externo – Condutividade	3 W/m*K
Revestimento Externo – Densidade	1087,00 kg/ m ³
Revestimento Externo – Calor Específico	920,000 J/kg*K
Revestimento Externo – Absortância Térmica	0,3
Revestimento Externo – Absortância Solar	0,4
Revestimento Externo – Absortância Visível	0,4
Janela / Vidro	
Vidro Espessura	4 mm
Fator U	0,1 W/ m ² K
Coefficiente de Ganho de Calor	0,80
Transmitância Visível	0,2

Fonte: Desenvolvimento do autor

Os dados das propriedades dos materiais foram extraídos do “Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas” (v5), Florianópolis (2011), desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LaBEEE) MORISHITA et al.

Os resultados obtidos na simulação permitiram a identificação das condições de temperatura interna dos três dormitórios de cada uma das unidades do pavimento.

O primeiro resultado gerado foi uma tabela contendo a quantidade de horas de permanência em cada uma das faixas de temperatura por zona térmica modelada, conforme se observa na Figura 35.

Figura 35 – Quantidade de horas em faixas de temperatura por zona térmica

Temperature (Table values represent hours spent in each temperature range)

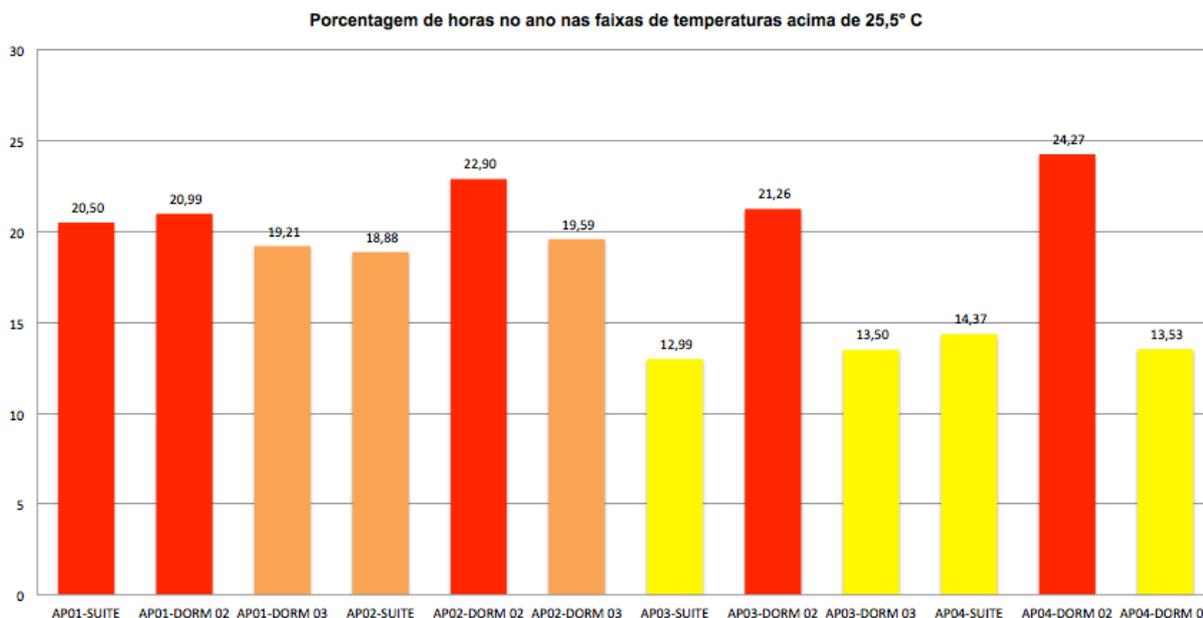
Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 56 (F)	56-61 (F)	61-66 (F)	66-68 (F)	68-70 (F)	70-72 (F)	72-74 (F)	74-76 (F)	76-78 (F)	78-83 (F)	>= 88 (F)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (F)
THERMAL_ZONE: AP01_BANIHO	0	0	0	0	0	0	58	510	848	1244	1371	2687	1587	0	0	79.2 (F)
THERMAL_ZONE: AP01_D1	0	0	0	0	566	795	1133	1200	1132	1070	1038	1465	331	0	0	73.6 (F)
THERMAL_ZONE: AP01_D2	0	0	0	0	1027	800	990	1067	976	958	909	1383	456	0	0	73.3 (F)
THERMAL_ZONE: AP01_D3	0	0	0	0	581	874	1151	1196	1134	1047	1075	1371	312	0	0	73.4 (F)
THERMAL_ZONE: AP02_BANIHO	0	0	0	0	802	935	1200	1188	1175	1020	962	1181	284	0	0	72.8 (F)
THERMAL_ZONE: AP02_D1	0	0	0	0	636	864	1133	1192	1145	1048	1068	1337	317	0	0	73.3 (F)
THERMAL_ZONE: AP02_D2	0	0	0	0	894	828	938	1046	1035	955	939	1497	509	0	0	73.7 (F)
THERMAL_ZONE: AP02_D3	0	0	0	0	546	852	1187	1198	1119	1075	1067	1397	319	0	0	73.4 (F)
THERMAL_ZONE: AP03_BANIHO	0	0	0	0	1713	1392	1451	1429	1372	781	378	244	0	0	0	70.0 (F)
THERMAL_ZONE: AP03_D1	0	0	0	0	1446	1057	1145	1145	1013	999	814	875	263	0	0	71.8 (F)
THERMAL_ZONE: AP03_D2	0	0	0	0	893	855	1023	1079	1038	967	944	1424	438	0	0	73.5 (F)
THERMAL_ZONE: AP03_D3	0	0	0	0	1325	1088	1170	1111	1032	982	865	915	268	0	0	71.9 (F)
THERMAL_ZONE: AP04_BANIHO	0	0	0	0	993	966	1176	1157	1126	976	936	1134	285	0	0	72.6 (F)
THERMAL_ZONE: AP04_D1	0	0	0	0	1332	1046	1144	1119	1035	945	873	969	290	0	0	72.1 (F)
THERMAL_ZONE: AP04_D2	0	0	0	0	701	784	956	1054	1068	1006	939	1606	520	0	0	74.1 (F)
THERMAL_ZONE: AP04_D3	0	0	0	0	1313	1087	1174	1111	1033	976	877	917	268	0	0	72.0 (F)
THERMAL_ZONE: SOCIAL_SERVICO_ELEVADORES	0	0	0	0	1798	993	1075	985	996	900	746	955	271	0	0	71.7 (F)

Fonte: Desenvolvimento do autor

A partir da tabela gerada na simulação computacional, foi possível identificar os ambientes mais quentes do pavimento e de cada unidade, além do percentual de horas em temperaturas, que podem representar desconforto para o verão ou para o inverno.

Com base na Figura 36, identificou-se que a unidade 04 possui o dormitório mais quente, representando 24,27% das horas do ano com temperaturas acima de 25,5° C, justificável por ter duas faces expostas à radiação solar direta no período inteiro da tarde. A unidade que obteve melhor desempenho térmico para o verão é a unidade 03, que recebe radiação solar direta no verão apenas no período da manhã, tendo sua suíte temperaturas mais altas apenas em 12,99% das horas do ano.

Figura 36 – Gráfico comparativo do percentual de horas em faixas de temperaturas



Fonte: Desenvolvimento do autor

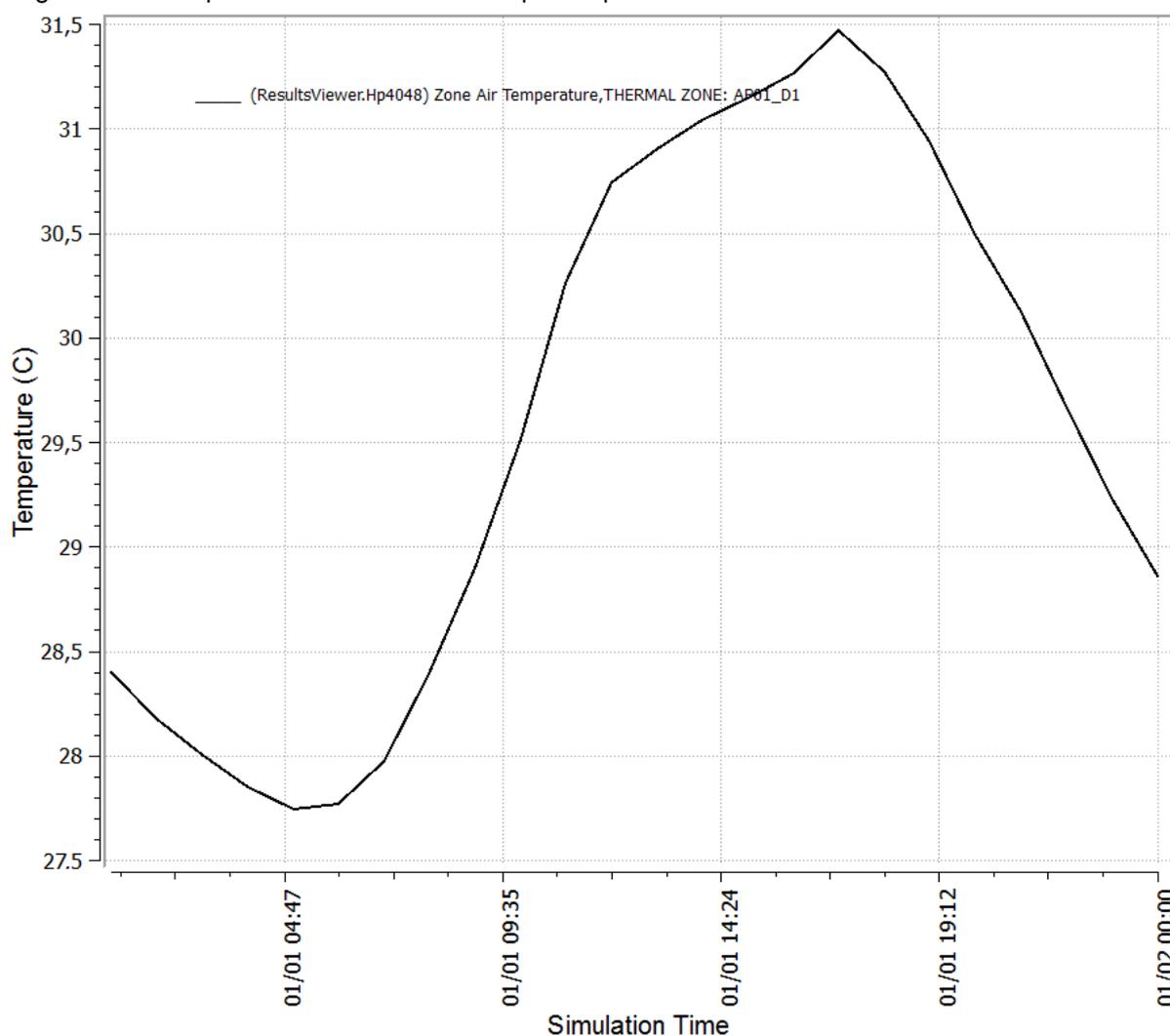
Tendo com fundamento os dados de referência da ABNT NBR 15575, foram definidos os dados de projeto de um dia típico de verão e de inverno, representados respectivamente pelas temperaturas 31,9° C e 6,2° C para a realização da simulação computacional.

O resultado da simulação foi representado em gráficos que ilustram o comportamento térmico de cada uma das zonas térmicas, que correspondem aos ambientes analisados. O eixo horizontal corresponde a hora de um dia típico e o eixo vertical corresponde a temperatura em graus Celsius.

Para cada ambiente foram gerados dois gráficos, uma para um dia típico de verão e outro para um dia típico de inverno. O resultado e análise do atendimento a ABNT NBR 15575 encontram-se na sequência.

- **AP01 – Suíte:** a suíte da unidade 01, embora tenha exposição direta a radiação solar no verão em duas faces do dormitório, não excede a temperatura externa máxima estabelecida pela norma, que é de 31,9° C, sendo sua temperatura mais alta de 31,40° C, conforme Figura 37, atendendo assim o nível de desempenho mínimo da norma.

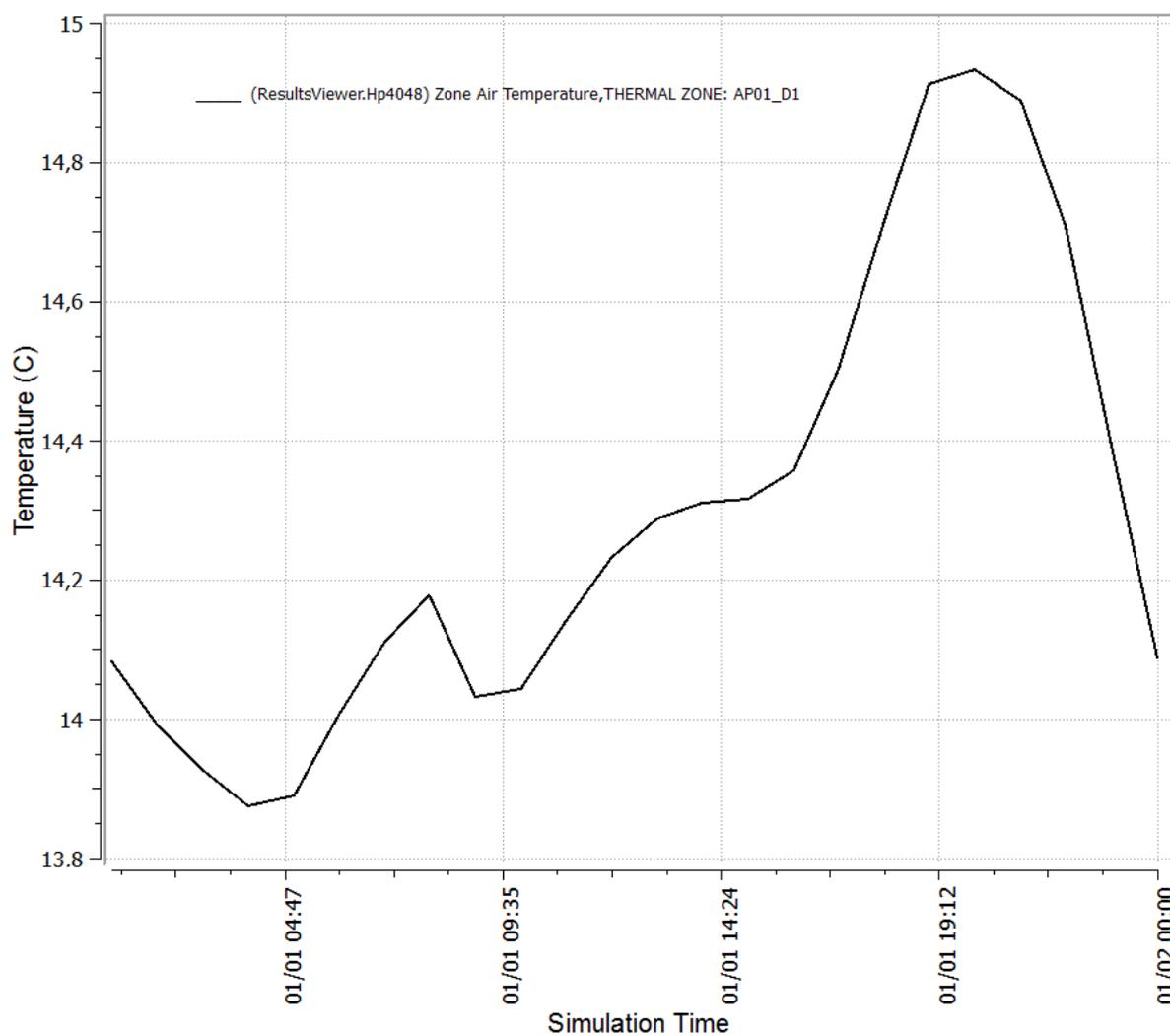
Figura 37 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura interna mínima é de 13,86° C, conforme ilustrado na Figura 38, o que caracteriza o atendimento ao nível superior da norma, atingindo mais de 7° C acima da temperatura mínima, que é de 6,2° C.

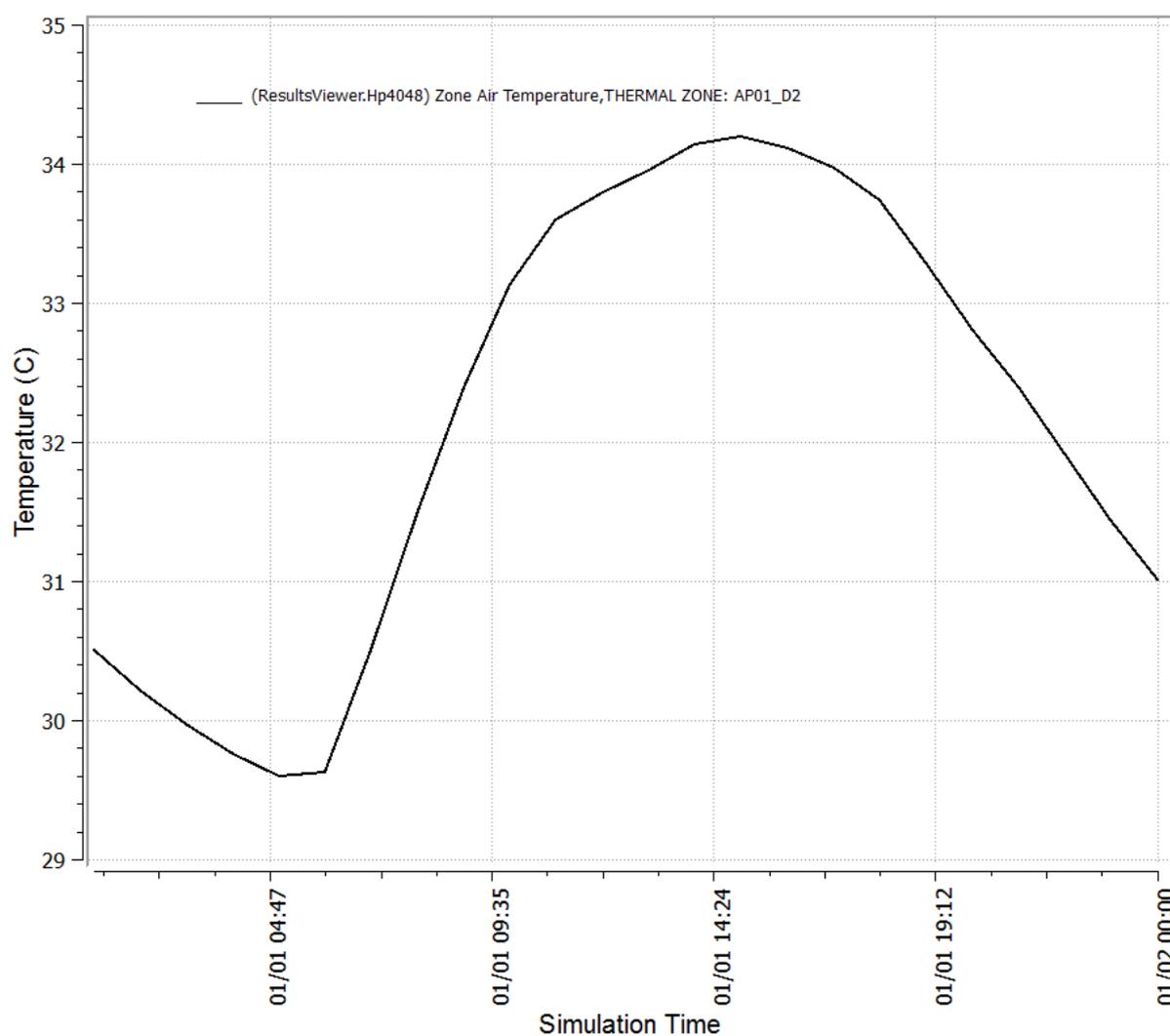
Figura 38 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP01 – Dormitório 02:** é o dormitório da unidade 01, que tem a maior quantidade de horas em altas temperaturas. Sua temperatura máxima de 34,20° C, no período de verão, conforme ilustrado na Figura 39, excede a temperatura máxima externa de um dia típico de verão, que é de 31,9° C, não atendendo, portanto, ao desempenho mínimo da norma.

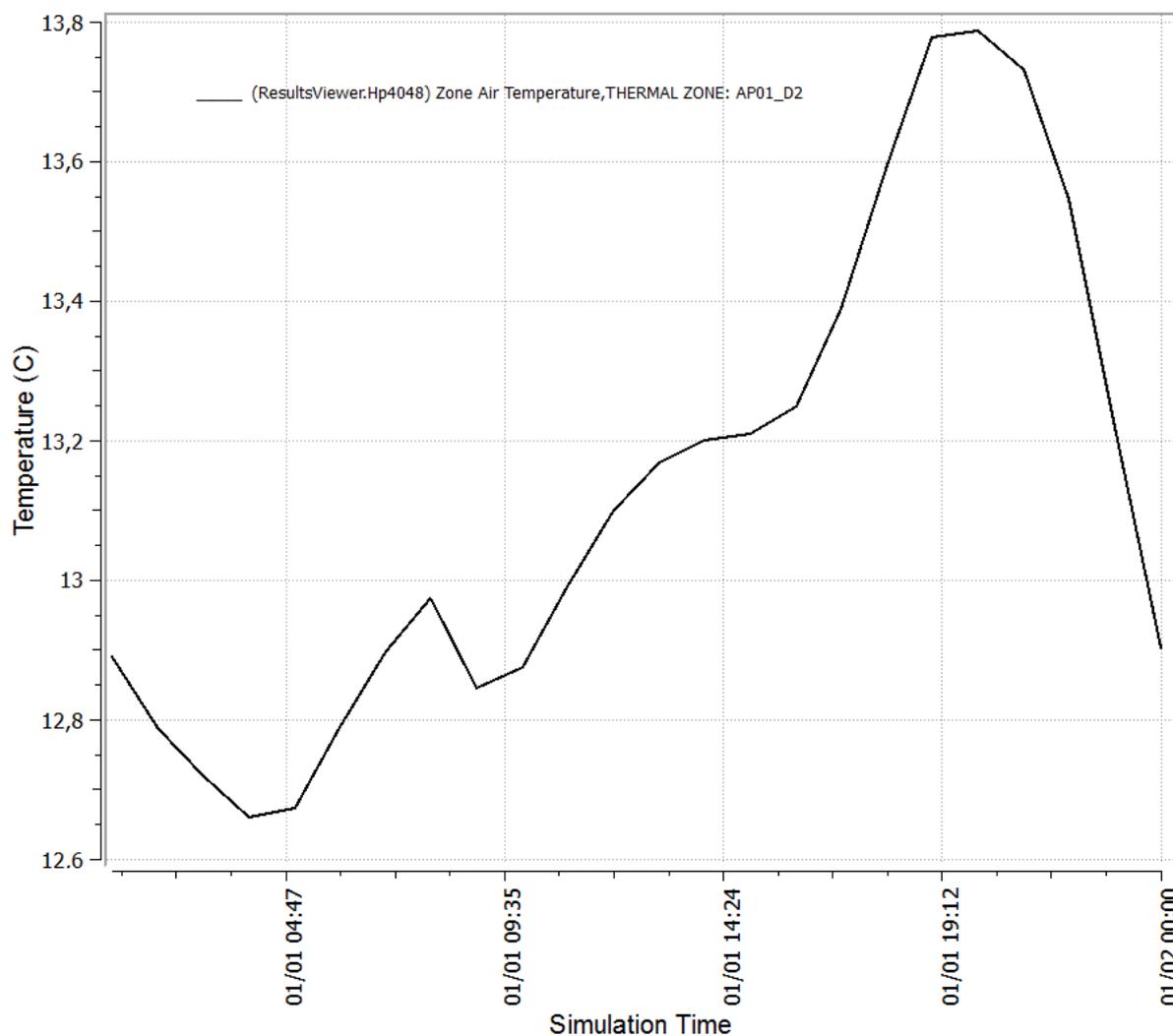
Figura 39 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 12,68° C, conforme ilustrado na Figura 40, o que caracteriza o atendimento ao nível intermediário da norma. Estando mais de 5° C acima da temperatura mínima, que é de 6,2° C

