



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE
COBERTURA NAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO DE UM AMBIENTE
MULTIFUNCIONAL DE UMA HABITAÇÃO EM FOZ DO IGUAÇU-PR**

AMANDA CLARICE SPIAZZI ODIA

Foz do Iguaçu
2023

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE
COBERTURA NAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO DE UM AMBIENTE
MULTIFUNCIONAL DE UMA HABITAÇÃO EM FOZ DO IGUAÇU-PR**

AMANDA CLARICE SPIAZZI ODIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Helenice Maria Sacht

Foz do Iguaçu
2023

AMANDA CLARICE SPIAZZI ODIA

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE COBERTURA NAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO DE UM AMBIENTE MULTIFUNCIONAL DE UMA HABITAÇÃO EM FOZ DO IGUAÇU-PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Helenice Maria Sacht
UNILA

Prof. Dr. Cesar Winter de Mello
UNILA

Prof. Dr. Egon Vettorazzi
UNILA

Foz do Iguaçu, 07 de março de 2023.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Amanda Clarice Spiazzi Oda

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

	Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – Obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/> _____

Título do trabalho acadêmico: Influência da variação das propriedades térmicas do sistema de cobertura nas condições de conforto térmico de um ambiente multifuncional de uma habitação em Foz do Iguaçu-PR

Nome do orientador(a): Prof.^a Dr.^a Helenice Maria Sacht

Data da Defesa: 07/03/2023

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

Dedico este trabalho aos meus pais, pilares da minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Roni e Margarida, pelo amor, incentivo e suporte durante todos os anos da minha vida.

Às minhas irmãs, Julia e Ana, pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao meu marido, Gustaf, por me tirar da zona de conforto, me apoiar e me ajudar a crescer.

Aos professores que contribuíram em minha formação.

À minha orientadora, Helenice, por me direcionar neste trabalho, e principalmente por apresentar a área com a qual pretendo fazer a diferença.

Aos meus colegas de curso, em especial à Leticia, por passarem por essa etapa comigo.

RESUMO

ODIA, A. C. S. **Influência da Variação das Propriedades Térmicas do Sistema de Cobertura nas Condições de Conforto Térmico de um Ambiente Multifuncional de uma Habitação em Foz do Iguaçu-PR.** 113p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu: UNILA, 2023.

O crescimento econômico e o consumo de recursos naturais de forma descontrolada, atrelados à falta de planejamento das cidades e à falta de aplicação de tecnologias sustentáveis podem gerar cenários desfavoráveis para as futuras gerações. Grande parte das residências no Brasil ainda é projetada desconsiderando as características do clima local, gerando desconforto térmico e elevado consumo de energia elétrica para climatização artificial dos ambientes ao longo do ciclo de vida da construção. Somando-se a essas questões, o cenário de pandemia restringiu o acesso à vários locais e as atividades diárias passaram a ser realizadas em casa, reforçando a importância de projetar residências com melhores condições de conforto térmico. Nesse contexto estão as coberturas, que devido às trocas térmicas com o ambiente externo, influenciam diretamente na temperatura interna da edificação. Diante disso, foi avaliada, por meio de simulações computacionais, a influência da variação das propriedades térmicas de diferentes tipos de cobertura, aplicados a um ambiente multifuncional, considerando o clima de Foz do Iguaçu. A metodologia para obter o desempenho térmico associado a cada cobertura compreendeu a caracterização climática de Foz do Iguaçu, PR, a determinação da célula modelo a ser utilizada nas simulações computacionais, a caracterização das propriedades dos materiais das coberturas e das vedações verticais e horizontais do modelo, a identificação do perfil de uso e ocupação, o processamento das simulações computacionais, considerando a variação dos tipos de cobertura, e, a análise dos resultados das simulações, tendo como base regulamentos e normas técnicas vigentes. Como resultado, todos os modelos com laje, laje e gesso ou laje e PVC, bem como todos os modelos simulados com telha termoacústica, atingiram o desempenho mínimo requerido pela NBR 15575-1. Nas simulações com telha cerâmica ou de fibrocimento, sem forro, nenhum dos modelos atingiu o desempenho mínimo. Além disso, os modelos com janela orientada ao norte, com telha cerâmica ou de fibrocimento, na cor branco neve, combinadas com laje ou laje e gesso, atingiram os melhores desempenhos térmicos, sendo, portanto, mais recomendados para Foz do Iguaçu-PR.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Desempenho Térmico. Propriedades térmicas. Sistema de Cobertura. Simulação Computacional.

ABSTRACT

ODIA, A. C. S. **Influence of the Variation of the Thermal Properties of the Roofing System on the Thermal Comfort Conditions of a Multifunctional Environment of a Housing in Foz do Iguaçu-PR.** 113p. Conclusion work (Graduation in Civil Infrastructure Engineering) – Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu, 2023.

Economic growth and the uncontrolled consumption of natural resources, linked to the lack of city planning and the lack of application of sustainable technologies can generate unfavorable scenarios for future generations. Most of the homes in Brazil are still designed without considering the characteristics of the local climate, generating thermal discomfort and high consumption of electricity for artificial air conditioning of environments along the life cycle of the construction. In addition to these issues, the pandemic scenario restricted access to various locations and daily activities began to be carried out at home, reinforcing the importance of designing homes with better thermal comfort conditions. In this context are the roofs, which due to thermal exchanges with the external environment, directly influence the internal temperature of the building. Therefore, it was evaluated, through computer simulations, the influence of the variation of thermal properties of different types of coverage, applied to a multifunctional environment, considering the climate of Foz do Iguaçu. The methodology to obtain the thermal performance associated with each cover included the climate characterization of Foz do Iguaçu, PR, the determination of the model cell to be used in the computational simulations, the characterization of the materials properties of the covers and of the vertical and horizontal seals of the model, the identification of the use and occupancy profile, the processing of computational simulations, considering the variation in the types of coverage, and the analysis of the simulation results, based on current regulations and technical standards. As a result, all models with slab, slab and plaster or slab and PVC, as well as all models simulated with thermoacoustic tile, achieved the minimum performance required by NBR 15575-1. In the simulations with ceramic tile or fiber cement tile, without lining, none of the models reached the minimum performance. In addition, models with a north-facing window, with ceramic or fiber cement tile, in snow white color, combined with slab or slab and plaster, achieved the best thermal performance, and are therefore more recommended for Foz do Iguaçu-PR.

Keywords: Thermal Comfort. Thermal Performance. Thermal Properties. Roofing System. Computational Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de transmissão de calor.....	18
Figura 2 – Ganho térmico em edificações de um pavimento	20
Figura 3 – Procedimentos da análise do desempenho térmico conforme a NBR 15575-1	25
Figura 4 – Zoneamento bioclimático brasileiro, Foz do Iguaçu, PR, indicada em vermelho	28
Figura 5 – Normais Climatológicas para Foz do Iguaçu-PR	29
Figura 6 – Planta baixa do quarto com área de estudo.....	32
Figura 7 – Dimensões da porta [cm]	32
Figura 8 – Dimensões da janela [cm].....	33
Figura 9 – Detalhamento da parede [cm].....	34
Figura 10 – Detalhamento do piso [cm]	35
Figura 11 – Janela orientada ao oeste, com paredes oeste e leste expostas.....	36
Figura 12 – Janela orientada ao norte, com paredes norte e sul expostas.....	37
Figura 13 – Janela orientada ao oeste, com paredes oeste e norte expostas	37
Figura 14 – Janela orientada ao norte, com paredes norte e leste expostas.....	38
Figura 15 – Direção da inclinação do telhado	43
Figura 16 – Número de ocupantes por horário no ambiente de uso misto	45
Figura 17 – Calor produzido pelos ocupantes.....	46
Figura 18 – Padrão de uso de iluminação artificial	47
Figura 19 – Padrão de uso de equipamentos	48
Figura 20 – Influência da absorvância no PHFT – Exposição: Oeste / oposta	66
Figura 21 – Influência da absorvância no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente	66
Figura 22 – Influência da absorvância no PHFT – Exposição: Norte / oposta	67
Figura 23 – Influência da absorvância no PHFT – Exposição: Norte / adjacente	67
Figura 24 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Oeste / oposta.....	69
Figura 25 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Oeste / adjacente.....	69
Figura 26 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Norte / oposta	70
Figura 27 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Norte / adjacente.....	70
Figura 28 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Oeste / oposta	72
Figura 29 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente	72
Figura 30 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Norte / oposta	73
Figura 31 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Norte / adjacente	73
Figura 32 – Influência da transmitância das telhas na Tomín– Exposição: Oeste / oposta	74
Figura 33 – Influência da transmitância das telhas na Tomín – Exposição: Oeste / adjacente	75
Figura 34 – Influência da transmitância das telhas na Tomín– Exposição: Norte / oposta	75

Figura 35 – Influência da transmitância das telhas na Tomín– Exposição: Norte / adjacente	76
Figura 36 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Oeste / oposta	77
Figura 37 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Oeste / adjacente	77
Figura 38 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Norte / oposta	78
Figura 39 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Norte / adjacente	78
Figura 40 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Oeste / oposta	80
Figura 41 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Oeste / adjacente	80
Figura 42 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Norte / oposta	81
Figura 43 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Norte / adjacente	81
Figura 44 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Oeste / oposta	83
Figura 45 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente	83
Figura 46 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Norte / oposta	84
Figura 47 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Norte / adjacente	84
Figura 48 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Oeste / oposta	85
Figura 49 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Oeste / adjacente	86
Figura 50 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Norte / oposta	86
Figura 51 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Norte / adjacente	87
Figura 52 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Oeste / oposta	88
Figura 53 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Oeste / adjacente	88
Figura 54 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Norte / oposta	89
Figura 55 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Norte / adjacente	89
Figura 56 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Oeste / oposta	90
Figura 57 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Oeste / adjacente	91
Figura 58 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Norte / oposta	91
Figura 59 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Norte / adjacente	92
Figura 60 – Carta solar de Foz do Iguaçu, PR.....	93