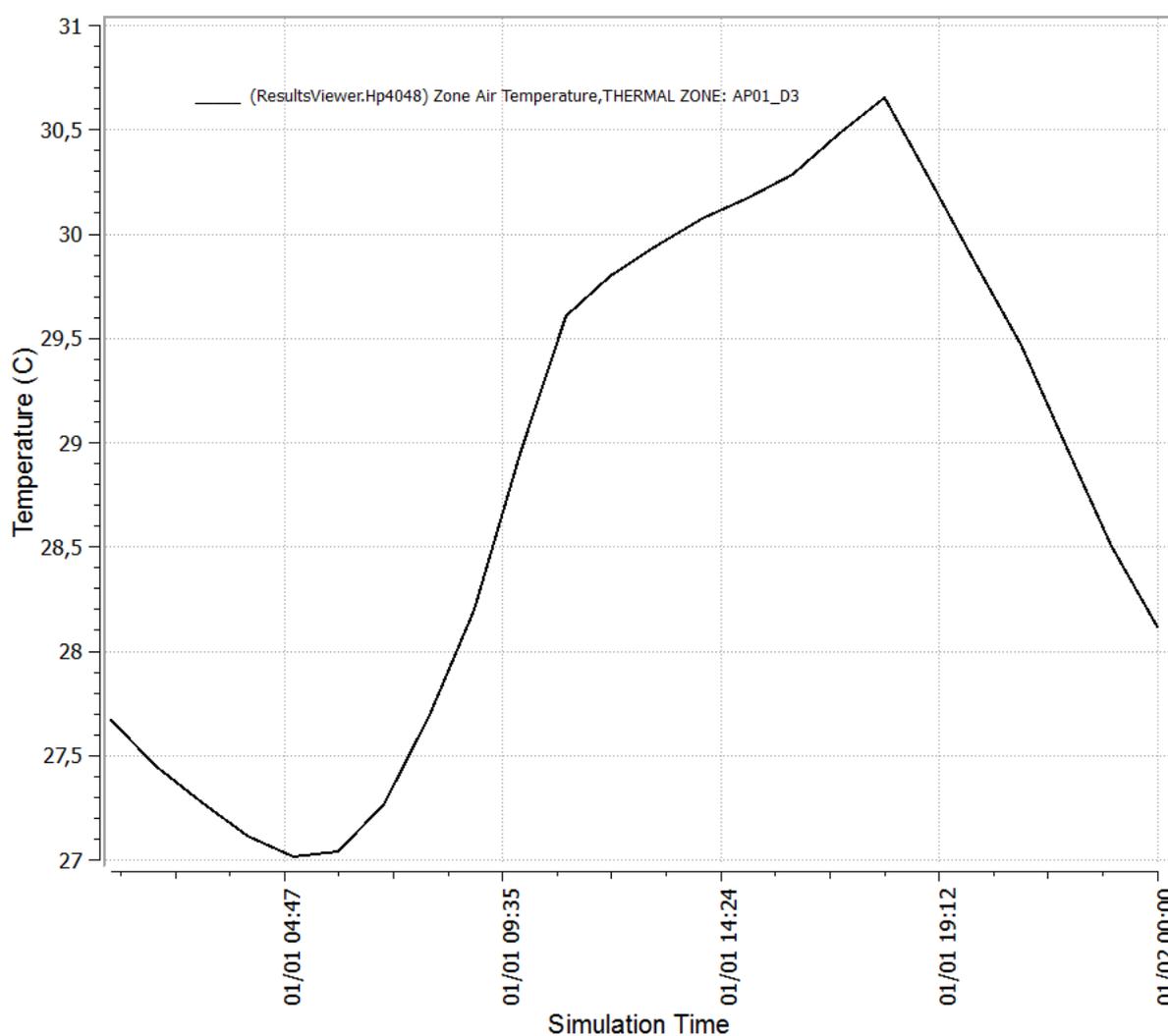
Figura 40 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP01 – Dormitório 03:** é o dormitório da unidade 01 com a menor porcentagem de horas no ano em altas temperaturas. Sua temperatura máxima de 30,65° C, conforme ilustrado na Figura 41, se mantém 1,25° C abaixo da temperatura máxima no período de verão, portanto atende ao nível de desempenho mínimo da norma.

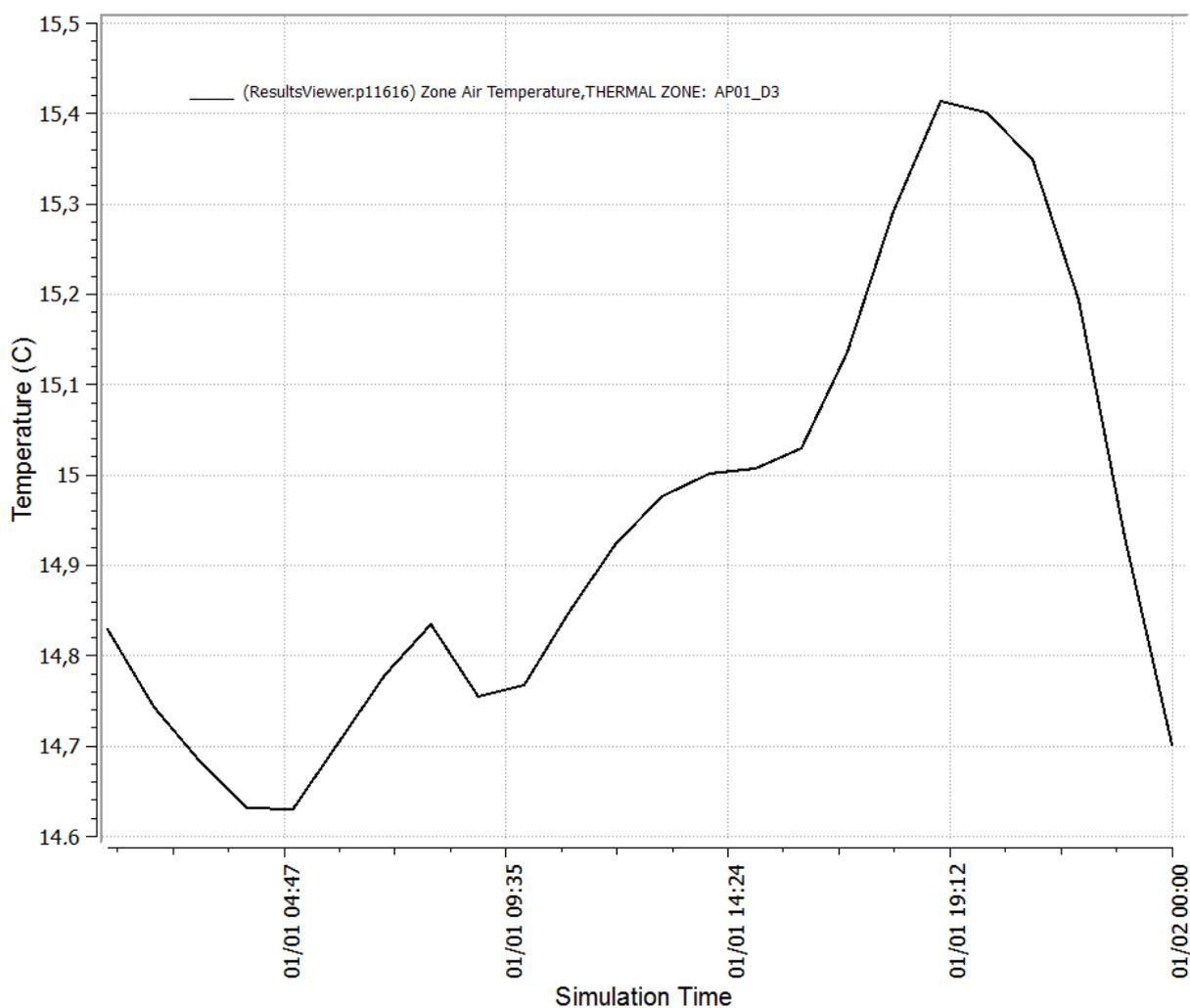
Figura 41 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 14,65° C, conforme ilustrado na Figura 42, estando este ambiente mais de 7° C acima da temperatura mínima, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

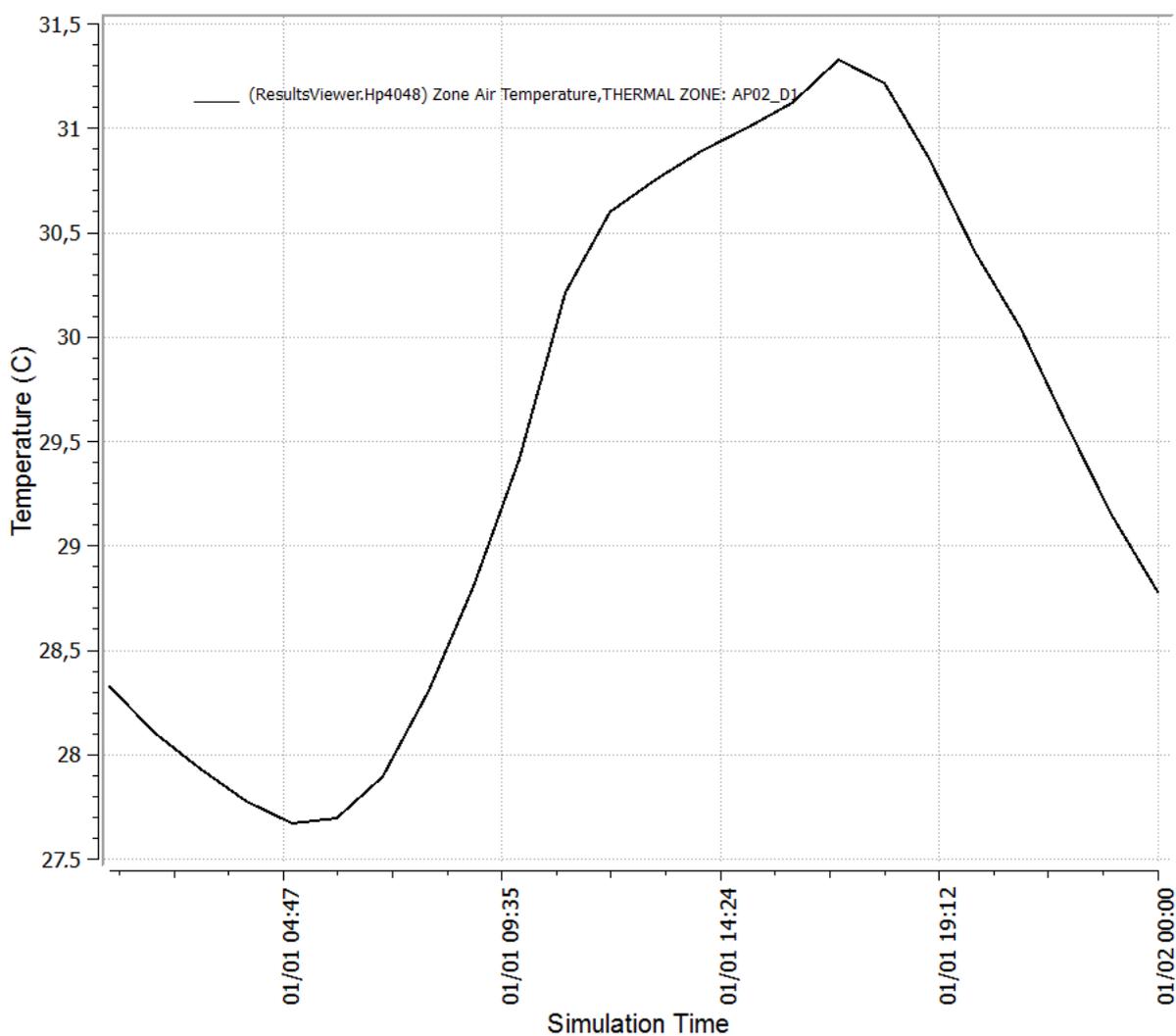
Figura 42 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 01



Fonte: Desenvolvimento do autor

AP02 – Suíte: embora a suíte da unidade 02, tenha exposição direta a radiação solar no verão em duas faces do dormitório, a mesma não excede a temperatura limite estabelecida pela norma de 31,9° C, sendo sua temperatura mais alta 31,3° C, conforme Figura 43, caracterizando assim o atendimento ao nível de desempenho mínimo da norma.

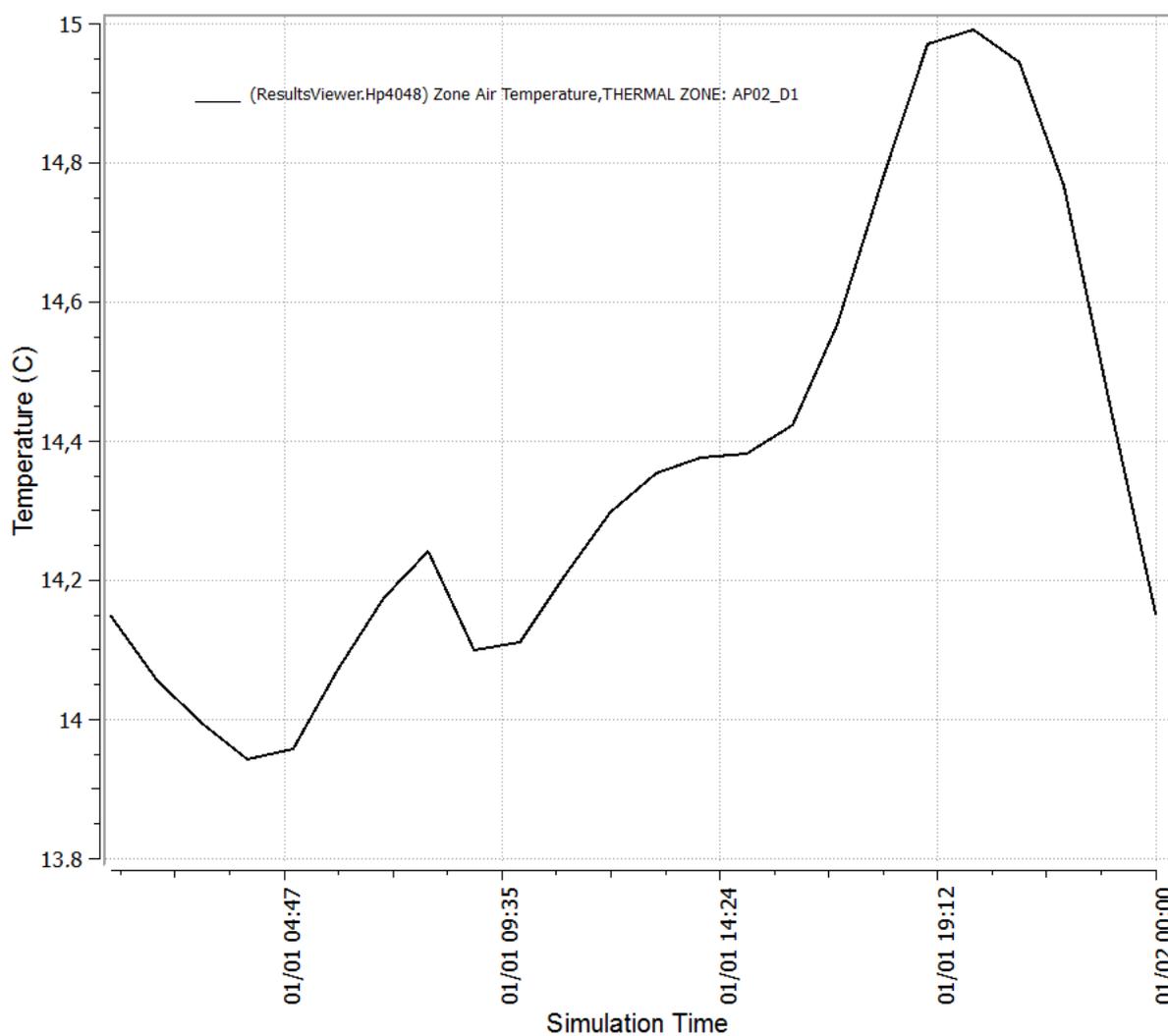
Figura 43 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 13,90° C, 7,7° C acima da temperatura mínima, conforme ilustrado na Figura 44, o que caracteriza o atendimento ao nível superior da norma.

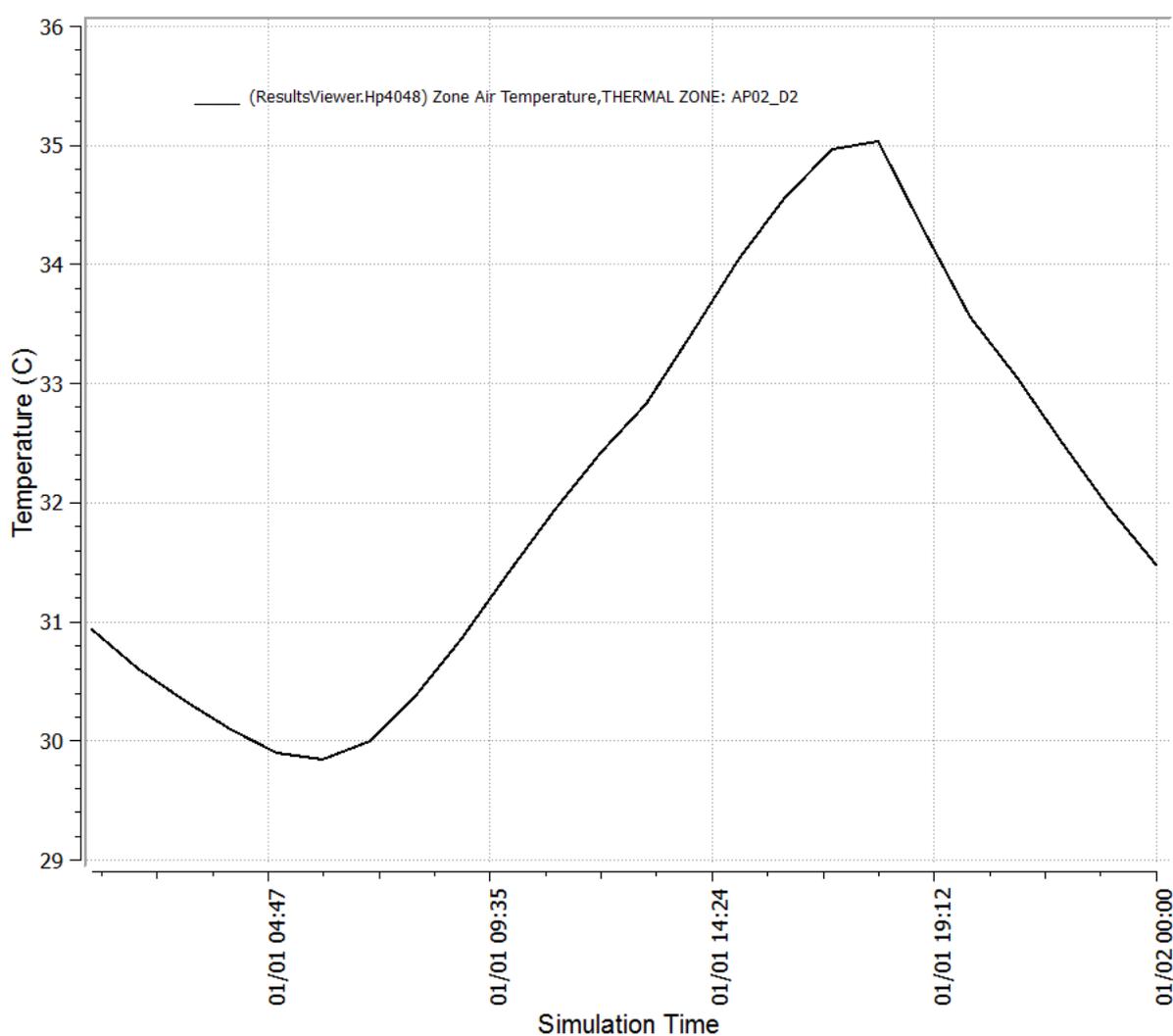
Figura 44 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP02 – Dormitório 02:** é o dormitório da unidade 02, que tem a maior quantidade de horas em altas temperaturas com 22,90% das horas do ano acima de 25,5° C. Sua temperatura máxima de 35,01° C, no período de verão, conforme ilustrado na Figura 45, excede o máximo exigido pela norma, que é de 31,9° C, portanto não atendendo ao nível de desempenho mínimo da norma.

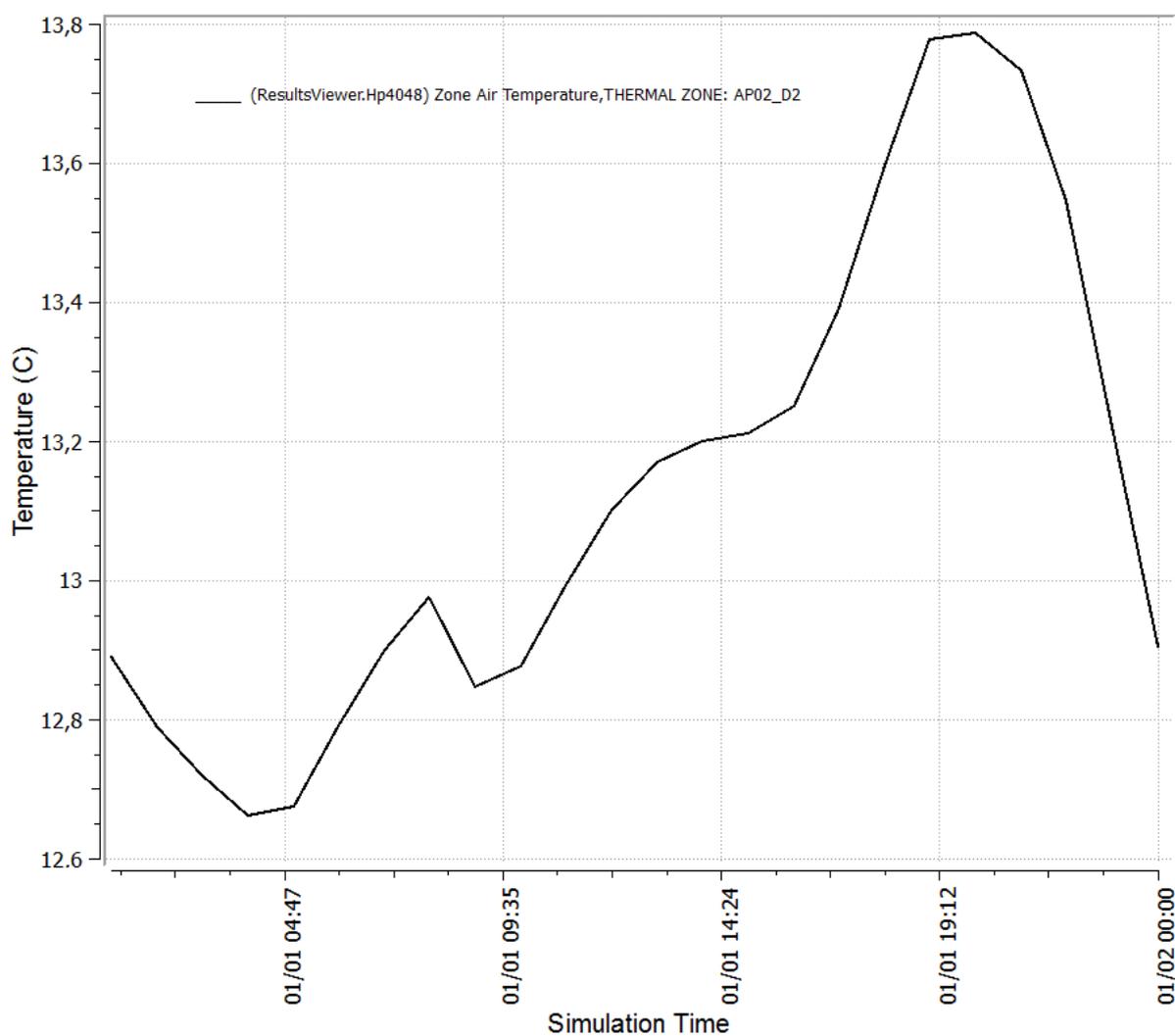
Figura 45 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 12,67° C, conforme ilustrado na Figura 46, sendo este ambiente 6,47° C acima da temperatura mínima de 6,2° C, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho intermediário da norma.