Figura 61 – O-OP X N-OP - Telha cerâmica (C)	94
Figura 62 – O-OP X N-OP - Telha de fibrocimento (F).....	95
Figura 63 – O-OP X N-OP - Telha termoacústica (T)	95
Figura 64 – O-AD X N-AD - Telha cerâmica (C).....	96
Figura 65 – O-AD X N-AD - Telha de fibrocimento (F)	97
Figura 66 – O-AD X N-AD - Telha termoacústica (T)	97
Figura 67 – Temperaturas operativas O-AD X N-AD ($\alpha=0,102$).....	98
Figura 68 – Temperaturas operativas O-AD X N-AD ($\alpha=0,367$).....	99
Figura 69 – O-OP X O-AD - Telha cerâmica (C)	100
Figura 70 – O-OP X O-AD - Telha de fibrocimento (F).....	101
Figura 71 – O-OP X O-AD - Telha termoacústica (T).....	101
Figura 72 – N-OP X N-AD - Telha cerâmica (C).....	102
Figura 73 – N-OP X N-AD - Telha de fibrocimento (F)	103
Figura 74 – N-OP X N-AD - Telha termoacústica (T)	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.....	22
Tabela 2 – Aberturas para ventilação	23
Tabela 3 – Vedações externas	23
Tabela 4 – Transmitância térmica de referência para coberturas	24
Tabela 5 – Mobiliário do ambiente.....	30
Tabela 6 – Resumo das dimensões mínimas para construções em Foz do Iguaçu	31
Tabela 7 – Dimensões do modelo real	31
Tabela 8 – Propriedades térmicas das esquadrias e elementos transparentes	33
Tabela 9 – Propriedades dos materiais utilizados nas paredes/ fechamento vertical.....	34
Tabela 10 – Propriedades dos materiais utilizados no piso.....	35
Tabela 11 – Propriedades térmicas das vedações do modelo de referência.....	38
Tabela 12 – Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência	39
Tabela 13 – Características dos elementos transparentes do modelo de referência	39
Tabela 14 – Abertura para ventilação do modelo de referência	39
Tabela 15 – Características dos perfis das esquadrias do modelo de referência.....	40
Tabela 16 – Propriedades térmicas dos forros do modelo real	41
Tabela 17 – Propriedades térmicas da câmara de ar do modelo real	41
Tabela 18 – Propriedades térmicas das telhas do modelo real	42
Tabela 19 – Absortância das cores do sistema de cobertura	43
Tabela 20 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários.....	46
Tabela 21 – Densidade de potência instalada, fração radiante e visível da iluminação artificial.....	48
Tabela 22 – Potência e fração radiante dos equipamentos.....	48
Tabela 23 – Parâmetros da ventilação natural	49
Tabela 24 – Intervalos de TBSm	51
Tabela 25 – Faixas de temperaturas operativas.....	51
Tabela 26 – Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico	53
Tabela 27 – Incremento mínimo do PHFT	54
Tabela 28 – Redução mínima da CgTT.....	54
Tabela 29 – Propriedades térmicas dos sistemas de coberturas	58
Tabela 30 – Códigos de identificação.....	60
Tabela 31 – Níveis de desempenho térmico dos modelos orientados ao oeste.....	61
Tabela 32 – Níveis de desempenho térmico dos modelos orientados ao norte	62
Tabela 33 – Critérios de desempenho térmico não atendidos pelos modelos orientados ao oeste.....	63
Tabela 34 – Critérios de desempenho térmico não atendidos pelos modelos orientados ao norte.....	64
Tabela 35 – Resumo das indicações para aplicação no clima de Foz do Iguaçu.....	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 DEFINIÇÕES	17
2.2 TRANSMISSÃO DE CALOR NO SISTEMA DE COBERTURA.....	18
2.3 INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE COBERTURA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	19
2.4 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3	22
2.5 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS	23
2.5.1 Desempenho Térmico – Requisitos Gerais.....	23
2.5.2 Desempenho Térmico – Requisitos para os Sistemas de Coberturas	24
2.5.3 Desempenho Energético.....	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	26
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE FOZ DO IGUAÇU, PR.....	27
3.3 DETERMINAÇÃO DA CÉLULA MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ...	29
3.3.1 Modelo Real	30
3.3.2 Modelo de Referência	38
3.3.3 Sistema de Cobertura	40
3.3.4 Casos	44
3.4 PERFIS DE USO E OCUPAÇÃO DA CÉLULA	44
3.5 VENTILAÇÃO NATURAL E CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL	48
3.5.1 Ventilação Natural	49
3.5.2 Condicionamento Artificial	49
3.6 ANÁLISE DE RESULTADOS	50
3.6.1 Temperatura de Bulbo Seco Média – TBSm	50
3.6.2 Percentual de Horas Dentro da Faixa de Temperatura – PHFT.....	51

3.6.3 Temperaturas Operativas Máxima e Mínima – Tomáx e Tomín.....	52
3.6.4 Cargas Térmicas de Refrigeração e de Aquecimento – CgTR e CgTA.....	52
3.7 CRITÉRIOS PARA ATENDIMENTO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	52
3.8 CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE COBERTURA.....	54
4 RESULTADOS.....	57
4.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS SISTEMAS DE COBERTURAS.....	57
4.2 NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS	59
4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CORES NOS MODELOS SIMULADOS	65
4.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NOS MODELOS SIMULADOS.....	71
4.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FORROS NOS MODELOS SIMULADOS	82
4.6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR NOS MODELOS SIMULADOS	92
4.7 COBERTURAS INDICADAS PARA AMBIENTES MULTIFUNCIONAIS EM FOZ DO IGUAÇU, PR.....	104
4.8 RECOMENDAÇÕES DA NBR 15575-5 PARA O SISTEMA DE COBERTURA E OS DESEMPENHOS TÉRMICOS ATINGIDOS PELOS MODELOS	106
5 CONCLUSÕES.....	107
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
6 REFERÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Com o crescimento econômico surgem diversas questões e preocupações acerca da interação entre o homem e a natureza. Essas preocupações estão vinculadas ao alto crescimento populacional, às mudanças climáticas e aos padrões elevados de consumo, que atrelados à falta de planejamento das cidades podem resultar em cenários desfavoráveis para as próximas gerações (LAMBERTS *et al.*, 2007).

Somando-se à questão ambiental, o cenário de pandemia restringiu o acesso à vários locais e as atividades diárias que antes eram realizadas em parques, locais de trabalho, shoppings, academias, etc., passaram a ser realizadas em casa, reforçando a importância de projetar residências com melhores condições de conforto térmico. Diante disso, com o uso mais intenso dos ambientes, tem-se a questão: como o sistema de cobertura pode influenciar na temperatura interna e consumo energético das construções?

Segundo estimativas realizadas pelo IBGE, a taxa de crescimento para a população do Brasil em 2023 é de 0,68% (IBGE, 2023). O crescimento populacional demanda maior quantidade de recursos, entre eles a energia elétrica, da qual o setor residencial foi responsável por 26,4% do consumo no Brasil em 2021 (EPE, 2022). Nesse setor, entre 2005 e 2017, o consumo de eletricidade para o uso de climatizadores triplicou, e estima-se que a demanda de energia para este uso passará de 18,7 TWh em 2017 para 48,5 TWh em 2035, equivalente a um aumento de 5,4% ao ano no período (EPE, 2018).

Além disso, com a chegada da pandemia de COVID-19 foram implantadas políticas de distanciamento social, dentre elas a adoção do home office, intensificando a permanência dos moradores em suas residências e resultando em um aumento de 4,05% no consumo de energia elétrica no setor residencial entre 2019 (período pré pandemia) e 2020 (período de pandemia) (EPE, 2021). Assim, é fundamental aplicar estratégias para diminuição do consumo de energia elétrica, de modo a alcançar o uso sustentável dos recursos naturais.

Com a evolução dos métodos construtivos e dos estudos sobre conforto ambiental, o setor da construção civil está se direcionando, lentamente, à criação de projetos sustentáveis. Isso deve-se também às leis e normas que exigem certos padrões

de construção, à escassez de recursos naturais e aos incentivos fiscais às empresas que possuem construções sustentáveis (LAMBERTS *et al.*, 2007).

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), a cidade de Foz do Iguaçu está na zona bioclimática 3, apresentando verão e inverno bem marcados, com verão quente e úmido. Dados históricos de temperaturas de Foz do Iguaçu mostram amplitude térmica anual média de 10°C (SACHT *et al.*, 2020).

Atualmente, grande parte das residências no Brasil ainda é projetada desconsiderando as características do clima local, o que influencia diretamente no consumo energético e na temperatura interna das edificações. Em Foz do Iguaçu o cenário não é diferente. Essas características climáticas, se não consideradas na concepção e execução do projeto, resultam em desconforto térmico aos usuários e elevado consumo de energia elétrica para climatização artificial dos ambientes ao longo do ciclo de vida da construção.