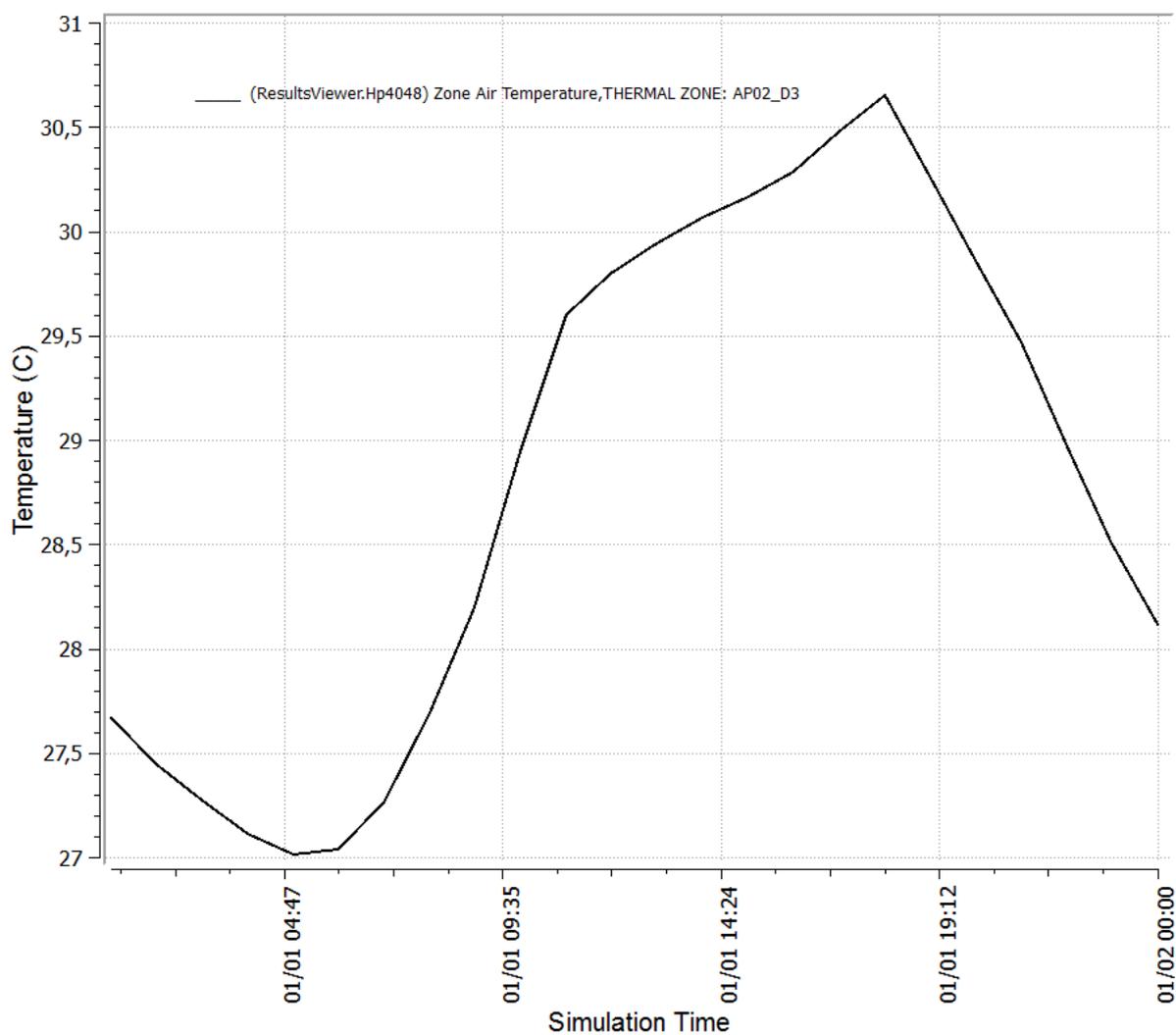
Figura 46 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do Autor

- **AP02 – Dormitório 03:** sua temperatura máxima de 30,70° C no período de verão, conforme ilustrado na Figura 47, se mantém abaixo da temperatura máxima no período de verão, de 31,9° C, atendendo, portanto, ao nível de desempenho mínimo da norma.

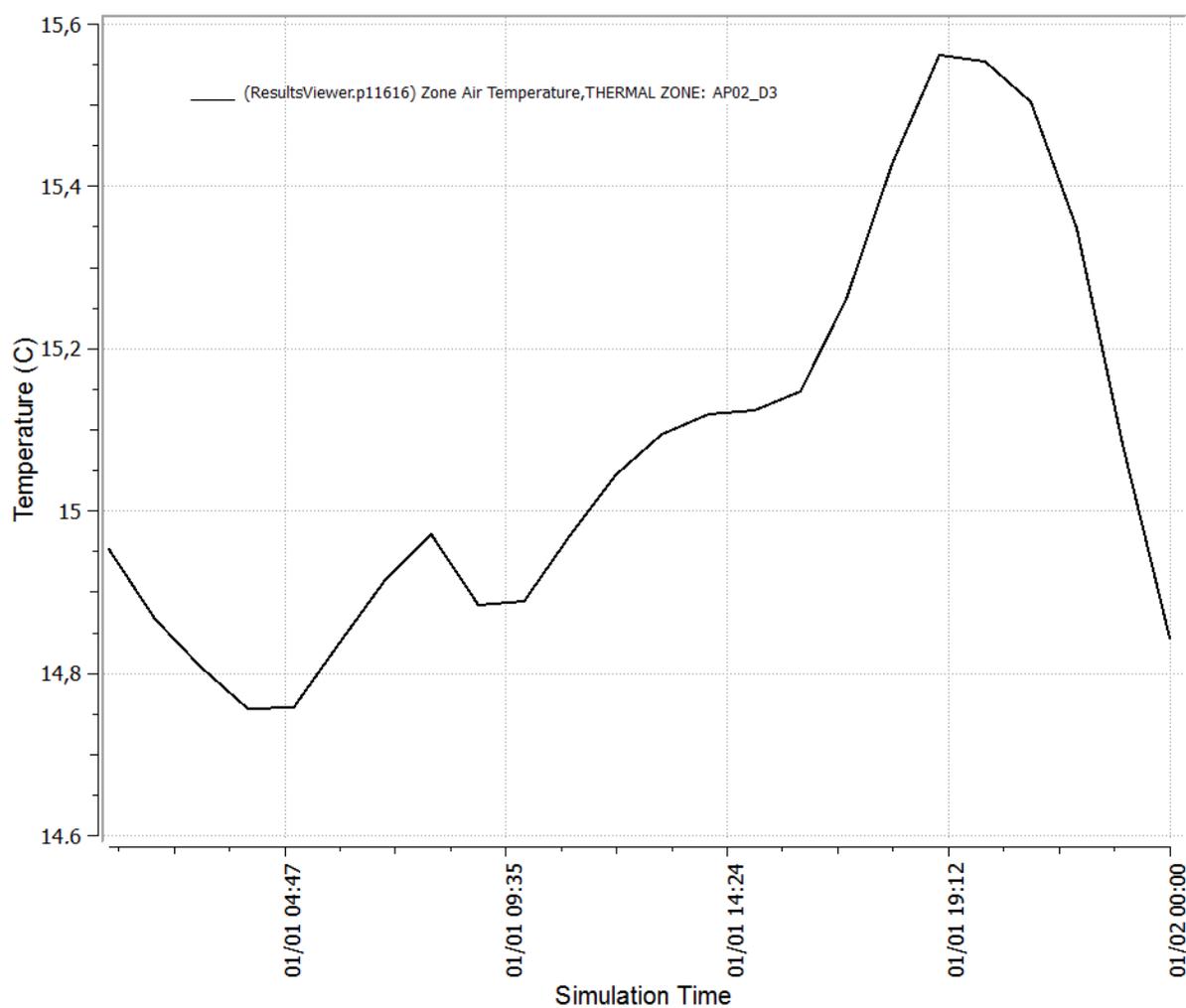
Figura 47 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 14,75° C, conforme ilustrado na Figura 48, sendo este ambiente o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

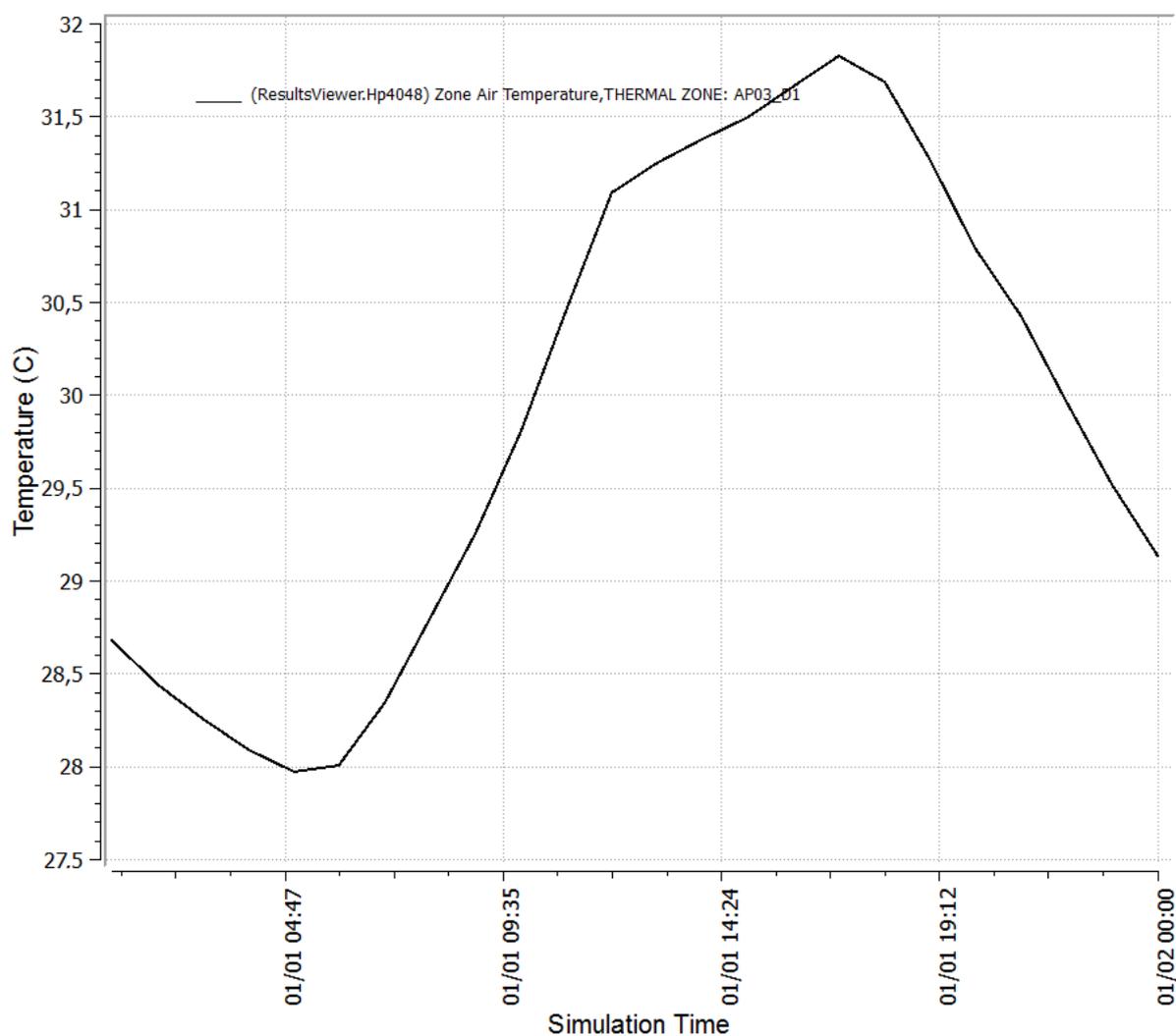
Figura 48 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 02



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP03 – Suíte:** a suíte da unidade 03 é exposta a radiação solar direta no verão apenas nas primeiras horas da manhã, não excedendo a temperatura limite estabelecida pela norma, sendo sua temperatura mais alta de 31,80° C, conforme Figura 49, atendendo assim o desempenho mínimo estabelecido pela norma.

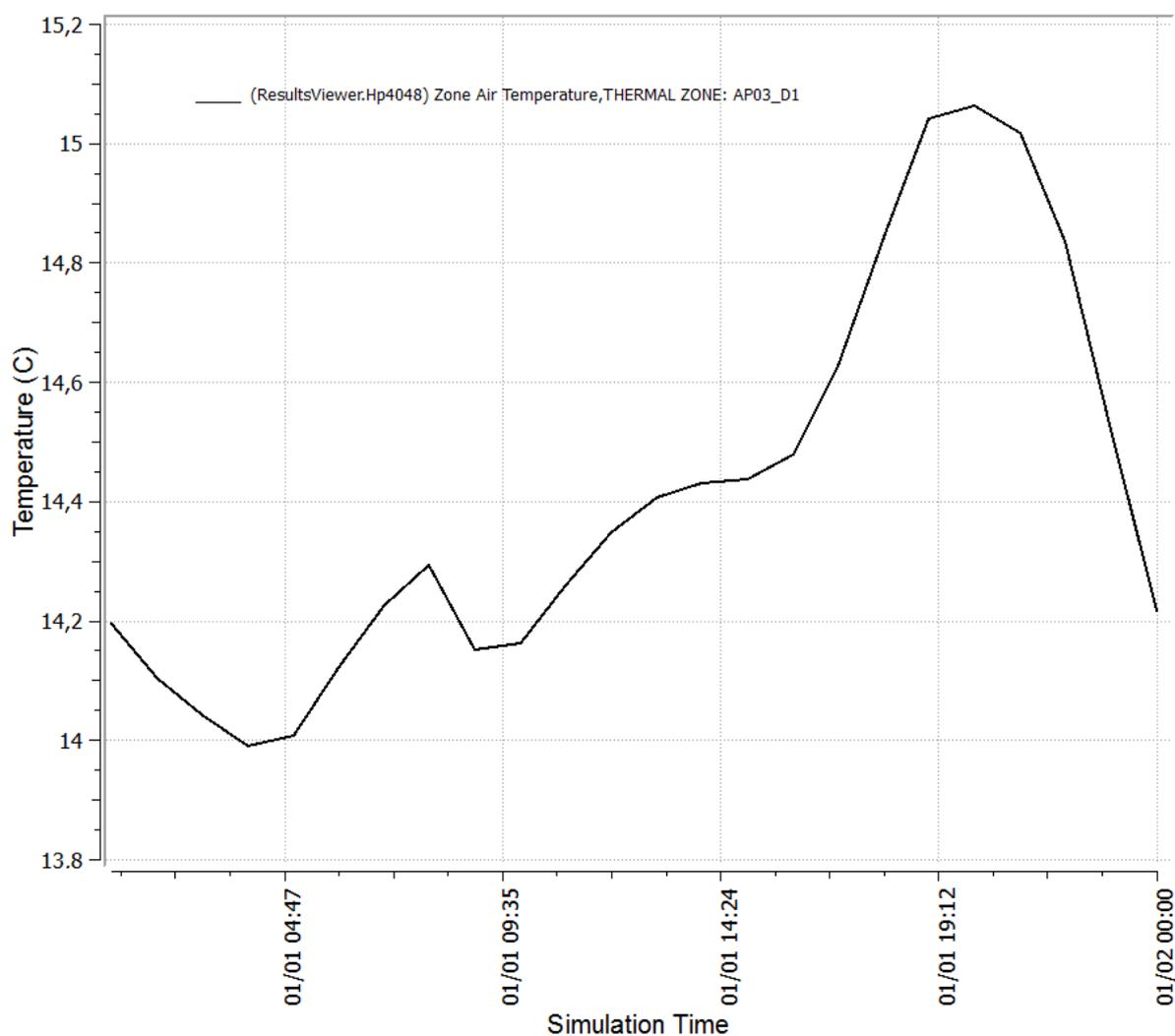
Figura 49 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 14,00° C, conforme ilustrado na Figura 50, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

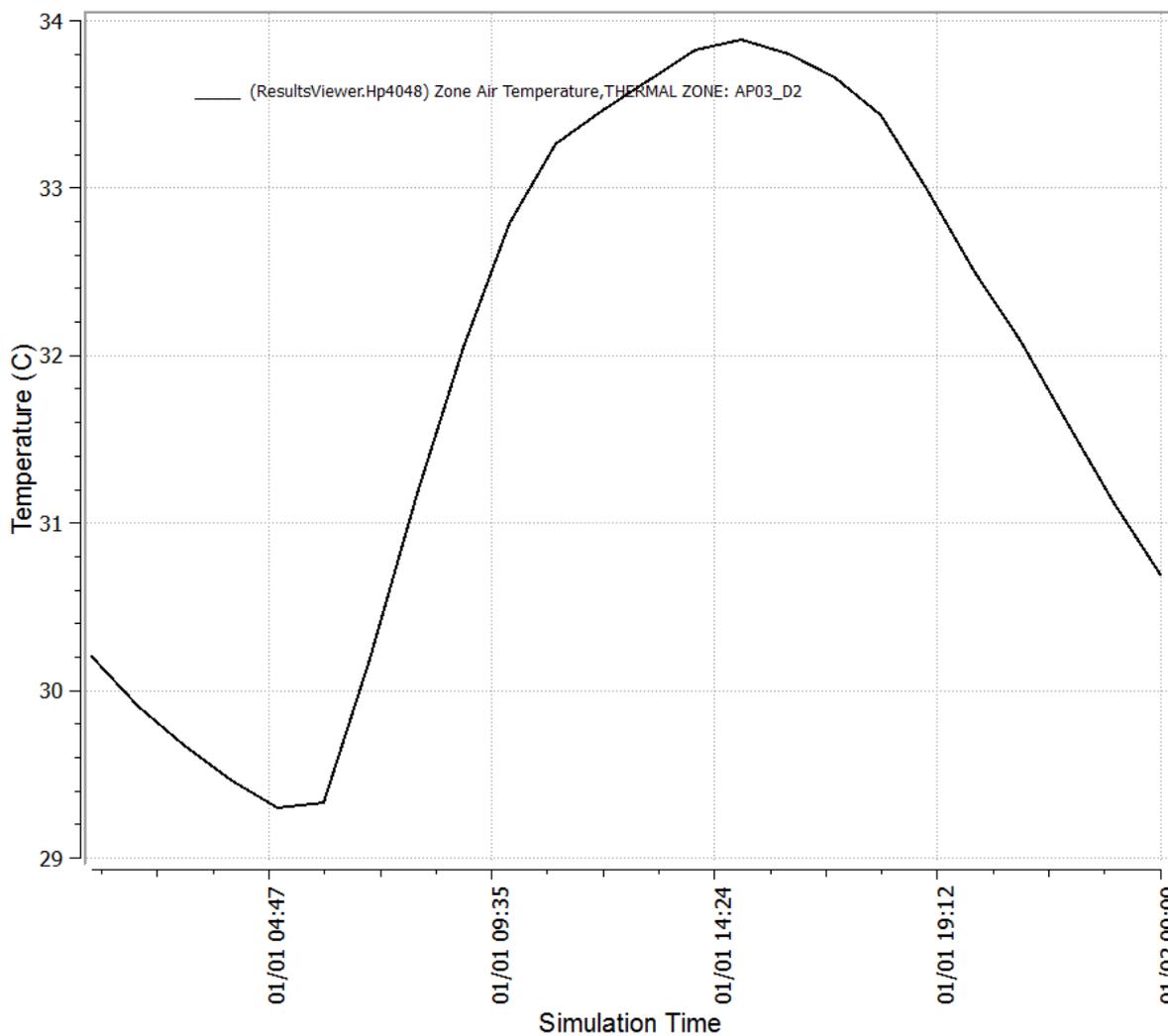
Figura 50 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

- AP03 – Dormitório 02: é o dormitório da unidade 03, que tem a maior quantidade de horas em altas temperaturas. Sua temperatura máxima de 33,85° C, no período de verão, conforme ilustrado na Figura 51, não atende o desempenho mínimo exigido pela norma.

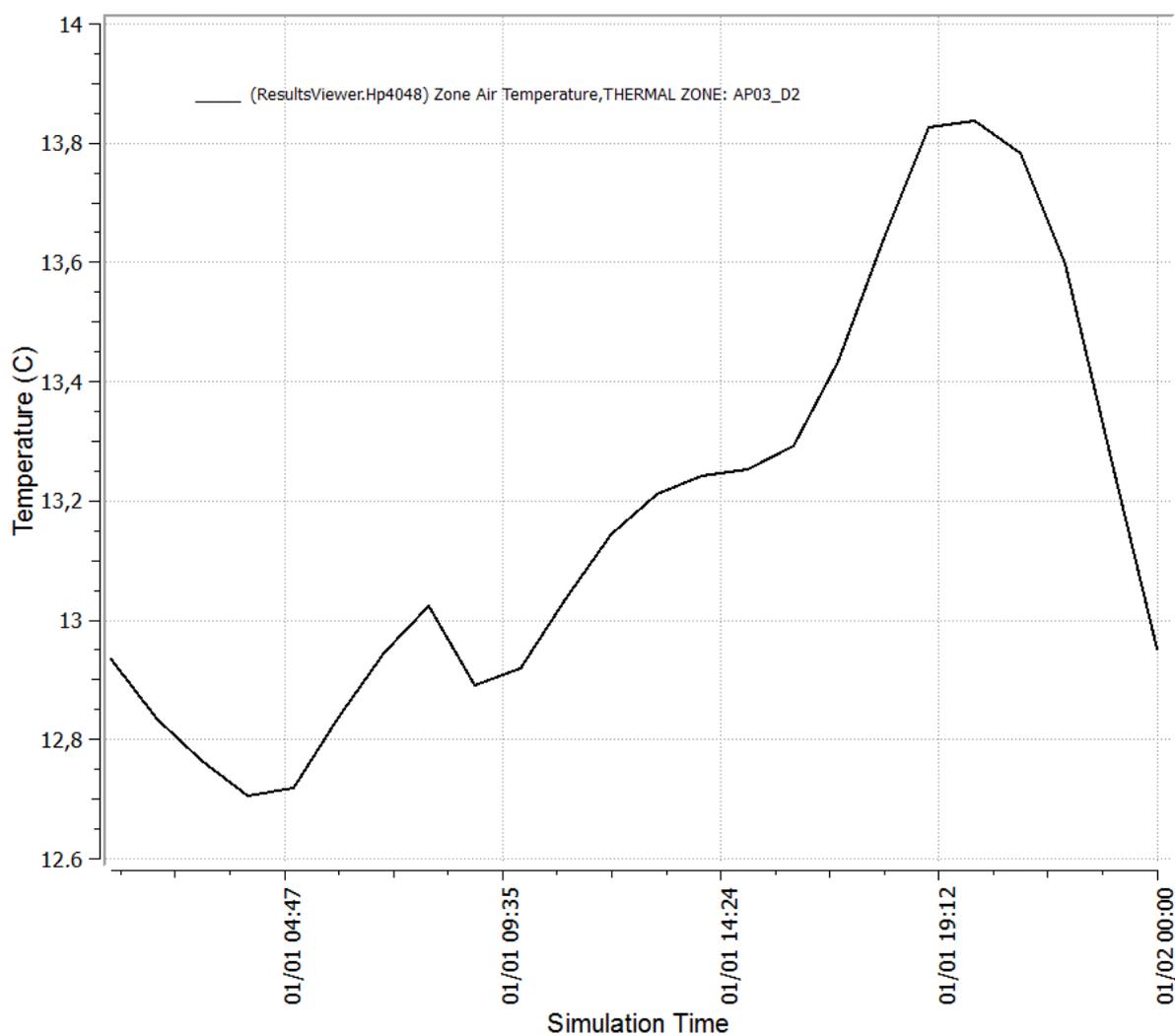
Figura 51 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 12,7° C, conforme ilustrado na Figura 52, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho intermediário da norma.

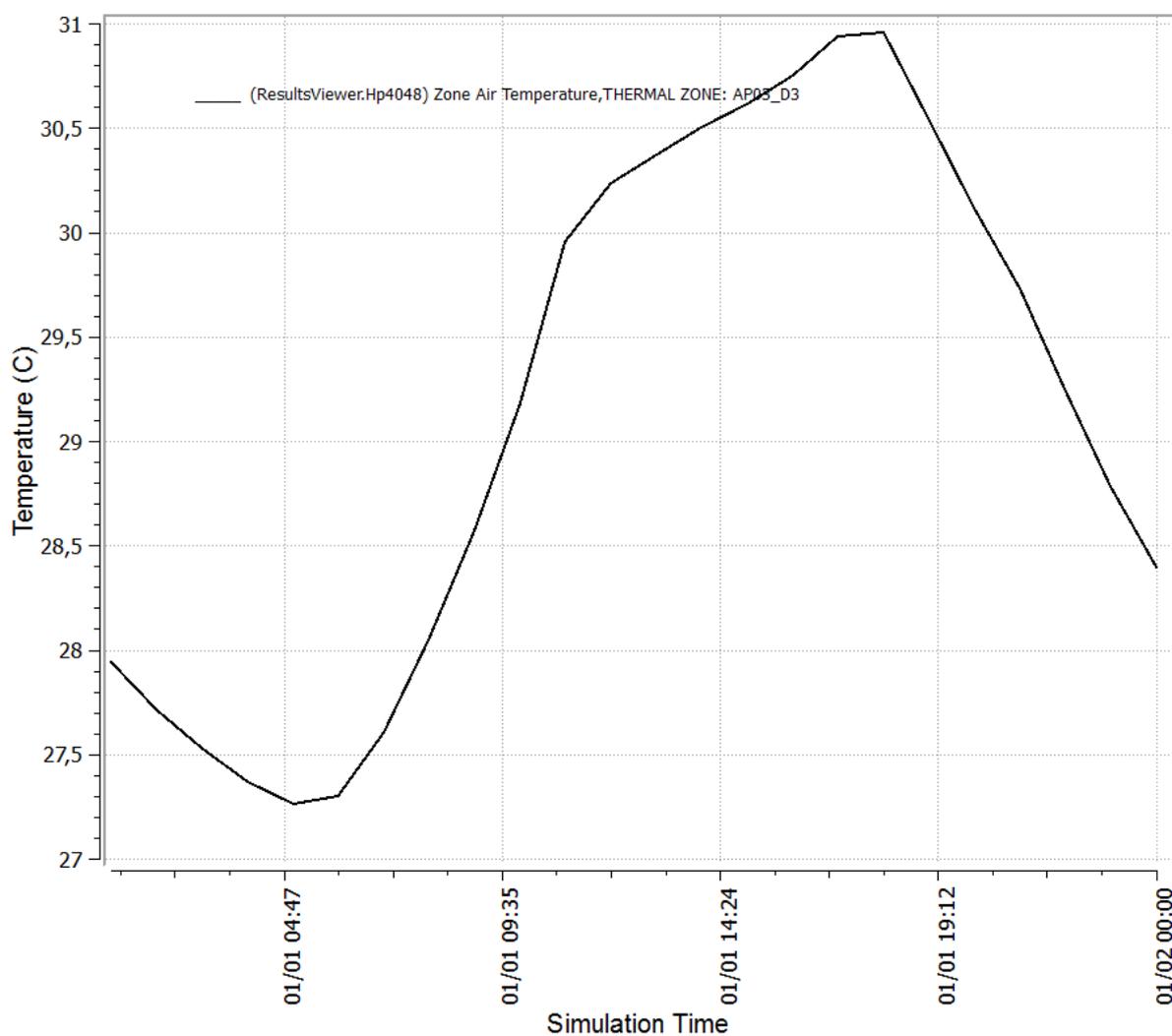
Figura 52 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP03 – Dormitório 03:** é o dormitório da unidade 03, com a menor porcentagem de horas no ano em altas temperaturas. Sua temperatura máxima de 30,90° C no período de verão, conforme ilustrado na Figura 53, se mantem 1,0°C abaixo da temperatura máxima no período de verão, portanto atendendo ao nível de desempenho mínimo da norma.

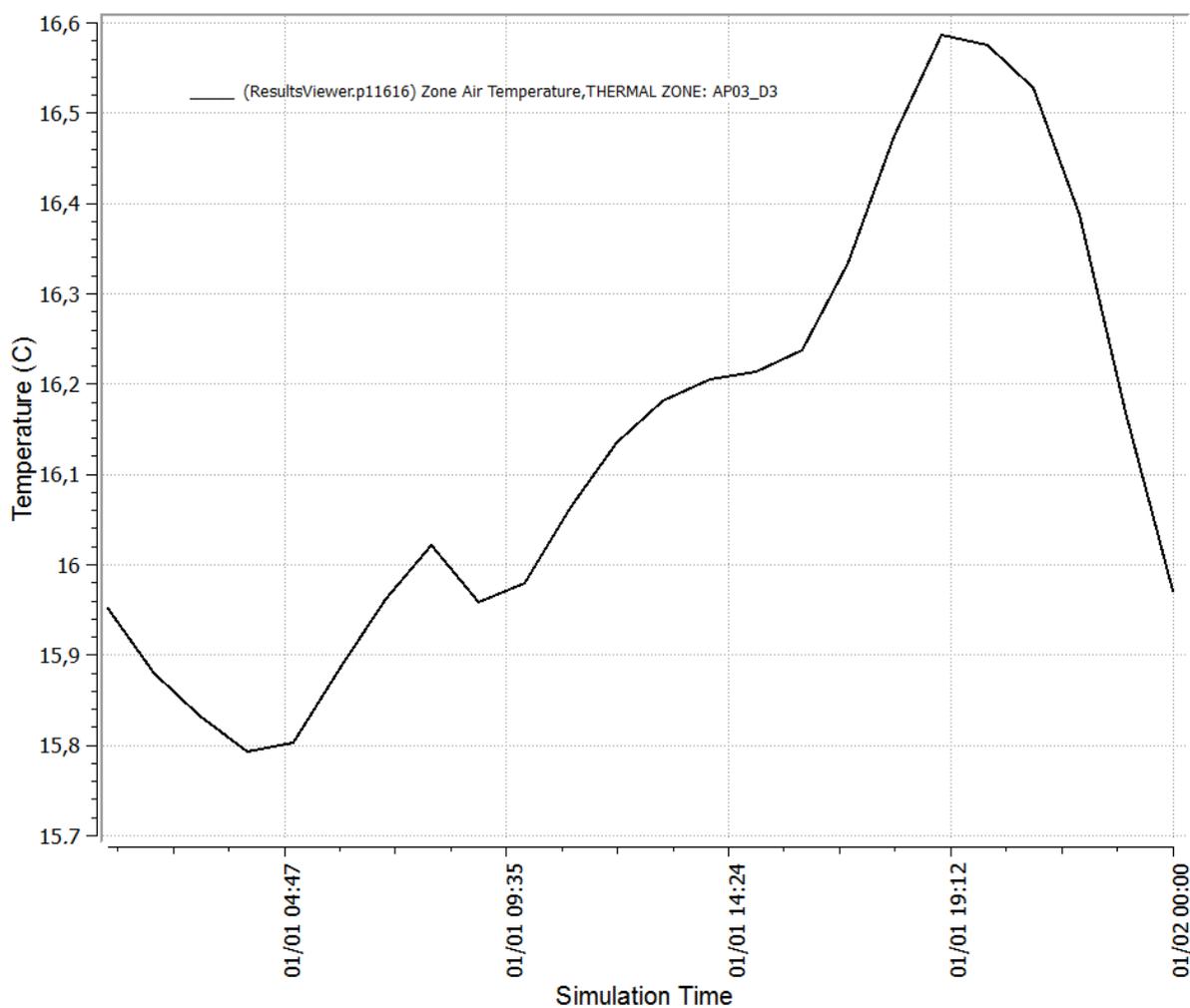
Figura 53 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 15,79° C, conforme ilustrado na Figura 54, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

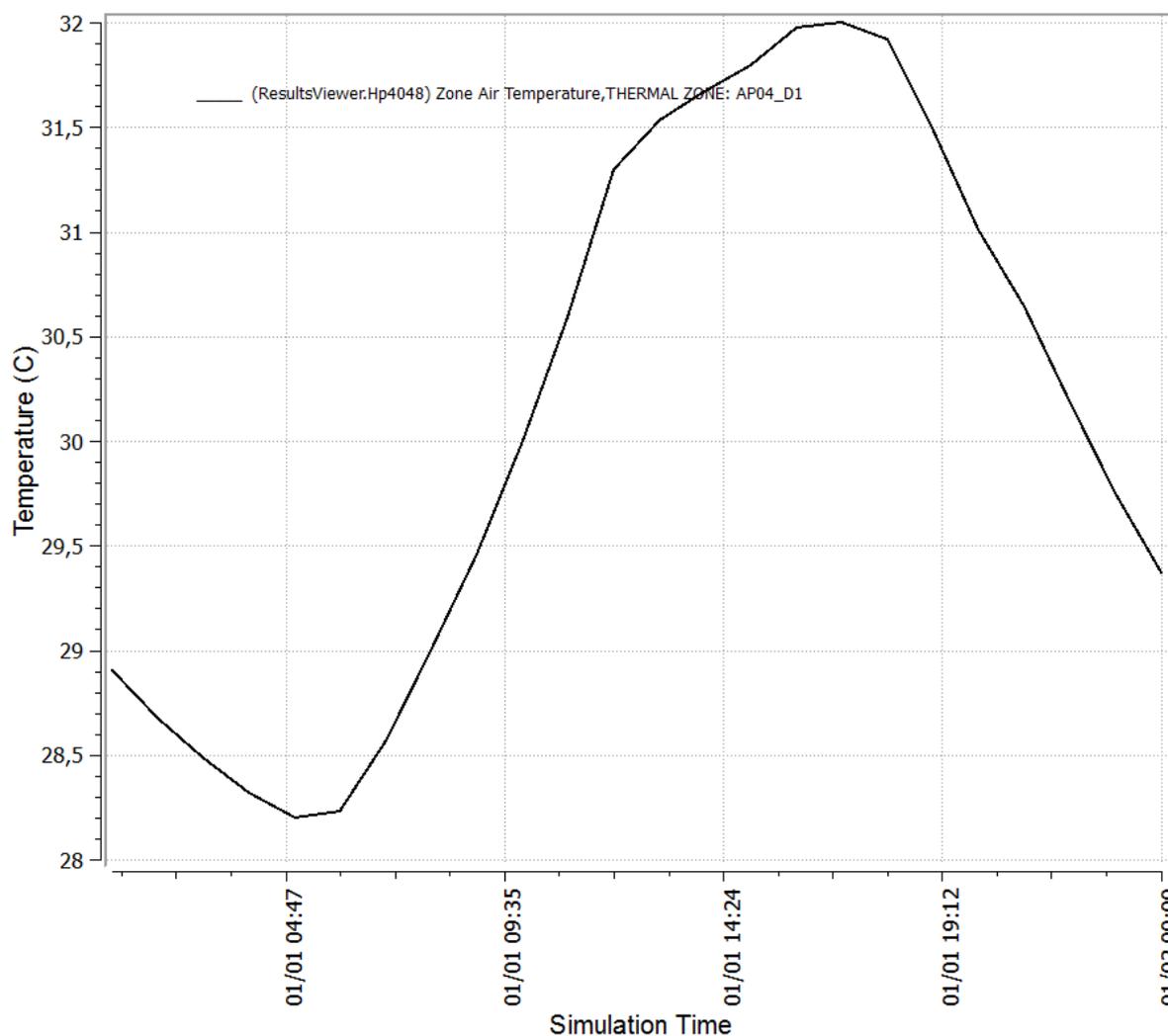
Figura 54 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 03



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP04 – Suíte:** a suíte da unidade 04, conforme Figura 55, é exposta a radiação solar direta no verão no período da tarde, alcançando a temperatura de 32,00° C, portanto não atendendo ao nível de desempenho mínimo da norma.

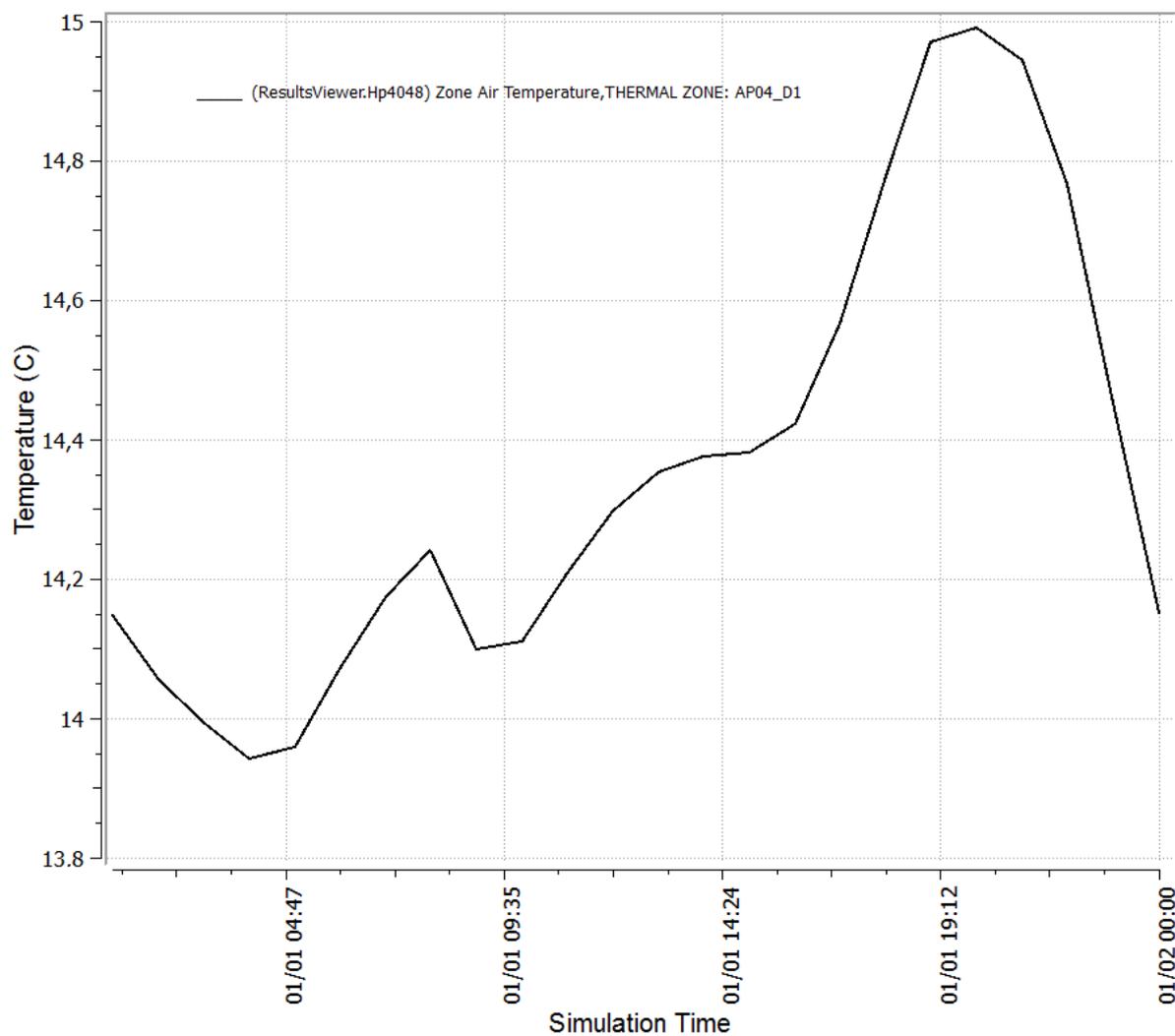
Figura 55 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 01 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

Suíte - No inverno sua temperatura mínima é de 13,90° C, conforme ilustrado na Figura 56, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

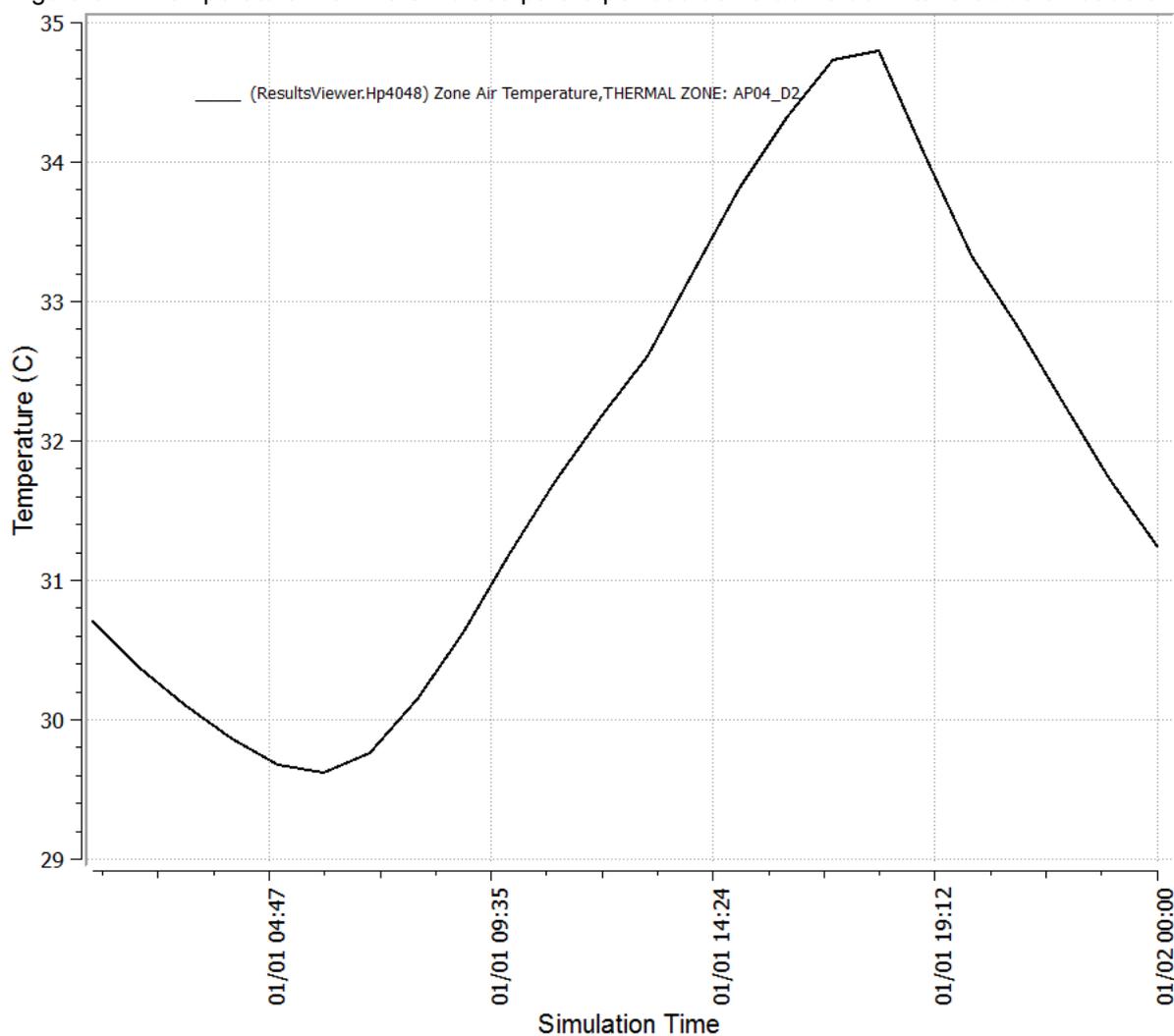
Figura 56 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 01 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP04 – Dormitório 02:** é o dormitório da unidade 04, que tem a maior quantidade de horas em altas temperaturas, com 24,27% das horas do ano acima de 25,5° C. Sua temperatura máxima de 34,75° C, no período de verão, conforme ilustrado na Figura 57, excede a temperatura máxima exigida pela norma, portanto não atendendo a nível de desempenho mínimo da norma.

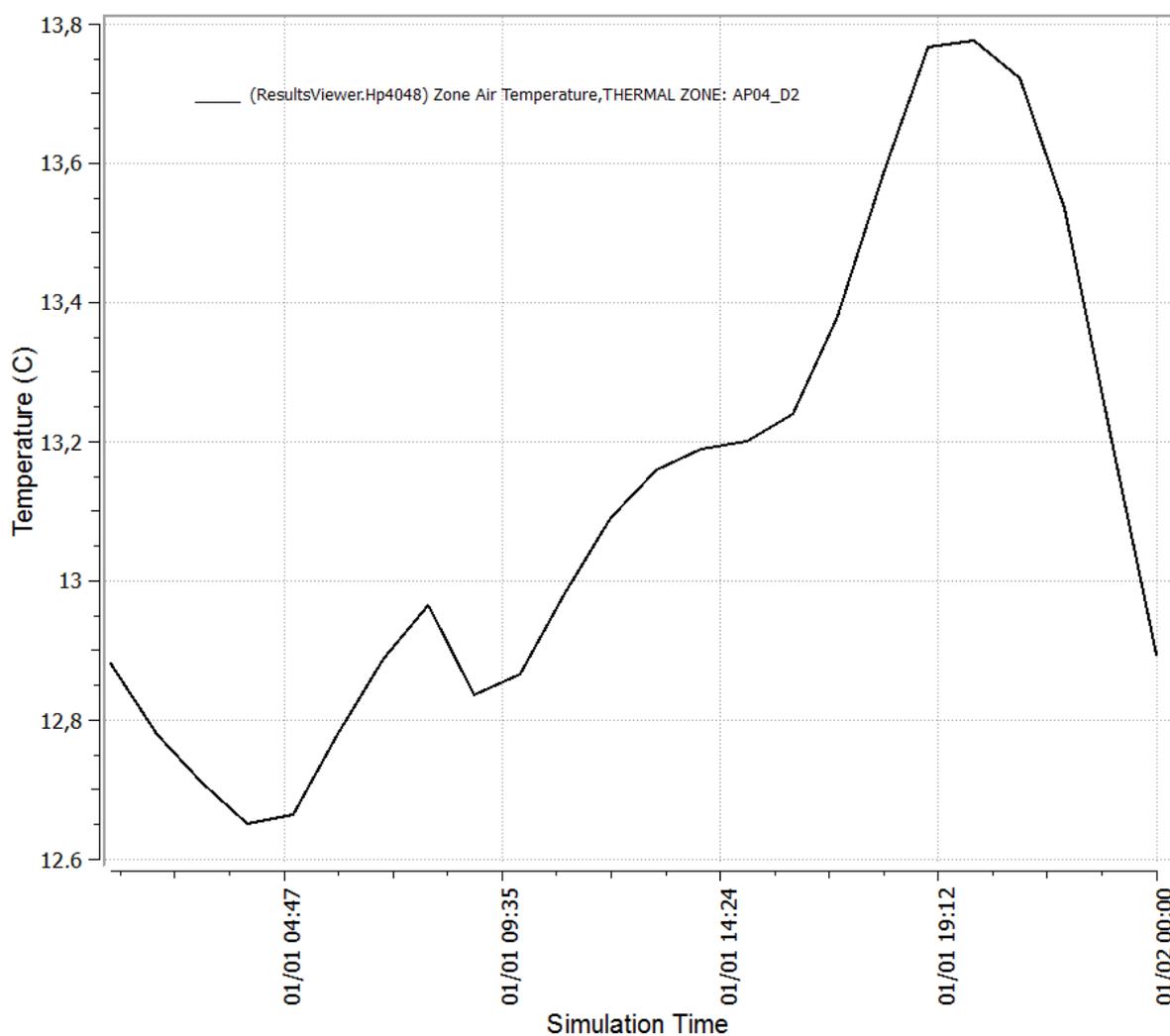
Figura 57 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 02 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 12,65° C, conforme ilustrado na Figura 58, o que caracteriza o atendimento ao nível intermediário da norma.