Nesse contexto estão as coberturas que, por possuírem grande área de troca térmica com o ambiente externo e receberem radiação solar durante boa parte do dia (SAMPAIO *et al.*, 2011), quando não protegidas pela projeção de sombras da envoltória do local, contribuem com cerca de 80% do ganho térmico em casas térreas e exercem influência no desempenho térmico e energético da construção (MASCARÓ, 2010).

Além disso, o conforto térmico e o desempenho energético estão diretamente ligados à carga térmica da edificação (quantidade de energia por unidade de tempo necessária para alterar as condições térmicas de um ambiente). Portanto, sendo a cobertura grande responsável pelo aumento desta carga, é necessário um maior cuidado ao realizar a seleção dos materiais e para a determinação das demais características do telhado (tipo de telha, direção, inclinação, divisão de águas, etc.), de forma a melhorar as condições de conforto térmico.

As condições de conforto térmico podem ser ainda mais afetadas pelo tipo de cobertura de acordo com o rigor do clima, como é o caso de Foz do Iguaçu-PR que, conforme a classificação Köppen-Geiger, possui clima do tipo subtropical úmido mesotérmico, identificado por “Cfa”, denominado também como clima temperado úmido com verão quente ou clima subtropical úmido oceânico, com verão quente e sem estação seca (SACHT *et al.*, 2020).

Tendo em vista essas características, a cidade de Foz do Iguaçu foi selecionada para a realização deste estudo, de forma a encontrar o(s) tipo(s) de cobertura(s) que apresenta(m) o melhor desempenho térmico e energético, quando aplicado a um ambiente multifuncional de uma unidade habitacional unifamiliar.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar, por meio de simulações computacionais, o desempenho térmico de diferentes tipos de coberturas aplicados a um ambiente multifuncional, de uma habitação unifamiliar, considerando o clima de Foz do Iguaçu, PR.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Analisar e comparar o desempenho térmico de modelos simulados, quantificando o percentual de horas dentro da faixa de temperatura de 18°C e 26°C, de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), considerando diferentes coberturas, aplicadas a um ambiente multifuncional de uma habitação em Foz do Iguaçu, PR;

b) Apresentar a influência da variação das propriedades térmicas no percentual de horas dentro da faixa de temperatura (18°C e 26°C), nas temperaturas operativas máxima e mínima, e nas cargas térmicas dos modelos simulados;

c) Apresentar os tipos de cobertura, entre as estudadas, com melhor desempenho térmico e energético, que possam ser consideradas adequadas para ambientes multifuncionais, localizados no clima de Foz do Iguaçu, PR.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DEFINIÇÕES

Para tratar de desempenho térmico de edificações serão utilizados alguns conceitos, apresentados nesta seção. Tais definições são baseadas na NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) e incluem as seguintes propriedades: Condutividade térmica, Resistência térmica, Transmitância térmica, Capacidade térmica, e Absortância à radiação solar. Seguem abaixo tais conceitos:

a) **Condutividade térmica** é o fluxo de calor constante resultante da aplicação de um gradiente de temperatura uniforme em um material, ou seja, é a capacidade de um material conduzir energia térmica quando submetido a uma diferença de temperatura entre suas superfícies. Materiais com alta condutividade térmica são chamados de bons condutores e conduzem a energia térmica de forma mais rápida e com poucas perdas. Símbolo: λ , unidade: $W/(m.K)$;

b) **Resistência térmica** é a razão entre a diferença de temperatura das superfícies e a densidade de fluxo de calor, considerando regime estacionário (quando o fluxo de calor é constante), ou seja, é a quantidade de calor que passa de uma superfície para a outra do mesmo elemento quando submetido à um fluxo de calor constante pela densidade desse fluxo de calor. Assim, quanto maior a resistência térmica do material, menor a densidade do fluxo de calor e maior a diferença entre as temperaturas das superfícies, indicando que o material permite uma menor passagem de calor e é um bom isolante térmico. Símbolo: R , unidade: $(m^2.K)/W$;

c) **Transmitância térmica** é o inverso da resistência térmica, ou seja, quanto maior a transmitância térmica de um material, menor a resistência térmica, consequentemente maior é a densidade do fluxo de calor entre as superfícies indicando que o material não é um bom isolante térmico. Símbolo: U , unidade: $W/(m^2.K)$;

d) **Capacidade térmica** é o quociente da quantidade de calor que gera a variação de uma unidade de temperatura em um componente pela área do componente; ou seja, quanto maior a capacidade térmica, maior é a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura daquele componente. A capacidade térmica corresponde à inércia da edificação, que é a capacidade de um

componente armazenar energia térmica e liberá-la com um atraso. Quanto maior a inércia, maior o atraso térmico. Símbolo: C_T , unidade: $J/(m^2.K)$;