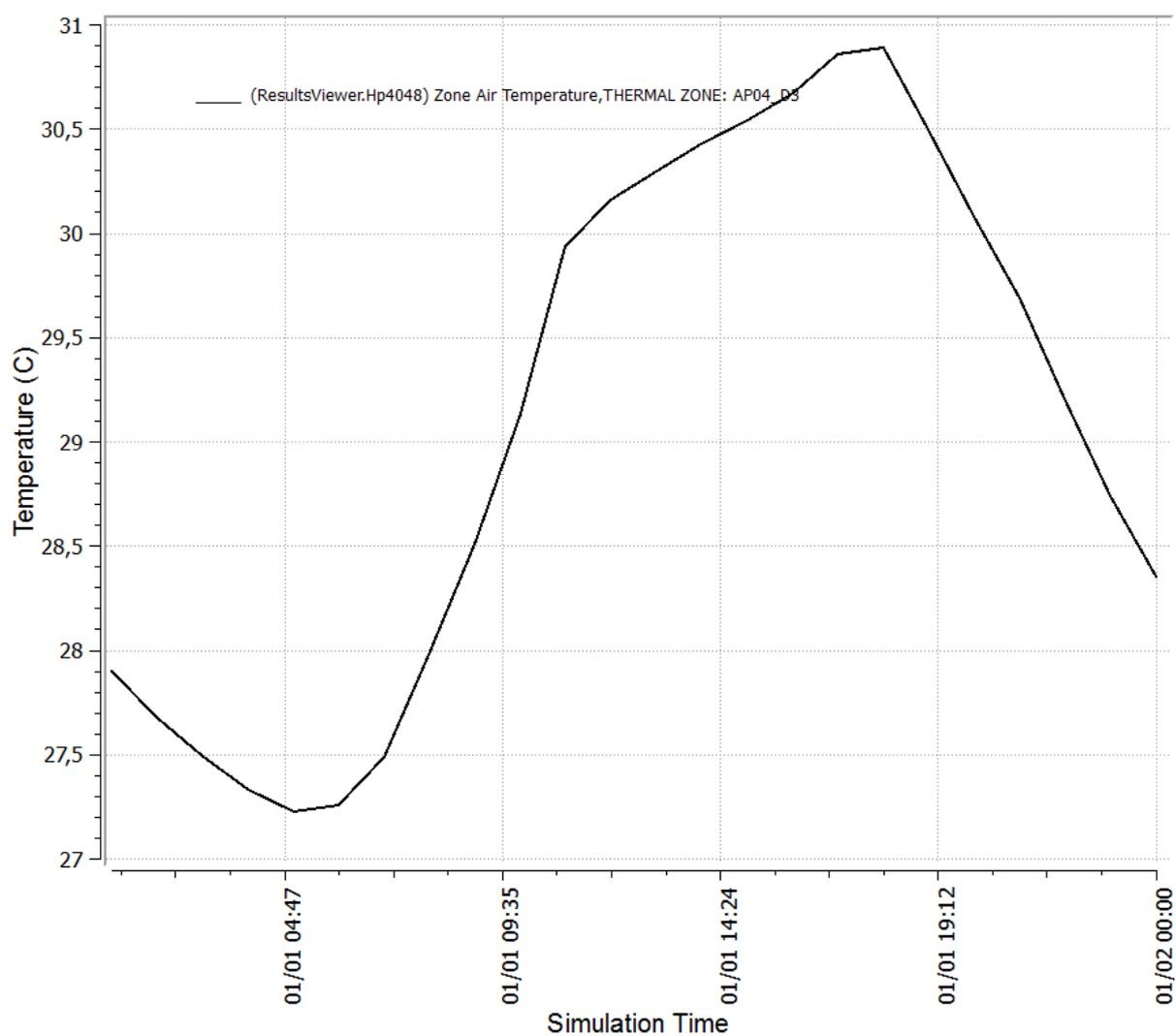
Figura 58 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 02 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

- **AP04 – Dormitório 03:** sua temperatura máxima de 30,85° C no período de verão, conforme ilustrado na Figura 59, se mantém abaixo da temperatura máxima no período de verão, portanto atendendo ao nível de desempenho mínimo da norma.

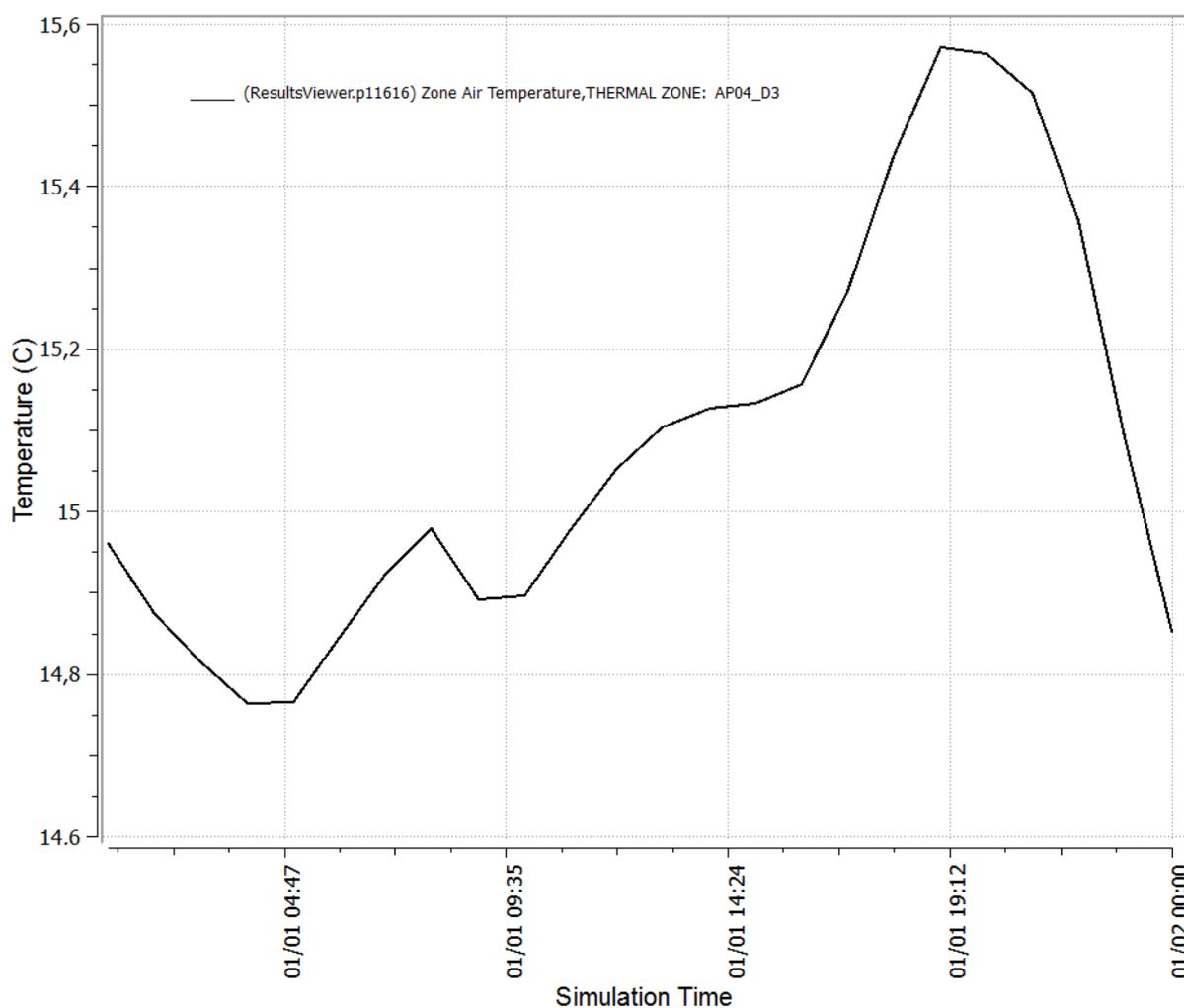
Figura 59 – Temperatura máxima simulada para o período de verão no dormitório 03 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

No inverno sua temperatura mínima é de 14,75° C, conforme ilustrado na Figura 60, o que caracteriza o atendimento ao nível de desempenho superior da norma.

Figura 60 – Temperatura mínima simulada para o período de inverno no dormitório 03 da unidade 04



Fonte: Desenvolvimento do autor

Com base nos resultados da simulação computacional da norma ABNT NBR 15575 é apresentado na Tabela 43 um resumo dos ambientes com os respectivos níveis de atendimento para o verão e o inverno.

Tabela 43 – Resumo do nível de atendimento por ambiente simulado

Unidade	Ambiente	Valores obtidos por meio da simulação verão	Nível de Atendimento	Valores obtidos por meio da simulação inverno	Nível de Atendimento
01	Suíte	31,40° C	Mínimo	13,87° C	Superior
01	Dorm 02	34,20° C	Não Atende	12,65° C	Intermediário
01	Dorm 03	30,65° C	Mínimo	14,65° C	Superior
02	Suíte	31,30° C	Mínimo	13,95° C	Superior
02	Dorm 02	34,60° C	Não Atende	12,67° C	Intermediário
02	Dorm 03	30,70° C	Mínimo	14,95° C	Superior
03	Suíte	31,75° C	Mínimo	13,99° C	Superior
03	Dorm 02	33,90° C	Não Atende	12,70° C	Intermediário
03	Dorm 03	30,90° C	Mínimo	15,79° C	Superior
04	Suíte	32,00° C	Não Atende	13,90° C	Superior
04	Dorm 02	34,85° C	Não Atende	12,65° C	Intermediário
04	Dorm 03	30,80° C	Mínimo	14,75° C	Superior

Fonte: Desenvolvimento do autor

5.5 Etapa B3 – Medição *In Loco*

A medição *in loco* é um dos métodos de medição reconhecidos pela Norma NBR 15575 para avaliação de conforto térmico e, embora não seja objeto deste estudo de caso, foi realizada para identificação do perfil e comportamento térmico com ocupação. Os dados obtidos serão utilizados para embasar os fundamentos de conforto térmico e como instrumento complementar de análise.

De acordo com a Norma de Desempenho, a medição *in loco* deve seguir as seguintes exigências:

- Ser realizada em escala real.
- Respeitar os procedimentos apresentados nos Anexo A1 e A7.
- Medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos de alta permanência a 1,20 m do piso.
- Os sensores devem ser montados com base na ISO 7726.
- Escolher uma ou mais unidades que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas.

- Verão: janela do dormitório ou sala voltada para o oeste e outra parede exposta voltada para o norte.
- Inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para o sul e outra parede voltada para o leste.
- Selecionar unidades do último andar, em caso de edifício multipiso.
- O período de medição deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido de, pelo menos, mais um dia com características semelhantes. É recomendável trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados obtidos no terceiro dia.

Para a medição *in loco*, foi realizada a medição simultânea dos três dormitórios de uma das unidades habitacionais, objeto deste estudo de caso. A unidade escolhida é o Apartamento 01, onde as janelas de dois dormitórios estão voltadas para o norte.

Foram utilizados medidores de temperatura do tipo *datalogger* nos três ambientes avaliados, sendo que, em um deles, além da medição interna, foi realizada a medição da temperatura externa por meio de uma sonda termopar Tipo K, conectada ao medidor de temperatura interno, conforme apresentado na Figura 61.

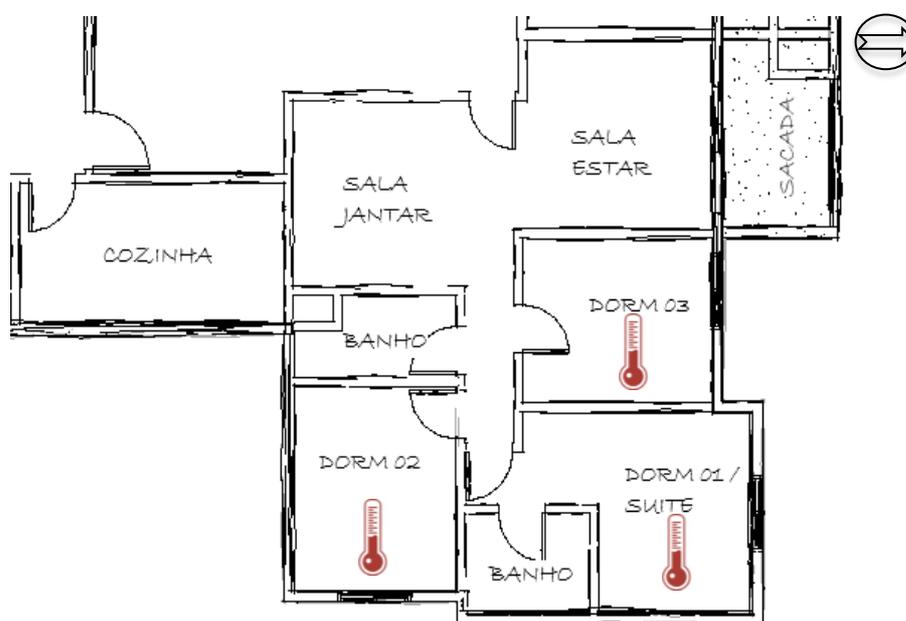
Figura 61 – Imagem dos *dataloggers* escolhidos para avaliação das temperaturas



Fonte: Desenvolvimento do autor

A medição foi realizada em um dia verão, no mês de janeiro do ano de 2017. O céu estava parcialmente encoberto, com muitas nuvens. Todos os ambientes avaliados estavam mobiliados, desocupados no período da avaliação diurna e sem fonte de geração de calor expressivos. As janelas foram abertas e as persianas levantadas com objetivo de avaliar a influência da radiação solar direta. Os medidores foram posicionados em cada um dos dormitórios, conforme planta esquemática ilustrada na Figura 62.

Figura 62 – Planta esquemática da instalação e posicionamento dos *dataloggers*



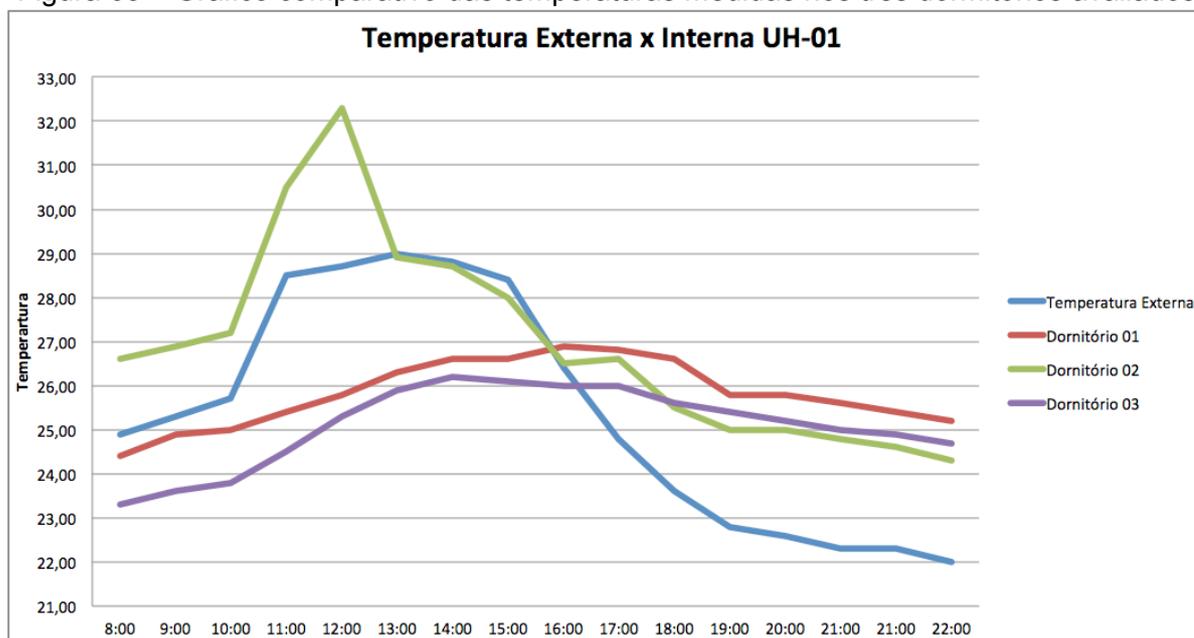
Fonte: Desenvolvimento do autor

Inicialmente, o dormitório 02, que tem sua janela voltada para o leste, obteve um grande aumento de temperatura, quando as nuvens deixaram de obstruir a radiação solar, aumentando sua temperatura interna de 26,6°C para 32,3°C num período de quatro horas, e uma diferença de 3,8°C em relação à temperatura externa, conforme observado na Figura 62 no horário das 12:00 horas.

A partir das 10:30 horas da manhã, o sol começou a influenciar os dormitórios orientados para o norte. A temperatura interna dos dormitórios 01 e 03 aumentou gradativamente, mantendo-se abaixo da temperatura externa. O dormitório 03, que não sofre a radiação direta nas primeiras horas da manhã, manteve sua temperatura interna abaixo daquela obtida pelo dormitório 01.

No início da tarde, a temperatura externa começou a diminuir em razão do encobrimento de nuvens e diminuição da radiação direta, alta umidade relativa (85%) e ventos de 13 km/h. A temperatura interna do dormitório 02 sofreu drástica redução no início da tarde, ficando por algumas horas abaixo da temperatura externa. Os dormitórios 01 e 03 atingiram a temperatura máxima do dia entre às 14:00 e 16:00 horas, ficando, a partir desse horário, acima da temperatura externa (Figura 62).

Figura 63 – Gráfico comparativo das temperaturas medidas nos três dormitórios avaliados



Fonte: Desenvolvimento do autor

A medição *in loco* permitiu identificar claramente a influência da ventilação natural e da umidade relativa no conforto térmico. O ambiente com a maior exposição à radiação solar direta foi o que demonstrou a maior amplitude térmica. Esta amplitude não seguiu a mesma tendência nos demais dormitórios, em razão da mudança climática ocorrida no dia da avaliação, reduzindo, no período da tarde, a temperatura externa e aumentando a umidade relativa com a incidência de chuvas no final da tarde. É possível afirmar que os demais ambientes expostos à radiação solar direta sofreriam uma amplitude próxima ou equivalente, principalmente o dormitório 01 (suíte), que é exposto à radiação solar direta nos períodos da manhã e início da tarde.

Contudo, de acordo com a norma ABNT NBR 15575, por meio do método de medição *in loco*, os ambientes avaliados não atendem aos níveis mínimos de desempenho requeridos pela norma, que são equânimes aos requeridos por meio do método de Simulação Computacional, ou seja, para atender aos requisitos mínimos, o ambiente avaliado deveria manter sua temperatura interna abaixo da temperatura externa.

Mesmo assumindo uma imprecisão de mais ou menos 0,5°C, a medição *in loco* é um instrumento que pode ajudar na avaliação do desempenho térmico das unidades, além de retroalimentar a equipe de projeto. Por meio da análise dos resultados obtidos, é possível afirmar que uma edificação que atende ao requisito de conforto térmico da NBR15575 por meio do Método Simplificado sem recorrer a estratégias complementares para obtenção de conforto térmico, não garantirá o atendimento aos requisitos de conforto dos usuários.

5.6 Etapa B4 – Análise da Aplicação ao Processo de Certificação AQUA-HQE™

Como último instrumento, analisou-se a aderência da edificação objeto deste estudo de caso à luz do Processo de Certificação AQUA-HQE™ - Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção (versão de abril de 2016), limitando-se à análise dos critérios relacionados direta e indiretamente ao desempenho térmico, foco deste trabalho.

Na coluna Nível são indicados os requisitos obrigatórios representado pela letra “B” (BASE), e a quantidade de pontos atribuídos aos requisitos não obrigatórios.

5.6.1 Categoria 8 – Conforto Higrotérmico

8.1 - Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto térmico higrotérmico de verão e inverno

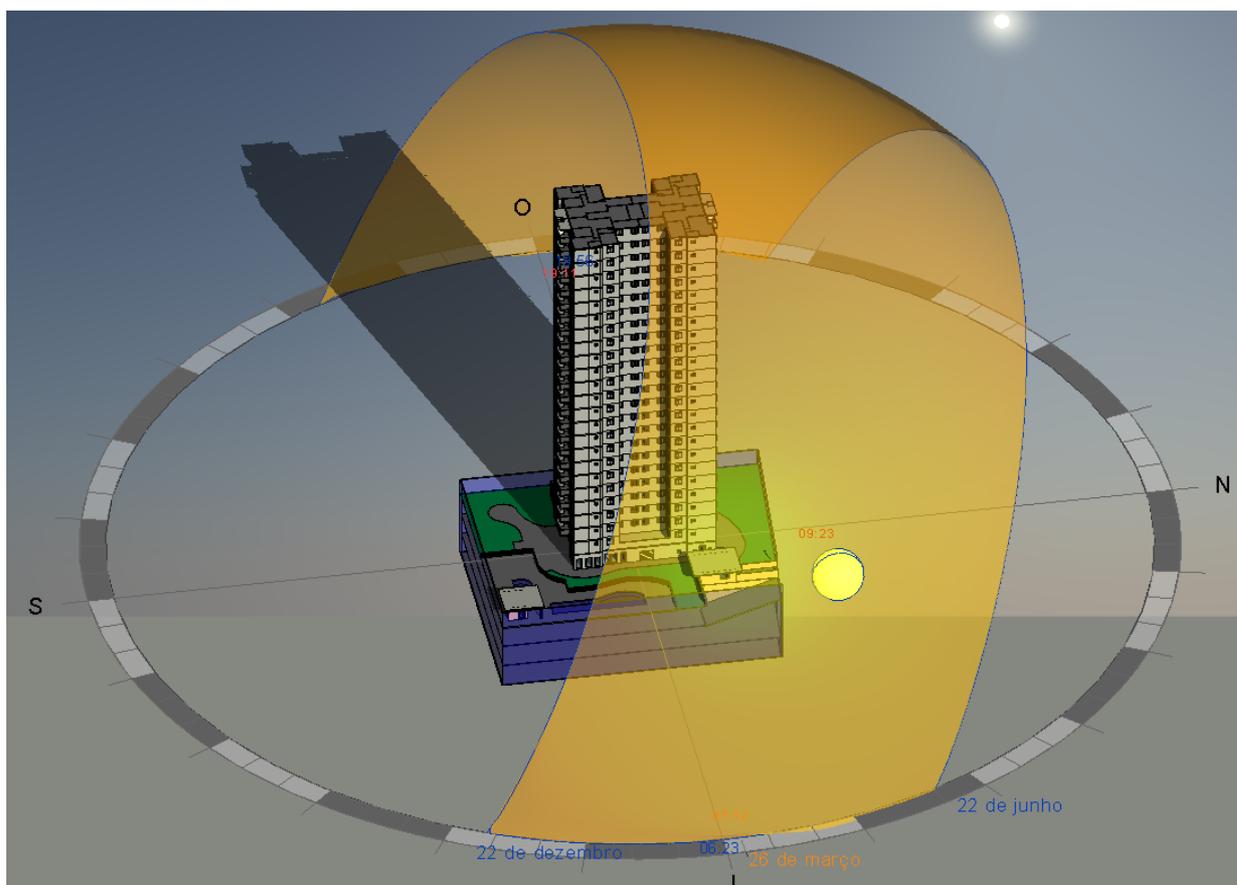
Tabela 44 – Categoria 8.1 – AQUA-HQE™

Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto térmico higrotérmico de verão e inverno	Nível
Medidas adotadas para proteção ótima quanto ao sol e o calor	B
Medidas adotadas para empregar de maneira ótima o potencial bioclimatológico aplicado a arquitetura do empreendimento	1
Realização de um estudo aerodinâmico para identificar as melhores soluções por meio de simulação computacional	2
Por meio de uma concepção arquitetônica adequada, o empreendedor descreve de que maneira favorece as boas condições de conforto higrotérmico no verão e no inverno	B

Fonte: Desenvolvimento do autor

As fachadas da edificação objeto do estudo são: norte, sul, leste e oeste, conforme ilustrado na Figura 64.

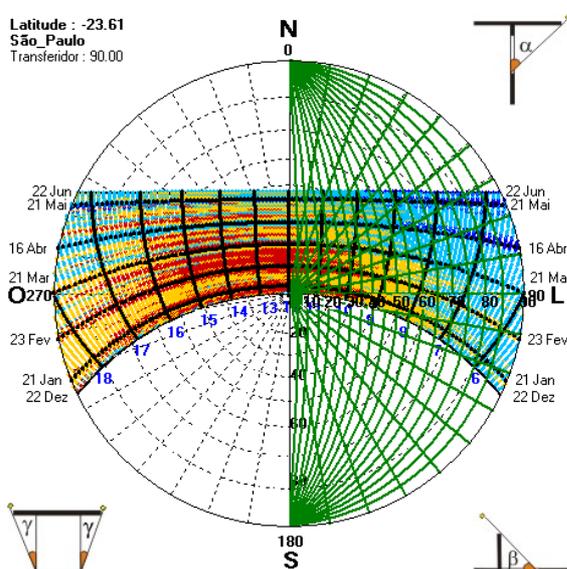
Figura 64 – Modelo tridimensional posicionado representando a trajetória do sol



Fonte: Desenvolvimento do autor

Na fachada leste, representada na Carta Solar da Figura 65, encontram-se as cozinhas, áreas de serviço e banheiros das unidades ímpares. Ainda nesta fachada estão os dormitórios 02 e uma das faces do dormitório 01 (suíte). Todos esses ambientes recebem a insolação direta no período da manhã, durante todo o ano. No inverno, a cozinha e a área de serviço da unidade 01 não recebem a luz do sol diretamente em razão da forma “H” da edificação bloquear a radiação solar direta após as 11:00 horas da manhã.