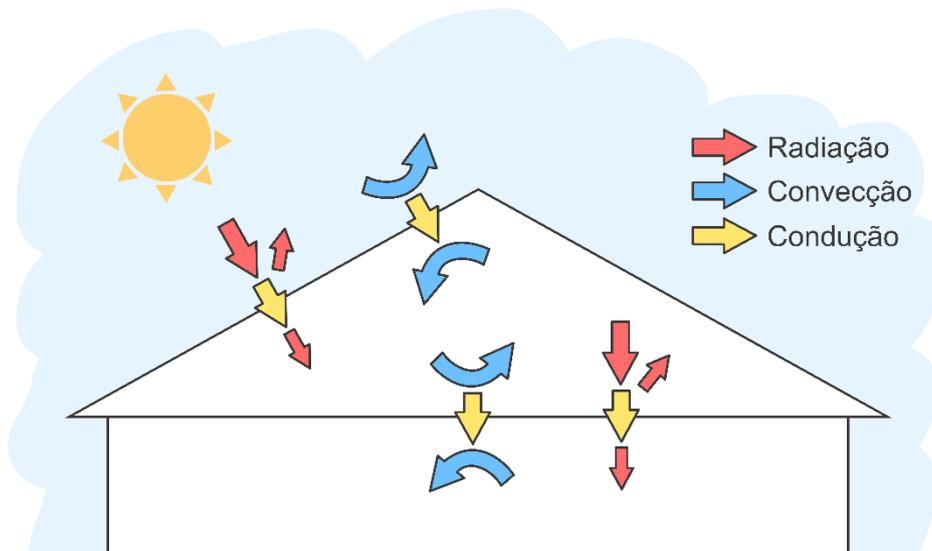
e) **Absortância à radiação solar** é a razão entre a taxa de radiação solar absorvida e a taxa de radiação incidente em uma superfície; assim, quanto maior a absortância, maior a quantidade de radiação solar absorvida pela superfície. Símbolo: α , adimensional;

Além disso, tem-se a definição de conforto térmico que, de acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a), expressa a satisfação psicológica e fisiológica de um indivíduo em relação às condições de temperatura do ambiente.

2.2 TRANSMISSÃO DE CALOR NO SISTEMA DE COBERTURA

O fluxo de calor ocorre quando existe diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa do componente construtivo, por convenção, seu sentido é da superfície de maior temperatura para a superfície de menor temperatura. Nas coberturas esse fluxo pode ser ascendente ou descendente e pode ocorrer por meio de três formas de transmissão de calor: radiação, convecção e/ou condução, conforme **Figura 1**.

Figura 1 – Formas de transmissão de calor



Fonte: Adaptado de MICHELS, 2007

Durante o dia, a superfície externa das telhas recebe calor por meio de radiação solar e convecção. Parte dessa energia térmica é absorvida pela superfície e parte é refletida; quanto maior a absortância da superfície externa, maior será a quantidade de

energia absorvida. Enquanto que a convecção ocorre por meio do movimento do ar aquecido que está próximo da superfície externa das telhas, transferindo energia térmica para a cobertura (MICHELS, 2007).

Após as trocas de calor com o exterior, a temperatura superficial externa das telhas aumenta, gerando uma diferença de temperatura entre as superfícies do componente. Essa diferença de temperatura é equilibrada por meio da transmissão de calor por condução, com um fluxo descendente. Quanto maior a transmitância térmica do componente, mais rápido as temperaturas interna e externa se aproximam. Um componente com alta capacidade térmica pode atrasar a passagem dessa energia térmica entre as superfícies, retardando a liberação de calor no interior do ambiente (MICHELS, 2007).

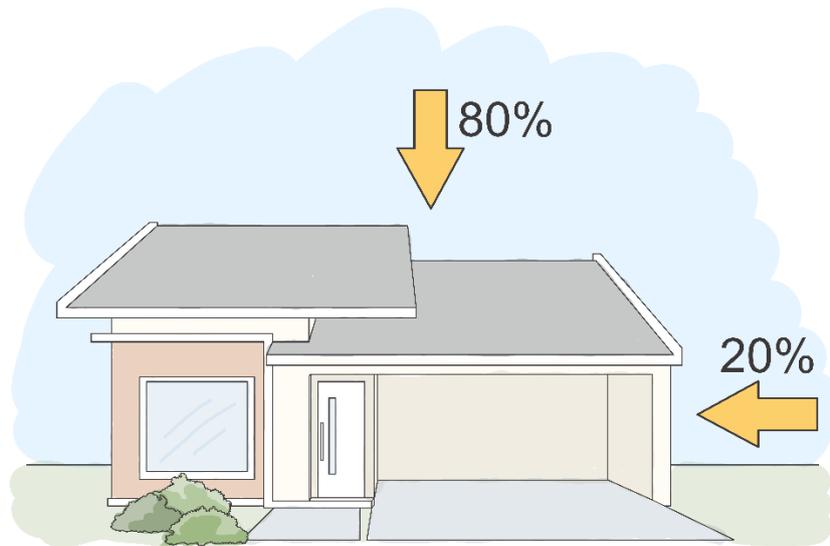
Esses processos de radiação, convecção e condução que ocorrem nas telhas, se repetem no ático do sistema de cobertura. Assim, o forro recebe calor das telhas por radiação e convecção, e transmite esse calor ao interior do ambiente, por meio de condução, convecção e radiação. Na ausência de forro, o calor é transmitido das telhas diretamente para o interior do ambiente.