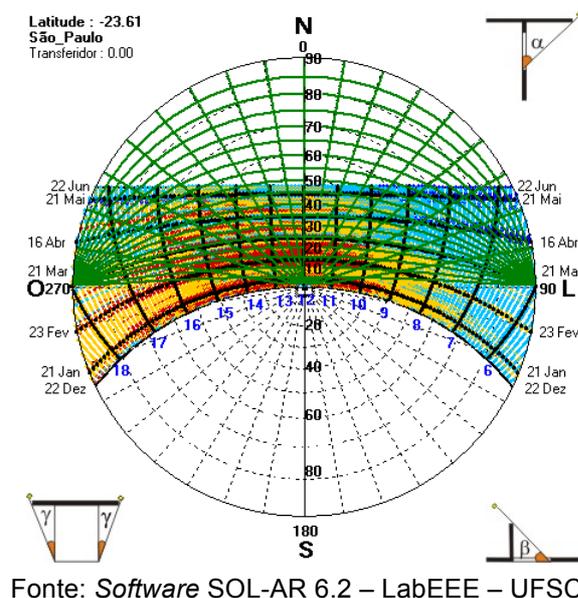
Figura 65 – Carta Solar da fachada leste do empreendimento em relação à sua localização



Fonte: Software SOL-AR 6.2 – LabEEE – UFSC

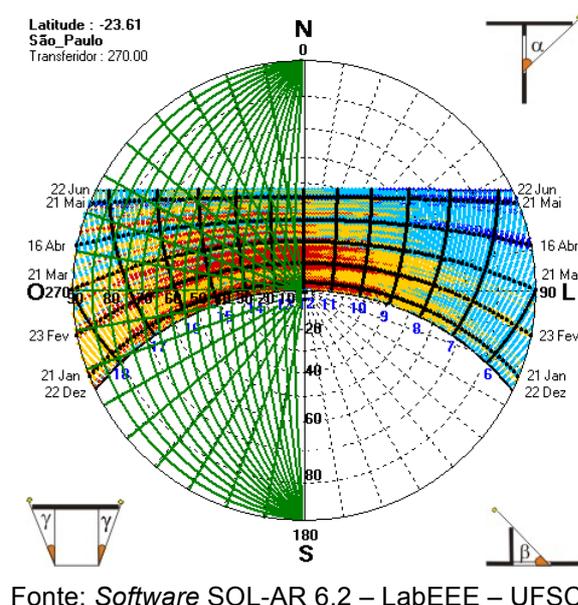
Na fachada norte, representada na Carta Solar da Figura 66, estão orientadas a suíte da unidade 01, o dormitório 03, a sacada e a sala, que recebem a insolação no período da manhã no outono e na primavera. No período da tarde, a unidade 02 recebe a insolação dos mesmos ambientes citados, na mesma época do ano.

Figura 66 – Carta Solar da fachada norte do empreendimento em relação à sua localização



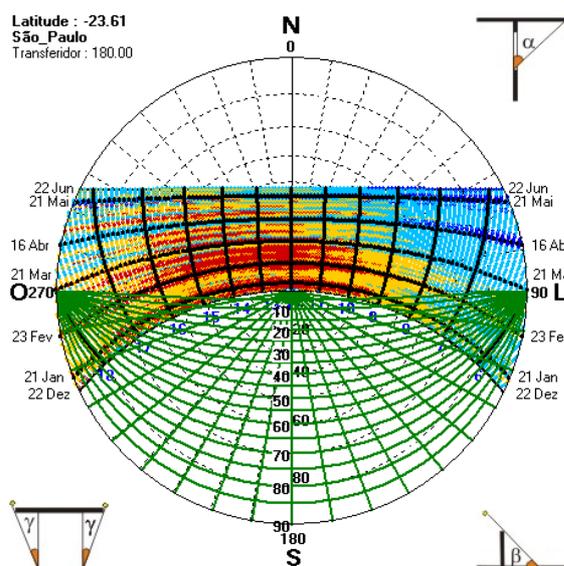
A fachada oeste, representada na Carta Solar da Figura 67, contempla as cozinhas, áreas de serviço e banheiros das unidades pares. Os dormitórios 02 e uma das faces do dormitório 01 (suíte) da unidade 02 também se localizam nesta fachada. Todos esses ambientes recebem a insolação direta no período da tarde, durante todo o ano. No inverno, no final da tarde, a cozinha e a área de serviço da unidade 03 não recebem a luz solar diretamente em razão da forma “H” da edificação.

Figura 67 – Carta Solar da fachada oeste do empreendimento em relação à sua localização



A fachada sul, representada na Carta Solar da Figura 68, recebe os raios solares no verão apenas no início da manhã e no final da tarde, com maior incidência na sacada das unidades. É a fachada que recebe a menor quantidade de insolação, portanto, a menos favorável com relação ao conforto térmico.

Figura 68 – Carta Solar da fachada sul do empreendimento em relação à sua localização

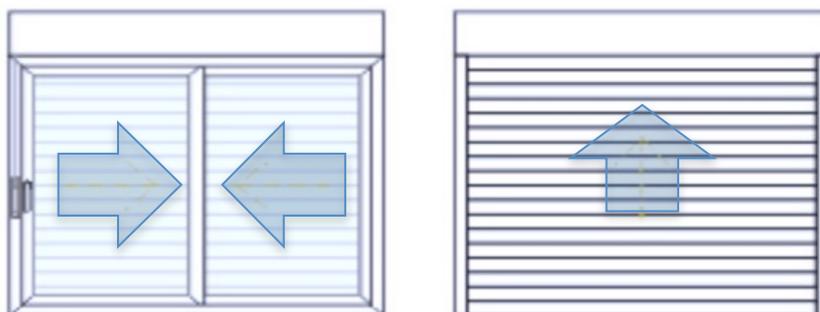


Fonte: *Software SOL-AR 6.2 – LabEEE – UFSC*

Nenhuma das janelas conta com elementos de proteção, como brises ou sacadas, que possam sombrear e reduzir a radiação solar direta. A sala de estar conta com uma sacada que desempenha a função de brise, sombreando a porta de correr.

Nas aberturas dos dormitórios, foram adotadas venezianas de enrolar como forma de proteção solar, de acordo com a Figura 69. A utilização desse tipo de sistema contribui para a redução da temperatura interna, dando ao usuário o controle de fechamento para redução de aumento de temperatura, e abertura para ganho e entrada de ventilação.

Figura 69 – Exemplo de veneziana de enrolar implantada



Fonte: Desenvolvimento do autor

A envoltória do projeto foi concebida com materiais que favorecem as condições de conforto higrotérmico no verão e no inverno. O núcleo contempla bloco cerâmico com reboco na face externa e gesso corrido na face interna.

A edificação objeto deste estudo de caso foi implantada expondo a maior quantidade de ambientes e os de maior permanência às orientações leste e oeste, fazendo com que os dois dormitórios principais das unidades sejam os ambientes mais quentes.

A forma típica do pavimento não favorece a proteção solar de nenhum dos ambientes, e sua distribuição demonstra que esse critério não levado em consideração na concepção do projeto.

8.2 – Conforto em período de inverno

Tabela 45 – Categoria 8.2 – AQUA-HQE™

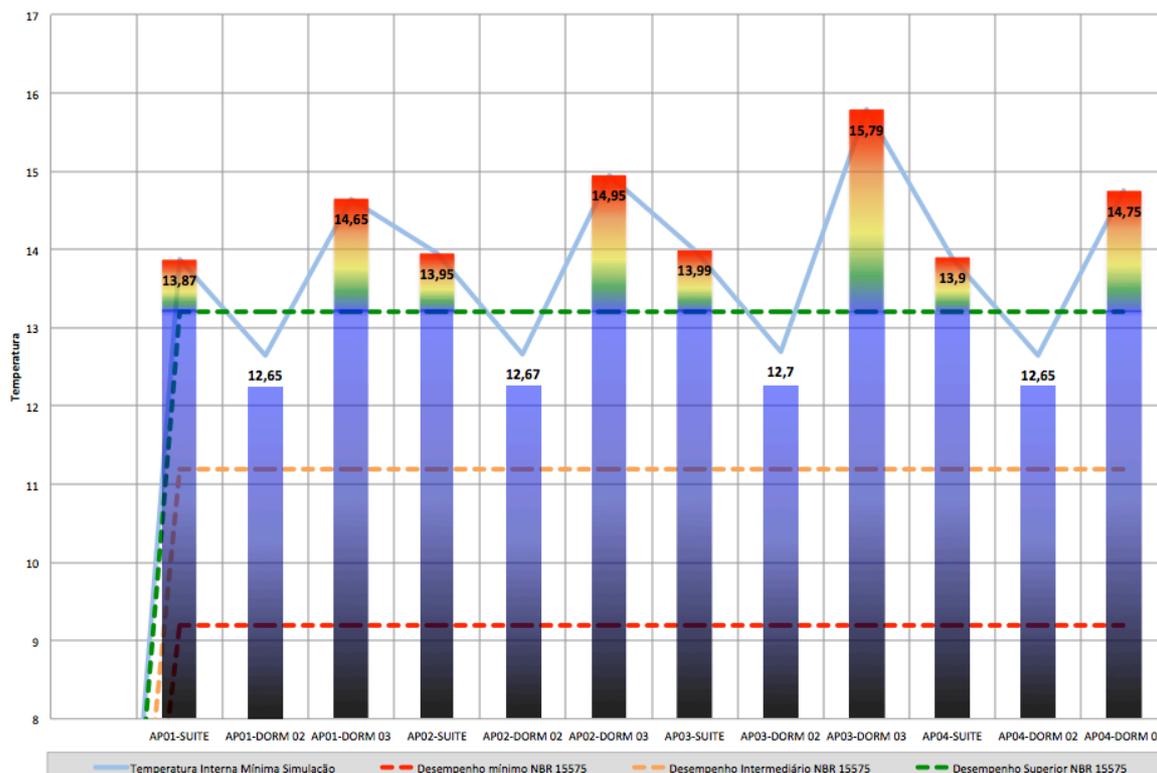
Conforto em período de inverno	Nível
Atendimento ao desempenho térmico mínimo para as condições de inverno da ABNT NBR 15575	B
Percentual de horas ocupadas (POC) em conforto total a partir da simulação do regulamento RTQ-R publicado pelo Inmetro/Procel	3

Fonte: Adaptação do autor de RT_AQUA-HQE-Edifícios_residenciais-2016-04
Fundação Vanzolini (2016)

A NBR 15575 estabelece o dia típico de inverno com a temperatura interna mínima de 6,2°C para a cidade de São Paulo. Para atendimento do desempenho mínimo nessa época do ano, é necessário que a temperatura interna mínima seja, pelo menos, 3° C acima da temperatura mínima diária.

Com base na simulação computacional ilustrada na Figura 70, a temperatura interna mínima dos ambientes simulados, superam o nível de desempenho mínimo da norma, alcançando o nível superior e intermediário, atendendo assim este requisito.

Figura 70 – Gráfico da simulação computacional para o período de inverno
Gráfico simulação desempenho NBR 15575 - Inverno



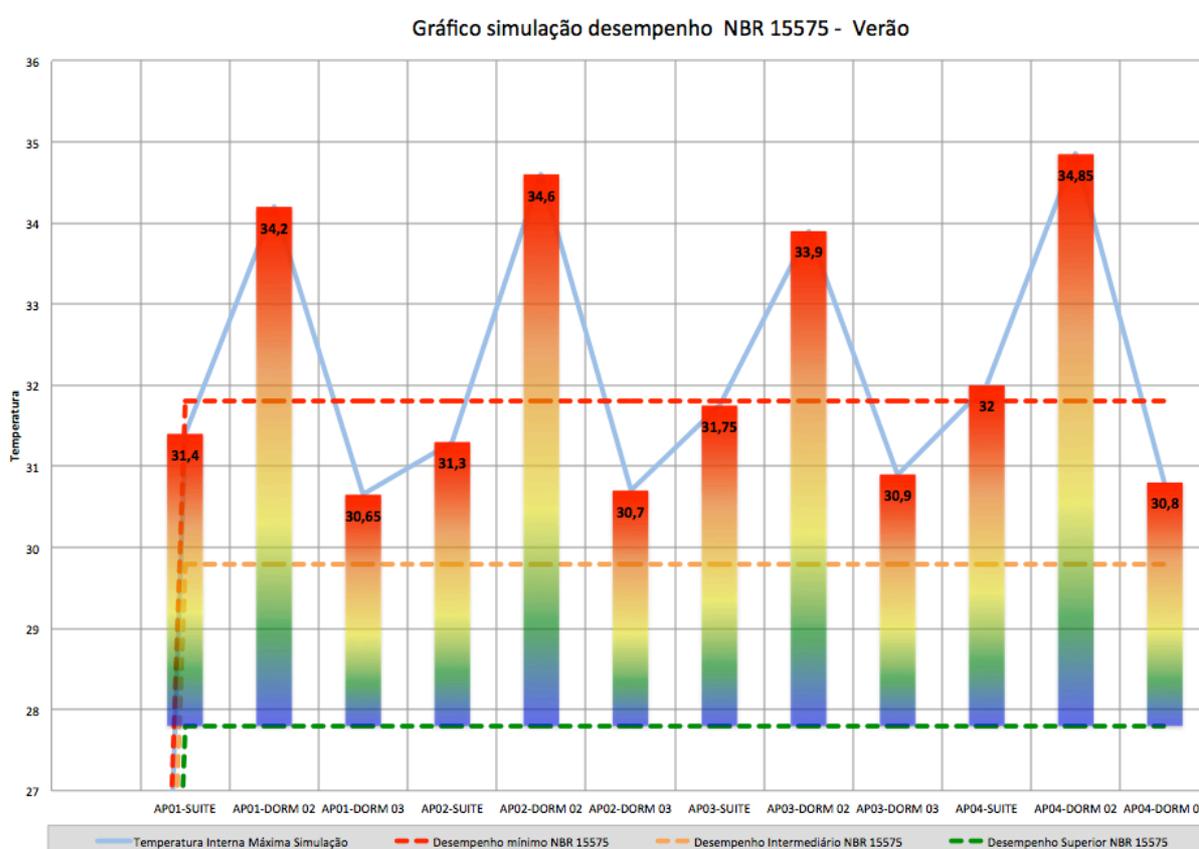
Fonte: Desenvolvimento do autor

Com base nos resultados da simulação, foram plotadas na planta baixa do pavimento tipo da edificação, as temperaturas mínimas internas, em um dia típico de inverno, conforme ilustrado na Figura 71. Esta planta demonstra potencial de atendimento ao nível de desempenho superior da norma ABNT NBR 15575 em boa parte dos dormitórios, e intermediário nos ambientes cuja temperatura estejam abaixo de 13,2°C.

Com base na simulação computacional observada na Figura 72, a temperatura interna máxima dos dormitórios 02 simulados, excedem a temperatura máxima de um dia típico de verão, portanto, não atendem ao desempenho mínimo da norma.

Os dormitórios 03 de cada uma das unidades recebem proteção solar da sacada, sendo os menos expostos à radiação solar direta. Todos atendem ao nível de desempenho intermediário estabelecido pela norma. As suítes atendem ao desempenho mínimo da norma, pois suas temperaturas ficam abaixo de 31,9°C.

Figura 72 – Gráfico da simulação computacional para o período de verão



Fonte: Desenvolvimento do autor

Com base nos resultados da simulação, foram plotadas as temperaturas máximas internas em cada uma das zonas térmicas simuladas em um dia típico de verão, conforme ilustrado na Figura 73, demonstrando quais ambientes não atendem os níveis de desempenho da norma ABNT NBR 15575

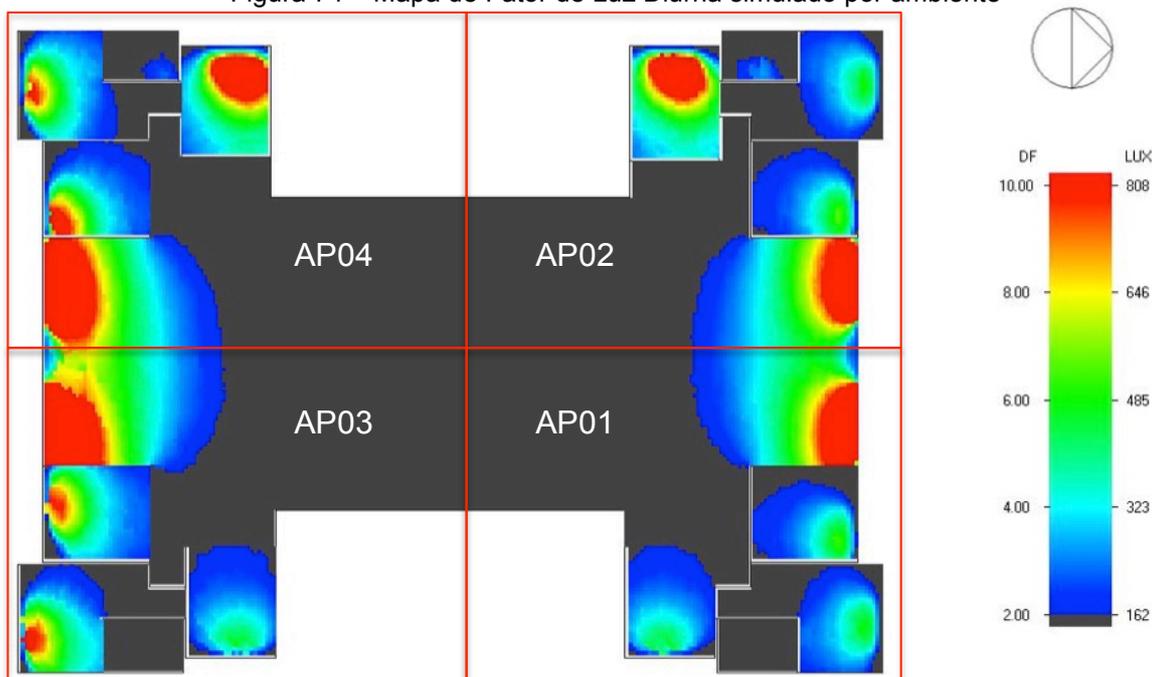
demonstram este fator em cada um dos ambientes simulados. Para desenvolvimento da simulação foi considerado um vidro padrão claro, transparente de 4 mm. Na especificação do dia e do céu foi considerado um dia de céu claro.

Tabela 48 – Fator de luz diurna gerado a partir da simulação computacional

Ambiente	Average Daylight Factor (%)	Minimum Daylight Factor (%)	Maximum Daylight Factor (%)	Uniformity ratio (Min / Avg)	Uniformity ratio (Min / Max)	Min Illuminance	Max Illuminance
AP01_D1	3,62	0,64	10,91	0,18	0,06	51,64	876,96
AP01_D2	6,83	1,19	19,82	0,17	0,06	95,82	1595,27
AP01_D3	3,83	0,98	11,94	0,26	0,08	79,22	960,76
AP02_D1	3,52	0,5	11,16	0,14	0,05	40,53	896,02
AP02_D2	3,04	1,15	5,79	0,38	0,2	92,59	465,87
AP02_D3	4,35	1,04	10,59	0,24	0,1	83,42	852,39
AP03_D1	2,49	0,56	6,4	0,22	0,09	45,09	514,79
AP03_D2	6,95	1,12	19,99	0,16	0,06	90,5	1613
AP03_D3	2,87	0,74	6,55	0,26	0,11	59,9	528,05
AP04_D1	2,51	0,47	6,25	0,19	0,08	38,19	503,23
AP04_D2	2,98	1,04	5,9	0,35	0,18	83,55	474,31
AP04_D3	2,72	0,71	6,41	0,26	0,11	57,07	515,4

Fonte: Desenvolvimento do autor

Figura 74 – Mapa de Fator de Luz Diurna simulado por ambiente



Fonte: Desenvolvimento do autor

5.6.3 Categoria 13 – Qualidade do Ar

13.3 – Ventilação

Tabela 49 – Categoria 13.3 – AQUA-HQE™

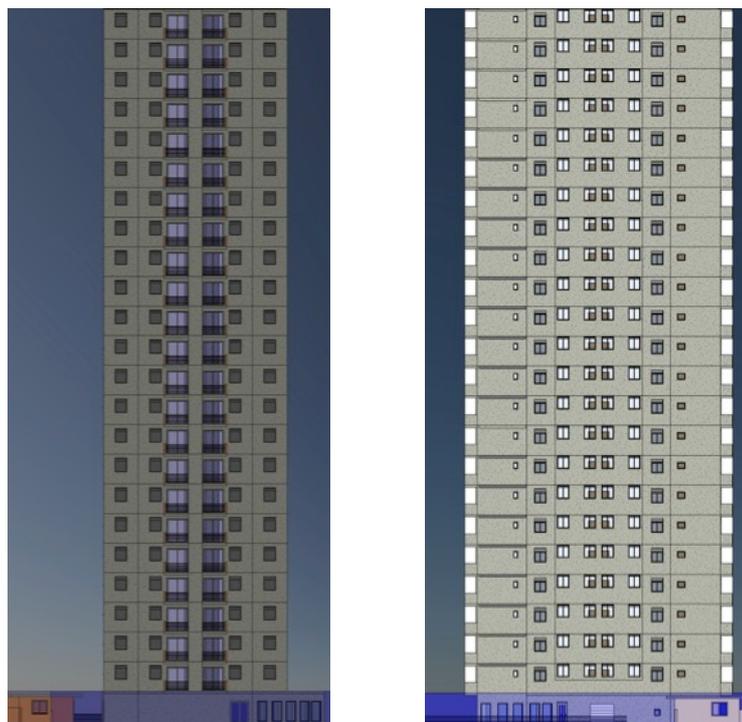
Ventilação	Nível
Descrever o princípio de ventilação das residências (natural, natural assistida ou mecânica controlada)	B
Prever aberturas para o exterior nas diferentes fachadas ou nos dois pisos, no caso de unidades habitacionais duplex, para 80% das residências. Para os 20% restantes, deve ser demonstrada a possibilidade de um aumento de ventilação pelo ocupante (por meio, por exemplo, de um sistema de ventilação mecânica forçada), ou prever que pelo menos um banheiro em cada residência disponha de uma abertura para o exterior	2
Dispositivos de sombreamento não devem impedir o funcionamento adequado das saídas do ar	B
Nas zonas bioclimáticas 2 a 8 a unidade habitacional deve possuir ventilação cruzada ou adotar estratégias de diferencial de pressão	1
O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar. As aberturas devem atender a proporção $A2/A1 \geq 0,25$, onde A1 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura e A2 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações	3
Área mínima das aberturas para garantir ventilação satisfatória nos dormitórios e salas de estar das unidades autônomas devem atender ao percentual de desempenho mínimo da ABNT 15575-4	B
Prever aberturas em lavabos e banheiros	2

Fonte: Desenvolvimento do autor

A edificação analisada foi projetada com o princípio de ventilação natural em todas as unidades. Todos os ambientes possuem aberturas exteriores, não necessitando de ventilação mecânica.

Todas as unidades foram projetadas em duas fachadas, posicionadas em duas orientações distintas adjacentes, conforme ilustrado na Figura 74, demonstrando a fachada norte do lado esquerdo e a fachada leste do lado direito.

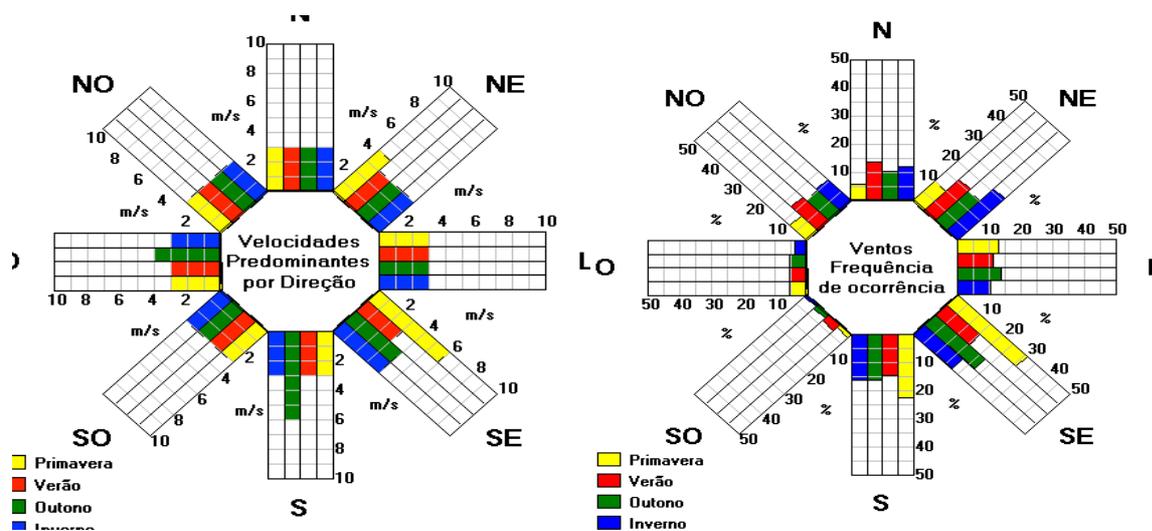
Figura 75 – Fachadas frontal e lateral da edificação



Fonte: Desenvolvimento do autor

Avaliando a Rosa dos Ventos, pode-se notar uma predominância de ventos vindos do Sul e do Sudeste, principalmente nas estações de temperaturas mais amenas. Na primavera, existe uma pequena incidência de ventos que se deslocam do Nordeste para o oeste.

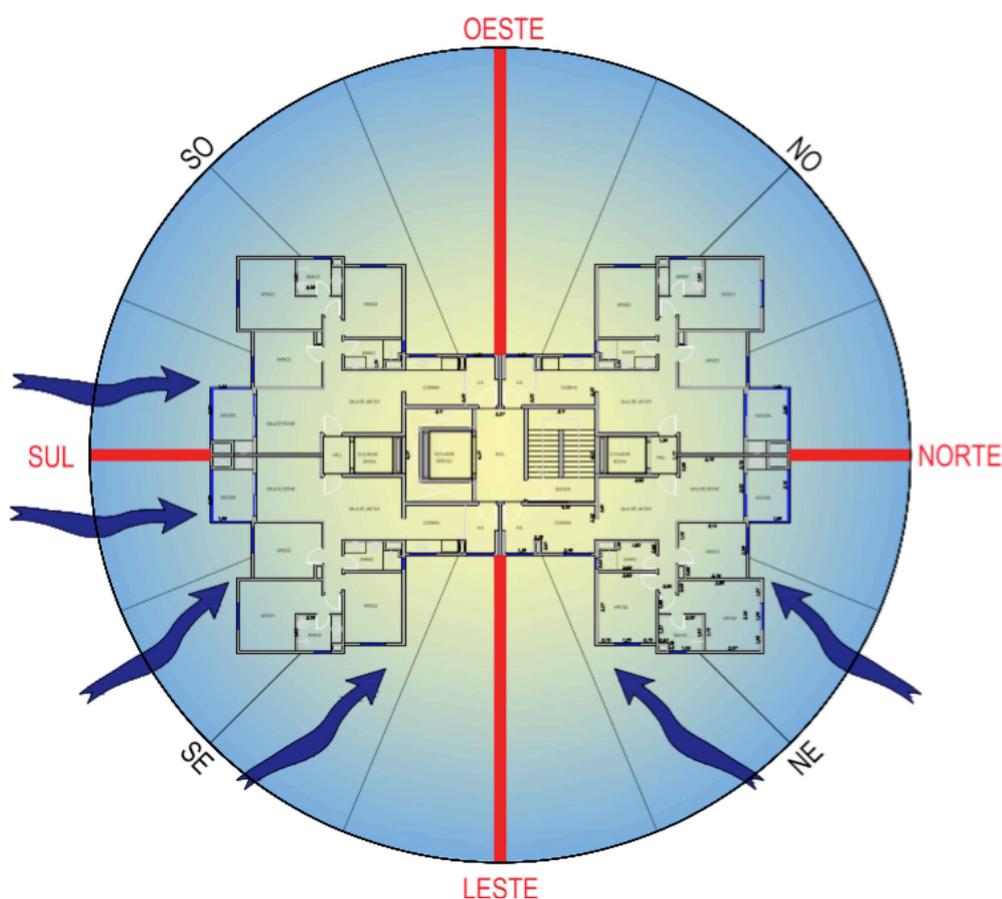
Figura 76 – Velocidades predominantes e a frequência de ocorrência dos ventos



Fonte: Software SOL-AR 6.2 – LabEEE – UFSC

Após análise do estudo dos ventos apresentado na Figura 76, é possível identificar que o posicionamento da torre favorece totalmente a ventilação cruzada na unidade 03, com entrada pela sacada, dormitório 02 e dormitório 01 (suíte), e saída pela área de serviço. A implantação atende de maneira parcial a ventilação cruzada na unidade 01, com entrada a partir da área de serviço, cozinha e dormitório 02, todos percorrendo até a sacada. A unidade 04 também é atendida parcialmente, com a entrada dos ventos pela sacada, dormitório 02 e dormitório 01. Contudo, avalia-se que a unidade 04 é a que menos recebe ventilação cruzada; entretanto, ela conta com abertura em duas fachadas adjacentes, favorecendo esse tipo de ventilação.

Figura 77 – Representação da direção dos ventos predominantes nas aberturas



Fonte: Desenvolvimento do autor

A soma da área de ventilação das demais fachadas dividida pela soma de área útil de ventilação das fachadas com maior área de ventilação alcançam a razão = 0,66, superando o índice mínimo de $\geq 0,25$ (Tabela 50).

Tabela 50 – Tabela de áreas de ventilação – AQUA-HQE™

Elevação Norte (A1)				Elevação Sul (A1)			
Unidade	Ambiente	Janela	Área m2	Unidade	Ambiente	Janela	Área m2
AP01	Sala de Estar	2,00x2,10m	4,20	AP03	Sala de Estar	2,00x2,10m	4,20
AP01	Dormitório 03	1,00x1,20m	1,20	AP03	Dormitório 03	1,00x1,20m	1,20
AP01	Suíte	1,00x1,20m	1,20	AP03	Suíte	1,00x1,20m	1,20
AP02	Sala de Estar	2,00x2,10m	4,20	AP04	Sala de Estar	2,00x2,10m	4,20
AP02	Dormitório 03	1,00x1,20m	1,20	AP04	Dormitório 03	1,00x1,20m	1,20
AP02	Suíte	1,00x1,20m	1,20	AP04	Suíte	1,00x1,20m	1,20
Área Total de Janelas			13,20	Área Total de Janelas			13,20
Área Total de Abertura (A1)			6,60	Área Total de Abertura (A1)			6,60
Elevação Leste (A2)				Elevação Oeste (A2)			
Unidade	Ambiente	Janela	Área m2	Unidade	Ambiente	Janela	Área m2
AP01	Banho	0,54x0,54m	0,29	AP04	Banho	0,54x0,54m	0,29
AP01	Dormitório 02	1,00x1,20m	1,20	AP04	Dormitório 02	1,00x1,20m	1,20
AP01	Cozinha	1,13x0,72m	0,81	AP04	Cozinha	1,13x0,72m	0,81
AP01	Área Serviço	1,13x0,92m	1,03	AP04	Área Serviço	1,13x0,92m	1,03
AP03	Banho	0,54x0,54m	0,29	AP02	Banho	0,54x0,54m	0,29
AP03	Dormitório 02	1,00x1,20m	1,20	AP02	Dormitório 02	1,00x1,20m	1,20
AP03	Cozinha	1,13x0,72m	0,81	AP02	Cozinha	1,13x0,72m	0,81
AP03	Área Serviço	1,13x0,92m	1,03	AP02	Área Serviço	1,13x0,92m	1,03
Área Total de Janelas			6,66	Área Total de Janelas			6,66
Área Total de Abertura (A2)			4,43	Área Total de Abertura (A2)			4,43

Fonte: Desenvolvimento do autor

5.6.4 Análise de atendimento da certificação

Após submeter a edificação objeto deste estudo de caso à análise de conforto térmico, conclui-se que a mesma não atende aos requisitos mínimos exigidos pela Certificação AQUA-HQE™.

Após aplicação dos principais critérios da certificação, conforme apresentado na Tabela 51, avalia-se que a edificação atende apenas à categoria Conforto Visual, com critérios que influenciam indireta e parcialmente o desempenho térmico da edificação. Na categoria Qualidade do Ar, a edificação atende boa parte dos requisitos de ventilação cruzada, mas não atende ao requisito “Base”, referente à área de ventilação mínima para os ambientes de maior permanência exigidos pela Norma ABNT NBR 15575-4 na Certificação AQUA-HQE™.

Tabela 51 – Análise do nível de atendimento

Categoria	Atendimento	Comentários
Conforto Térmico 8.1	Não Atendido 	A orientação das aberturas não favorece a proteção solar A orientação dos ambientes não favorece a redução de carga térmica nos ambientes de maior permanência A edificação e suas aberturas não foram orientadas para aproveitamento dos ventos dominantes Há grande quantidade de aberturas para tomadas de ar externa nas fachadas mais quentes da edificação
Conforto Térmico 8.2	Atendido 	Com base nos requisitos da ABNT NBR15575, a edificação tem desempenho superior para as condições de inverno comprovadas pela simulação computacional
Conforto Térmico 8.3	Não Atendido 	Por meio de simulação computacional comprovou-se que, em determinados dormitórios, a edificação excede a temperatura externa máxima em um dia típico de verão na zona bioclimática 3, exigido na ANBT NBR 15575
Conforto Visual 10.2	Atendido 	A sala de estar de cada unidade dispõe de abertura superior a 15% Com base na simulação computacional foi comprovado que o FLD nos dormitórios supera a 1,5%
Qualidade do Ar 13.3	Atendido 	A edificação possui ventilação cruzada O projeto de ventilação natural permite o escoamento de ar por meio de duas fachadas adjacentes As aberturas atendem a proporção do somatório de área efetivas de aberturas da fachada As suítes de cada uma das unidades da edificação atendem a ABNT NBR 15575-4, que requer área de ventilação natural correspondente a 7% da área de piso

Fonte: Desenvolvimento do autor

Os critérios mais relevantes no desempenho térmico da edificação, concentrados na categoria Conforto Térmico, não foram levados em consideração no desenvolvimento do projeto. A bioclimatologia e técnicas passivas também foram desconsideradas.

A área do terreno e a topografia permitiriam a alteração do padrão de implantação “H” e o posicionamento das unidades de maior permanência, de forma a reduzir a exposição ao calor e ao sol.

Por fim, conclui-se que, se fossem adotadas as práticas recomendadas e os critérios exigidos pela Certificação AQUA-HQE™, a edificação analisada atenderia aos requisitos dos usuários e, por conseguinte, a redução de consumo energético.

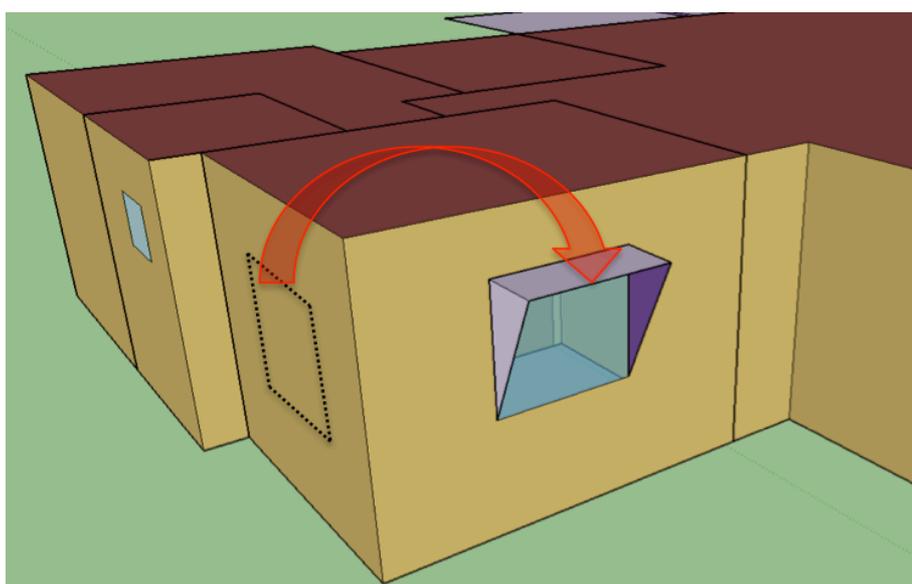
6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do estudo de caso permitiu avaliar quais instrumentos influenciam diretamente no desempenho térmico da edificação, bem como, contribuir na identificação de práticas mais aderentes na satisfação deste requisito.

A simulação computacional agilizou a identificação dos ambientes com o menor desempenho térmico e otimizou a avaliação do nível de desempenho, permitindo a atuação pontual nos ambientes mais críticos, agilizando a aplicação de estudos de alternativas que poderiam ter sido adotadas no desenvolvimento do projeto, mensurando o desempenho obtido e quantificando seus impactos.

No desenvolvimento do estudo de alternativas, foram avaliadas soluções que reduzissem o percentual de desconforto com base na redução da temperatura interna dos ambientes mais críticos, adotando como premissa, a manutenção da área construída e dos recuos existentes originais do projeto. Com base nisto, foi realizado um novo estudo, contemplando a alteração da janela exposta as orientações Leste e Oeste e a inserção de um elemento de sombreamento nestas mesmas aberturas, que foram posicionados de maneira a bloquear a radiação solar direta, conforme ilustrado na Figura 78.

Figura 78 – Proposta de alteração do projeto original

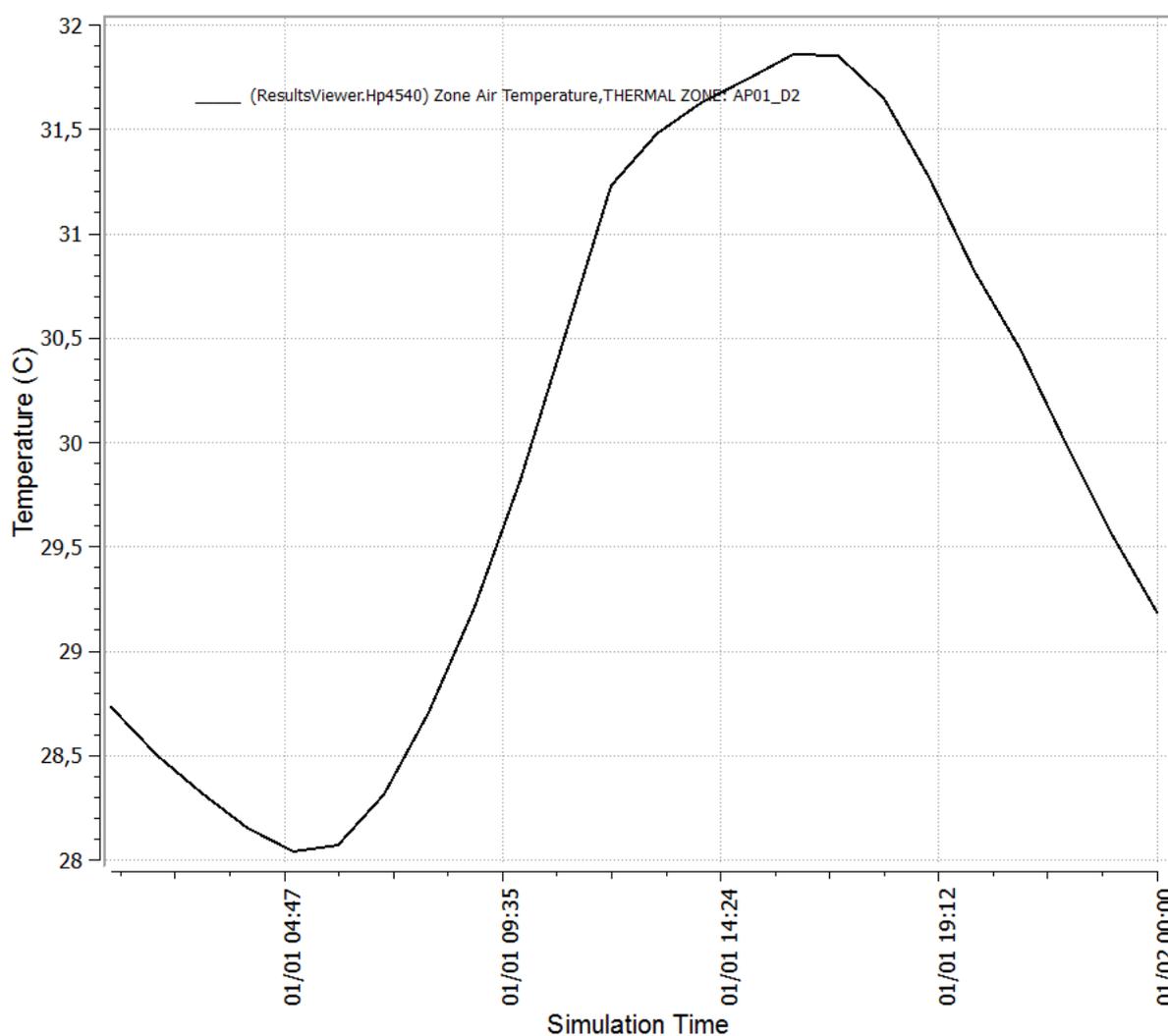


Fonte: Desenvolvimento do autor

Após a simulação do modelo, contemplando a substituição da posição da janela dos dormitórios 02 de todas as unidades para a orientação adjacente, e a inclusão de elementos de sombreamento das respectivas aberturas, foram obtidos os seguintes resultados:

- No dormitório 02 do apartamento 01 houve uma redução de 2,35°C conforme ilustrado na Figura 79.

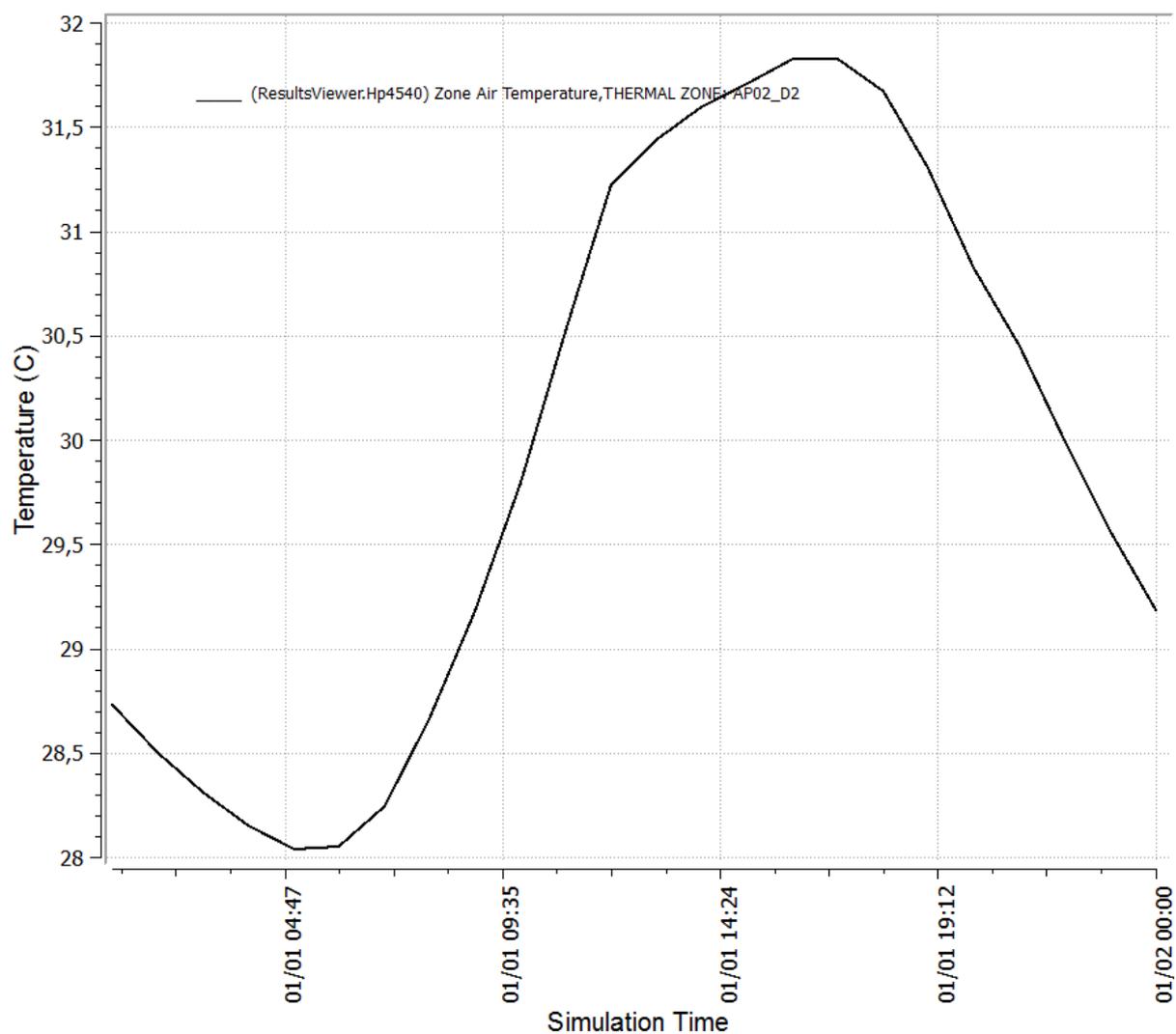
Figura 79 – Gráfico da simulação do AP01-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar



Fonte: Desenvolvimento do autor

- No dormitório 02 do apartamento 02 houve uma redução de 2,80°C conforme ilustrado na Figura 80.

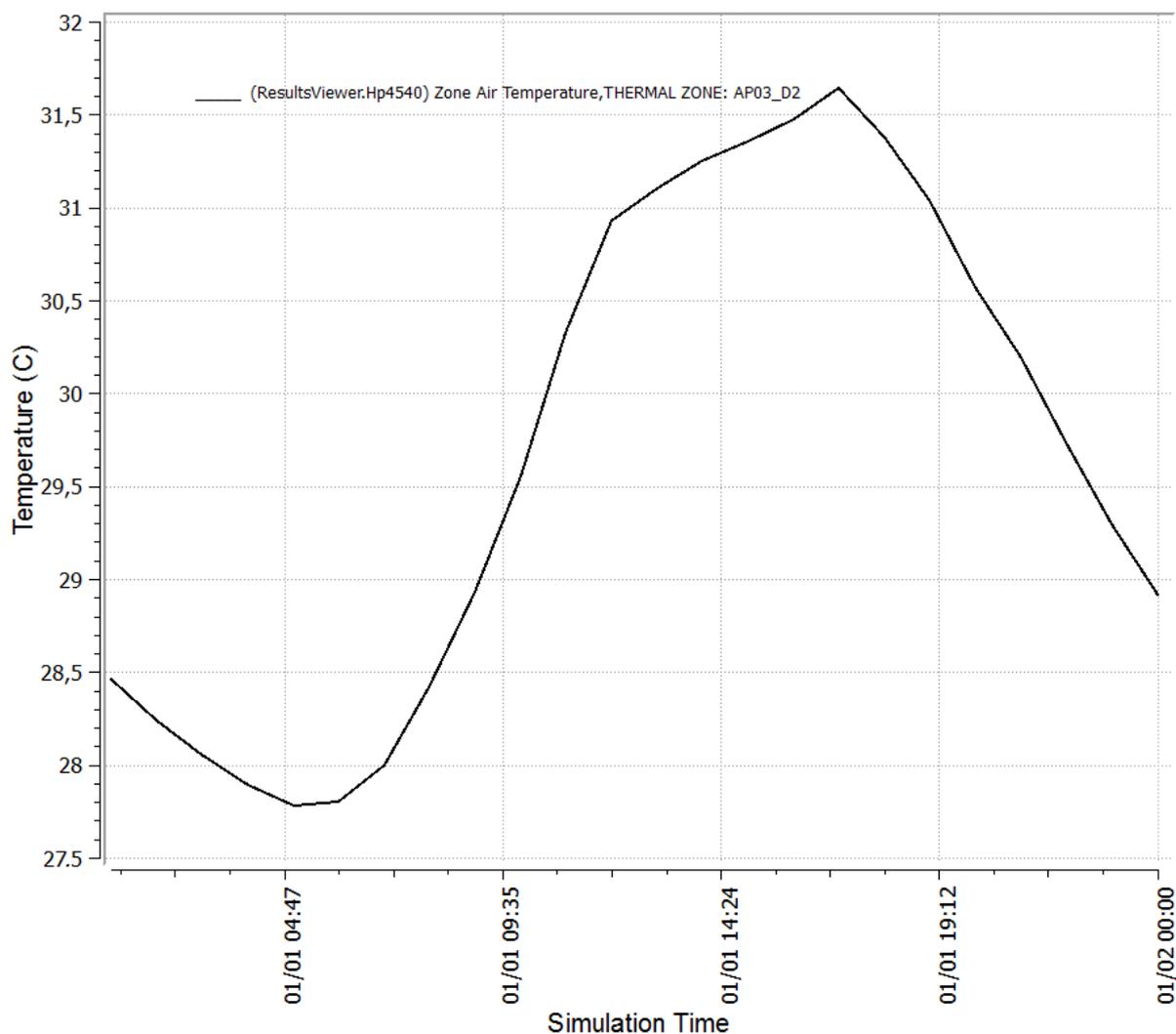
Figura 80 – Gráfico da simulação do AP02-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar



Fonte: Desenvolvimento do autor

- No dormitório 02 do apartamento 03 houve uma redução de 2,30°C conforme ilustrado na Figura 81.