Durante a noite, o processo se inverte, ocorrendo um fluxo de calor ascendente. O sistema de cobertura transfere a energia térmica para o ar exterior, que está mais fresco que o interior do ambiente. Nesse caso, construções com sistemas de cobertura com alta transmitância térmica atingem temperaturas menores de forma mais rápida. Enquanto que construções com sistemas que possuem alta capacidade térmica demoram mais para liberar o fluxo de calor para o exterior, armazenando a energia térmica por mais tempo no interior do ambiente.

2.3 INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE COBERTURA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

O ganho térmico em edificações ocorre por meio dos elementos de vedação verticais e horizontais. A influência desses elementos no ganho térmico de um ambiente depende dos materiais utilizados, das dimensões desses elementos, da orientação solar e do entorno da edificação. Em edificações de um pavimento, a cobertura corresponde à maior área de troca térmica com o ambiente externo e contribui com cerca de 80% do aumento de temperatura da construção (MASCARÓ, 2010), conforme **Figura 2**. Assim, é fundamental ter cautela na escolha das características do sistema de cobertura.

Figura 2 – Ganho térmico em edificações de um pavimento



Fonte: Adaptado de MASCARÓ, 2010

A escolha adequada dos componentes do sistema de cobertura está associada à compreensão de como as propriedades dos materiais influenciam nas trocas térmicas com o exterior. O entendimento do funcionamento do sistema como um todo e a aplicação desse conhecimento certamente resultam no melhor desempenho térmico e energético da edificação.

A maior parte do ganho térmico em uma edificação ocorre por meio da radiação solar, assim, a absorvância do sistema de cobertura exerce grande influência sobre o desempenho térmico e energético da construção (LAMBERTS *et al.*, 2014). Essa propriedade térmica está associada à seletividade da radiação de ondas curtas, onde parte dessa radiação é refletida e parte é absorvida.

A absorvância está relacionada com a quantidade de radiação solar absorvida. Quanto maior a absorvância de um componente, maior é a absorção da radiação incidente sobre esse componente e conseqüentemente maior é o ganho térmico da edificação. Enquanto que valores de absorvância menores estão associados a uma menor absorção, situação na qual a maior parte dessa radiação é refletida.

A parte da radiação que é absorvida pelas telhas é transmitida para o interior do sistema de cobertura por meio da condução, que depende da transmitância térmica e da capacidade térmica do componente envolvido. Quanto menor é a transmitância térmica do componente, maior é o isolamento da construção; e quanto maior a capacidade térmica, maior é a capacidade do componente armazenar energia térmica e liberá-la posteriormente (inércia térmica).

O alto isolamento térmico de edificações diminui as perdas de calor para o exterior durante o inverno, diminuindo as horas de frio e a carga térmica necessária para aquecimento do ambiente. No entanto, no verão, em climas quentes o alto isolamento térmico dificulta a dissipação do calor presente no interior do ambiente, provocando o aumento das temperaturas internas e da carga térmica necessária para resfriamento (RORIZ *et al.*, 2009).

Segundo Melo e Lamberts (2008), quanto maior a amplitude térmica do ambiente externo e/ou maiores os ganhos térmicos, maior é a importância do uso de componentes com alta capacidade térmica. No entanto, os autores ressaltam a necessidade de controlar a entrada do ar externo para o interior do ambiente para promover o uso eficiente da inércia térmica do componente.

Teixeira (2022) e Alves (2022) analisaram a influência da aplicação de diferentes sistemas de coberturas no desempenho térmico de habitações unifamiliares, localizadas em Foz do Iguaçu, PR, por meio de simulações computacionais.

Segundo Teixeira (2022), as coberturas afetaram de forma significativa no desempenho térmico e energético dos modelos. Foram analisadas telhas de fibrocimento, cerâmica, de aço trapezoidal e termoacústica com valores de absorvância iguais a 0,60; 0,52; 0,40 e 0,40, respectivamente. As composições com telha termoacústica e com manta aluminizada (isolamento térmico) apresentaram desempenho térmico e energético superior, além disso, a telha foi o componente com maior influência nos resultados, sendo indiferente o uso de laje.