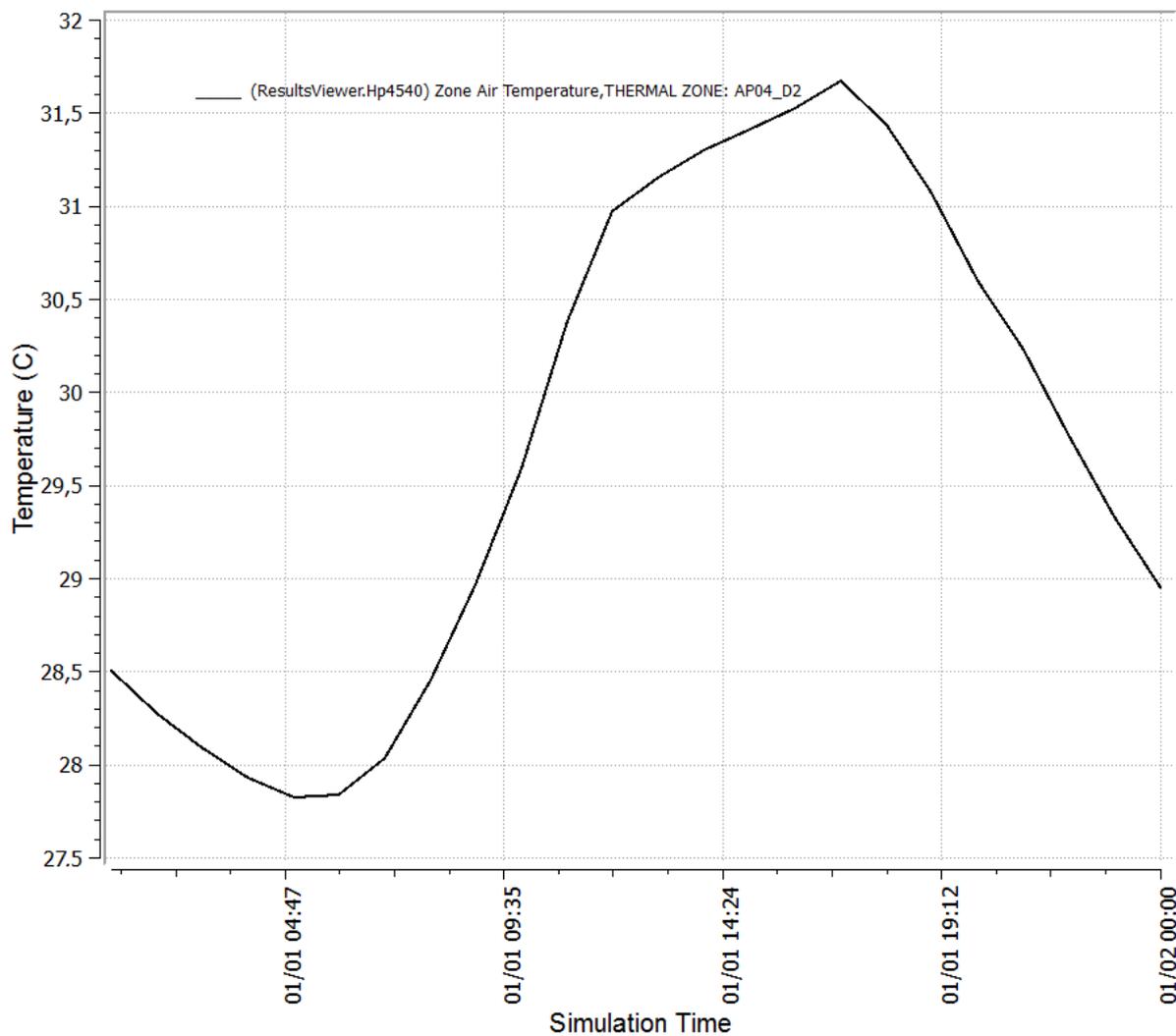
Figura 81 – Gráfico da simulação do AP03-D2 com alteração da janela e inclusão de proteção solar



Fonte: Desenvolvimento do autor

- No dormitório 02 do apartamento 04 houve uma redução de 3,15°C conforme ilustrado na Figura 82.

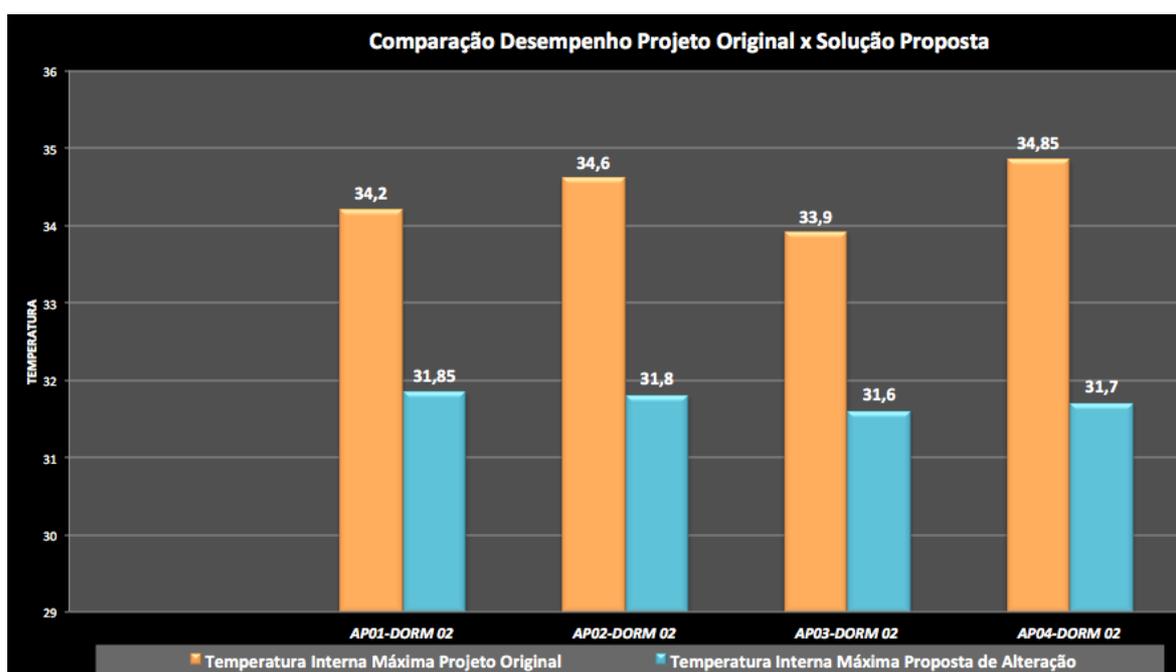
Figura 82 – Gráfico da simulação do AP03-D2 com alteração da janela e proteção solar



Fonte: Desenvolvimento do autor

A alteração proposta reduziu em média 2,65°C a temperatura interna dos ambientes avaliados, conforme ilustrado no gráfico comparativo da Figura 83. Apenas com a aplicação de técnicas passivas, garantiu-se o atendimento ao nível de desempenho mínimo da norma ABNT NBR 15575, comprovando ser possível buscar qualidade, sem que para isso tenha que se recorrer a estratégias complexas, nem inviabilizar economicamente o empreendimento.

Figura 83 – Gráfico comparativo da solução proposta e o projeto original



Fonte: Desenvolvimento do autor

O edifício objeto deste estudo de caso foi submetido a avaliação por meio dos métodos previstos na ABNT NBR 15575, e a partir dos resultados obtidos, apenas por meio do método simplificado a edificação atendeu a norma, demonstrando a incompatibilidade entre os métodos de avaliação de desempenho térmico. A edificação avaliada por meio da simulação computacional e a medição in loco não atenderam aos requisitos da norma.

Baseado nesta avaliação é razoável afirmar que edificações em consonância ao desempenho térmico da ABNT NBR 15575, comprovados apenas pelo método simplificado, podem não garantir conforto aos usuários.

Como solução, propõem-se que sejam desenvolvidos estudos para elevação dos critérios de desempenho térmico da norma e concomitantemente seja exigido a simulação computacional como meio de comprovação, já que o mesmo se mostrou ter maior capacidade de atender os requisitos dos usuários e de se aproximar as condições reais de conforto.

Assumindo ainda que, em virtude de não considerar a ocupação e todas as cargas térmicas atuantes que influenciam o conforto térmico, e ainda que um dia típico acarreta em inúmeras incertezas, propõem-se ainda que os critérios para a simulação da norma sejam revistos, passando a incorporar estes fatores que atualmente tornam o processo de simulação computacional menos preciso.

Submetendo a edificação objeto deste estudo de caso à certificação AQUA-HQE™, pôde se concluir que as edificações certificadas com este selo tem o desempenho térmico superior as edificações que se limitam a atender os requisitos mínimos da norma. Atendendo as exigências da certificação quanto ao clima, orientação, projeto e processo, a edificação tem grande potencial de atender os requisitos dos usuários, e ainda contribuir diretamente para a redução do consumo energético.

A certificação AQUA-HQE™, conta com requisitos de avaliação mais abrangentes do que a ABNT NBR 15575 no tocante ao desempenho térmico das edificações, pois além de incorporarem as normas locais, como a NBR 15575, requerem ainda o atendimento a outros critérios que são ignorados na norma, como a arquitetura bioclimática, proteção solar, ventilação cruzada entre outros. Com base nisto afirma-se que edificações certificadas atendendo os requisitos de conforto térmico garantirão melhor desempenho térmico em relação às edificações não certificadas, contudo, é importante ressaltar que uma parcela significativa dos critérios exigidos são práticas antigas de projeto que na maioria das vezes vem sendo ignorados no desenvolvimento de projetos multifamiliares.

O conforto térmico e a sua influência direta no consumo energético são temas que não podem ser tratados de maneira isolada, como vem acontecendo no desenvolvimento do projeto de habitações, ou, mais grave ainda, não fazem parte da preocupação de alguns dos agentes.

A partir dos resultados da simulação computacional identificou-se que a edificação objeto do estudo de caso tem em média 20% das horas do ano com temperaturas acima da faixa de conforto. Com base nesta afirmação foi possível quantificar o acréscimo de consumo energético com a utilização de um ar condicionado do tipo split HI Wall de 12.000 BTU com potência de 1.096 W de potência, classe “A” na avaliação do Inmetro. A utilização do equipamento seria de 4 horas e 48 minutos diária durante o ano inteiro, que corresponde a 20% das horas de desconforto (1752). O consumo energético mensal por dormitório seria de 157,82 Kwh/mês*, 473,47 Kwh/mês mensal por unidade habitacional, considerando a utilização do ar condicionado nos três dormitórios e 43.559,42 Kwh/mês se fosse considerado a utilização em todas as unidades e em todos os dormitórios.

*** Consumo em kW/h = (A x B X C) / 1000**

- A - Potência em watts = 1.096 W
- B - Horas de utilização diária = 4h48 min (4,8)
- C - Quantidade de dias do mês = 30 (dias)

Com base nos valores calculados, a edificação objeto deste estudo de caso se enquadraria em uma faixa de consumo de 4,8 kw/h/m²/mês.

Diante do cenário atual, com edificações consumindo mais energia elétrica e usuários insatisfeitos, é impossível não discorrer sobre a temática do papel e das atribuições do arquiteto na concepção de projetos, pois o baixo desempenho, influencia não apenas a qualidade de vida dos usuários no habitat, mas também impactam as gerações futuras.

Amparado por essa afirmação, é razoável sugerir que os arquitetos recorram a consultores especializados ou desenvolvam, durante a concepção e desenvolvimento do projeto estudos e simulações para mensurar a influência das soluções adotadas, não apenas no custo para sua implantação, mas principalmente no impacto causado no uso e na operação.

Abrindo mão de desenvolver estudos de alternativas e soluções na tomada de decisões de projeto, o arquiteto deixa de exercer a essência da profissão, que é a

aplicação da técnica para unir plástica a função, considerando as melhores alternativas de implantação para atender da melhor forma, as necessidades dos usuários finais, mesmo que, ainda para eles, estas sejam desconhecidas.

Os valores e a percepção do que o mundo realmente precisa e idealiza para se tornar sustentável está mudando. A função, a prática e o desempenho estão sendo tão ou mais valorizados do que a forma por si só, e profissionais que se dedicam apenas à estética e à plástica em seus projetos, terão cada vez menos espaço. Serviços terceirizados de análise, simulações e consultorias específicas são alguns dos nichos criados no mercado para suprir a lacuna e o abandono de atividades que, naturalmente, deveriam voltar a ser desenvolvidas ou pelo menos lideradas pelos arquitetos, recorrendo-se ou não do uso de tecnologias e da informatização.

Avaliando a responsabilidade do empreendedor no consumo energético e no conforto térmico, recomenda-se a busca por alternativas que garantam a manutenção do equilíbrio entre o lucro e a qualidade. Esta busca deve permitir o bom coeficiente de aproveitamento de construção, a manutenção da construtibilidade e da racionalização construtiva, sem que para isto seja necessário preterir a qualidade do habitat. É inegável que as empresas se constituem no mercado para obtenção de lucro, mas práticas unicamente exploratórias, características do período da colonização, sem avaliação e preocupação com o impacto causado, devem ser revistas pelos empreendedores, que em alguns setores da indústria são uma realidade.

Desenvolver edifícios sustentáveis, involuntariamente nos remetem à adoção de práticas que resultem na economia de recursos naturais, com menor agressão ao meio em todos o ciclo de vida da edificação, é bem melhor, se compararmos com a grande maioria das edificações desenvolvidas até então. Porém, para que as edificações contribuam de fato e aproveitem todo o seu potencial, a sustentabilidade deve ser pensada de maneira mais abrangente, com o envolvimento e o comprometimento de todas as esferas participantes do processo, a começar pelo Governo, com a propositura de mudanças e incentivos para essas práticas; os incorporadores, investidores e os projetistas devem buscar inovações e soluções

para que se possa edificar com a certeza de estar contribuindo ou, ao menos, não degradando o meio ambiente.

A análise realizada nesta pesquisa deverá servir como base para um trabalho futuro de definição de uma metodologia de desenvolvimento de projeto que incorpore a simulação computacional como instrumento de verificação de consumo energético e o atendimento aos requisitos de conforto térmico do usuário. O estudo deve ainda se relacionar com o novo processo de desenvolvimento de projeto, incorporando a modelagem da informação na construção (BIM), e com a análise de aplicabilidade e métodos de aproveitamento dos modelos tridimensionais para desenvolvimento de simulações computacionais.

Propõe-se ainda um estudo de viabilidade para o desenvolvimento de um projeto de edificação multifamiliar com plantas, materiais e dimensões distintos, de modo a garantir o equilíbrio térmico em todas as unidades, por meio da aplicação de técnicas passivas, como a implementação de elementos de sombreamento, abrangendo os custos de implantação e uso comparado a soluções com climatização artificial.

Outras propostas a serem consideradas são:

- Estudo de um projeto de análise dos níveis de atendimento de conforto térmico, com o propósito de contribuir para a elevação dos critérios mínimos de desempenho exigidos na Norma de Desempenho ABNT NBR 15575.
- Desenvolvimento de estudo de aplicação de um sistema de avaliação individual das unidades que compõem as edificações multifamiliares e regulamentação como instrumento indireto de aumento de qualidade dos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. 2013.

_____. NBR15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para Sistemas de Cobertura. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR15220-2 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 15220-4 – Desempenho térmico de edificações – Parte 4. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AIA National – The American Institute of Architects - **Integrated Project Delivery: A Guide** – 2007 version 1. Disponível em < <http://www.aia.org/> Acesso em 11.jan.2017

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

Alves, Carolina Abrahão - **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na região Metropolitana de São Paulo. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos** -- São Paulo, 2014.

AROSTEGUI J. (a). **Exigencias mínimas de habitabilidad Térmica**. 1990. I Encontro Nacional do Ambiente Construído (ENCAC) .

AQUA-HQE™ – Processo AQUA Construção Sustentável. FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação**. Disponível em < <http://vanzolini.org.br/aqua/>>. Acesso em 04.jan.2017.

ASHRAE Standard 55-2004 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2004.

ASHRAE Standard 140-2011 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS.: **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. 2011.

BERTEZINI, Ana Luisa. **Métodos de avaliação do processo de projeto de arquitetura na construção de edifícios sob a ótica da gestão da qualidade**. 2006 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo. 2008.

BREEAM – Building Research Establishment’s Environmental Assessment Method. **BREEAM International New Construction 2016 - Technical Manual SD233 1.0**. Disponível em < <http://www.breeam.com/>>. Acesso em 07.jan.2017

BRITO, A. C; Akutsu, M.; Vittorino, F. V.; Aquilino, M. M. **Sugestões para revisão da Norma ABNT NBR 15.575:2008, referentes ao desempenho térmico**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC .2010

BRITO, A. C; Akutsu, M.; Vittorino, F. V.; Aquilino, M. M. **CONTRIBUIÇÕES PARA O APRIMORAMENTO DA NBR 15.575 REFERENTE AO MÉTODO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS**.

BUENO, C. **Avaliação de Desempenho ambiental de edificações habitacionais: aplicação São Carlos – SP**. 2010.

Casa Azul - **Boas práticas para habitação mais sustentável** / coordenadores Vanderley Moacyr John, Racine Tadeu Araújo Prado . -- São Paulo : Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2 ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

Certificação ambiental de edificações habitacionais: Análise da aplicação do LEED for Homes no contexto brasileiro. ENTECA2009 - ENCONTRO TECNOLÓGICO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, Maringá – PR, 2009.

CHVATAL, K. M. S. **Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Design Builder Software Ltd. **DesignBuilder V5.0.1.024**. Disponível em <<https://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em 06.jan.2017

DGNB System – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. German Sustainable Building Council. Disponível em : <<http://www.dgnb-system.de/en/system/international/Brasilien.php>>. Acesso em 03.jan.2017

Nota Técnica DEA 19/15 - **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos cinco anos (2016-2020)** - Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – Rio de Janeiro. Disponível em : < <http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em 02.jan.2017

ENERGYPLUSTM. **Getting Started with EnergyPlus Basic Concepts Manual** – Essential Information you Need about Running EnergyPlus. Outubro de 2013.

FABRICIO, Márcio Minto; ORNSTEIN, Sheila Walbe ; Melhado, Silvio Burrattino – **Conceitos de Qualidade no Projeto de Edifícios** - Qualidade no Projeto de Edifícios - São Carlos: RiMa Editora, ANTAC, 2010.

FANGER, P.O. **Thermal comfort, analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: 1970

FARSSURA, Tássia, & MELHADO, Silvio – **Gestão de Projetos Industriais** – São Paulo : Pini, 2014.

Figueiredo, Francisco Gitahy de, and Vanessa Gomes da Silva. "Integrated Design Process and environmental performance of buildings: the cases of SAP Labs Brazil and Expansion of CENPES Petrobras." *Ambiente Construído* 12.2 (2012): 97-119.

FROTA, A.B. SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Man, climate and Architecture**. 2°ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981

HERRERA, Jaime Andrés Quiroa: **Qualificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consume energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia**. São Carlos. 2013.

INMETRO. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros – Anexo Geral V**. 2013. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>> . Acesso em 02.jan.2017.

INMETRO. **Etiqueta de Eficiência Energética para Edificações**. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em 03.ago.2016.

LabEEE- **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VISUALDOE-3.1** 2003 . Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/>> Acesso em 03.ago.2016

LabEEE- **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/>> Acesso em 02.out.2016

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano ; PEREIRA, Fernando – **Eficiência Energética na Arquitetura** - 3 Edição, Eletrobrás / PROCEL, 2014.

LEED Leadership and Energy & Environmental Design - Green Building Council Brasil. **Leed para Novas Construções**. Disponível em < <http://www.gbcbrazil.org.br/> >. Acesso em 05.jan.2017

LEITE, Júnior, Hamilton de França. Alencar, Claudio Tavares de (orient). **Sustentabilidade em empreendimentos imobiliários residenciais** : avaliação dos custos adicionais para o atendimento dos requisitos de certificação ambiental. São Paulo, 2013.

LIGGETT, Robin ; MILNE, Murray. **Climate Consultant**. University of California - UCLA Energy Design Tolls Group. Disponível em < <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php> > . Acesso em 08.Jan.2017

MAISON EDOUARD FRANCOIS – **Program Requalification of the Former Ray Stadium** – Nice France. Disponível em < <http://www.edouardfrancois.com/> > . Acesso em 12.Jan.2017

CHANGALI, MOHAMMAD e NIEUWLAND – **The Construction productivity imperative**. MCKinsey & Company. Disponível em: < <http://www.mckinsey.com/> >. Acesso em: 02.fev.2017.

MANZIONE, Leonardo; MELHADO, Silvio. – **Porque os projetos atrasam? Uma análise crítica da ineficácia do planejamento de projetos adotada no mercado imobiliário de São Paulo** – TIC – Porto Alegre 2007.

MELHADO, Ana Rocha; SANTOS, Aurélie; MELHADO, Silvio; GURGEL, Adriana - **Projetar e Construir Bairros Sustentáveis** -- São Paulo : Pini, 2013.

MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Márcia Peinado. **Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços abertos urbanos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 79-101, out./dez. 2010.

MORILLÓN D. **Impacto del cambio ambiental global en el sector residencial. 1999**. Instituto de Ingeniería. UNAM.

MORISHITA, Claudia : SORGATO, Marcio José ; VERSAGE, Rogério : TRIANA, Maria Andrea ; MARINOSKI, Deivis Luis ; LAMBERTS, Roberto – **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas (V.5)** – Florianópolis. 2011.
MIGLIEVICH, J. **Eficiência Energética em Edificações, Ações Desenvolvidas**.

PROCEL EDIFICA. Junho 2008.

Ministério de Minas e Energia – **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro** (novembro/2016). Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/>> . Acesso em: 08.jan.2017.

NICOL, J. F. and HUMPHREYS, M. A. **Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings.** Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards Into the 21st Century.– UK. Abril 2001.

OLGYAY, A.; OLGAY, V. **Solar Control and Shading Devices.** Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1957.

Open Studio Software - National Laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy - **Open Studio Simulation Software.** Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em 10.ago.2016.

OLIVEIRA, Otávio J. de, MELHADO, Silvio Burrattino. **Como administrar empresas de projeto de arquitetura e engenharia civil** – São Paulo: Pini, 2006.

PROCEL – **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Classe Residencial** – Julho 2007 <www.procel.gov.br/services/procel-info> . Acesso em: 12.dez.2015.

PROCEL Edifica - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - PROCEL INFO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais 2.2 – RTQ-R** - Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>> . Acesso em: 12.dez.2015.

Qualidade ambiental na habitação : avaliação pós-ocupação / Simone Barbosa Villa, Sheila Walbe Ornstein, (orgs). – São Paulo : Oficina de Textos, 2013.

ROAF, Susan; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas.** Porto Alegre : Bookman, 2009.

Roberto Lamberts, Veridiana A. Scalco, Gabriel Iwamoto, Rogério Versage – **Métodos de Simulação – Edifícios Residenciais.**

ROMERO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico – **Eficiência Energética em edifícios.** Barueri, SOL Manole, 2012.

SALGADO, Mônica Santos - **Arquitetura Centrada no Usuário ou no Cliente? Uma Reflexão Sobre a Qualidade do Projeto** - Qualidade no Projeto de Edifícios - São Carlos: RiMa Editora, ANTAC, 2010.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e Desempenho Térmico em Contradição na NBR 15575**. Cadernos PROARQ 20, v. 20, p. 116-136, 2013.

SILVA, A. S.; SORGATO, M. J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; GHISI, E. **Incerteza do método de simulação da NBR 15575 para a avaliação do desempenho térmico de habitações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC). In: **Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat** (PBQP- H). Brasília: Disponível em <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 23.set.2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** - Disponível em <<https://energyplus.net/>> Acesso em 08.ago.2016.