De acordo com Alves (2022), as composições com telha termoacústica (menor valor de transmitância térmica) apresentaram os maiores percentuais de horas dentro da faixa de temperatura operativa e as menores cargas térmicas. Enquanto que os modelos com telha de fibrocimento ou de concreto, associados ao forro de PVC, que possuem elevada transmitância térmica, não atingiram o nível mínimo de desempenho térmico. Foram analisadas telhas cerâmicas, de fibrocimento, de concreto plana e termoacústica, com valores de absorvância iguais a 0,47; 0,65; 0,73 e 0,25, respectivamente. Segundo a autora, esses resultados confirmam que as recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), que indica cobertura leve e isolada com transmitância térmica menor do que 2,00 [W/(m².K)], estão associadas a desempenhos térmicos maiores.

Além disso, conforme a autora (ALVES, 2022), os modelos com laje atingiram maiores resultados de desempenho térmico quando comparados com os modelos com forro. No entanto, por possuírem maior capacidade térmica, no verão as composições

com laje liberaram menor quantidade de calor no período noturno, apresentando temperaturas mais altas. O modelo mais indicado para Foz do Iguaçu, PR, foi o com telha termoacústica e laje de concreto, que resultou em maior desempenho térmico e redução de cargas térmicas, quando comparado com os outros modelos.

2.4 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3

Conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), as diretrizes construtivas recomendadas para a zona bioclimática 3, que corresponde a Foz do Iguaçu, são aberturas médias para ventilação e sombreamento das aberturas, de forma a permitir o sol durante o inverno. As vedações externas devem possuir parede leve refletora e cobertura leve isolada. As estratégias de condicionamento térmico passivo são ventilação cruzada para o verão, e para o inverno aquecimento solar da construção e vedações internas pesadas, de alta inércia térmica (ABNT, 2005b). A **Tabela 1** contém o detalhamento das estratégias descritas acima.

Tabela 1 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005b, p. 11-12

O Anexo C da NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), determina as diretrizes construtivas para as estratégias recomendadas para cada zona bioclimática. A **Tabela 2** se refere às características das aberturas para ventilação e a **Tabela 3** às propriedades térmicas das vedações externas.

Tabela 2 – Aberturas para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Médias	15% < A < 25%

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005b, p. 22

Tabela 3 – Vedações externas

Vedações externas	Transmitância térmica – U [W/m ² .K]	Atraso térmico – ϕ [h]	Fator solar – FS _o [%]
Paredes leves refletoras	U ≤ 3,60	ϕ ≤ 4,3	FS _o ≤ 4,0
Coberturas leves isoladas	U ≤ 2,00	ϕ ≤ 3,3	FS _o ≤ 6,5

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005b, p. 22

2.5 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

2.5.1 Desempenho Térmico – Requisitos Gerais

O desempenho térmico de edificações depende dos materiais, da espessura e das propriedades térmicas das vedações verticais e horizontais; da orientação solar; da dimensão das aberturas de ventilação; da dimensão das áreas envidraçadas; dos horários de uso e da quantidade de ocupantes; dos perfis de uso e ocupação; da quantidade de equipamentos; do uso de iluminação artificial; do entorno da edificação e do clima do local de implantação.

A aplicação de estratégias bioclimáticas adequadas ao clima onde a construção está inserida, pode controlar os ganhos térmicos da edificação, melhorando o desempenho térmico e, conseqüentemente, resultando em um menor consumo energético para climatização artificial dos ambientes.

A avaliação do desempenho térmico deve ser realizada para os ambientes de permanência prolongada. Para realizar a análise, pode-se utilizar o procedimento simplificado ou o procedimento de simulação computacional. O resultado é determinado

com base no cumprimento ou não dos critérios de cada nível de desempenho, e é de caráter obrigatório que sejam atendidos os requisitos do nível mínimo (ABNT, 2021a).

2.5.2 Desempenho Térmico – Requisitos para os Sistemas de Coberturas

A NBR 15575-5 (ABNT, 2021b) estabelece os valores de referência de transmitância térmica, para que o sistema de cobertura apresente características que indiquem o atendimento do desempenho térmico mínimo. As coberturas dos ambientes de permanência prolongada devem possuir transmitância térmica igual ou inferior ao valor de referência, conforme a **Tabela 4**.

Tabela 4 – Transmitância térmica de referência para coberturas

Absortância à radiação solar – α_{cob} [-]	Transmitância térmica de coberturas – U_{cob} [W/m ² .K]
$\alpha_{cob} \leq 0,6$	$U_{cob} \leq 2,3$
$\alpha_{cob} > 0,6$	$U_{cob} \leq 1,5$

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021b, p. 4 (emenda 1)

2.5.3 Desempenho Energético

O desempenho energético está relacionado com o desempenho térmico da edificação, quanto maior o desconforto por frio ou por calor sentido pelo usuário, maior será a carga térmica necessária para reproduzir um ambiente confortável termicamente, aumentando o consumo energético (TEIXEIRA, 2022).

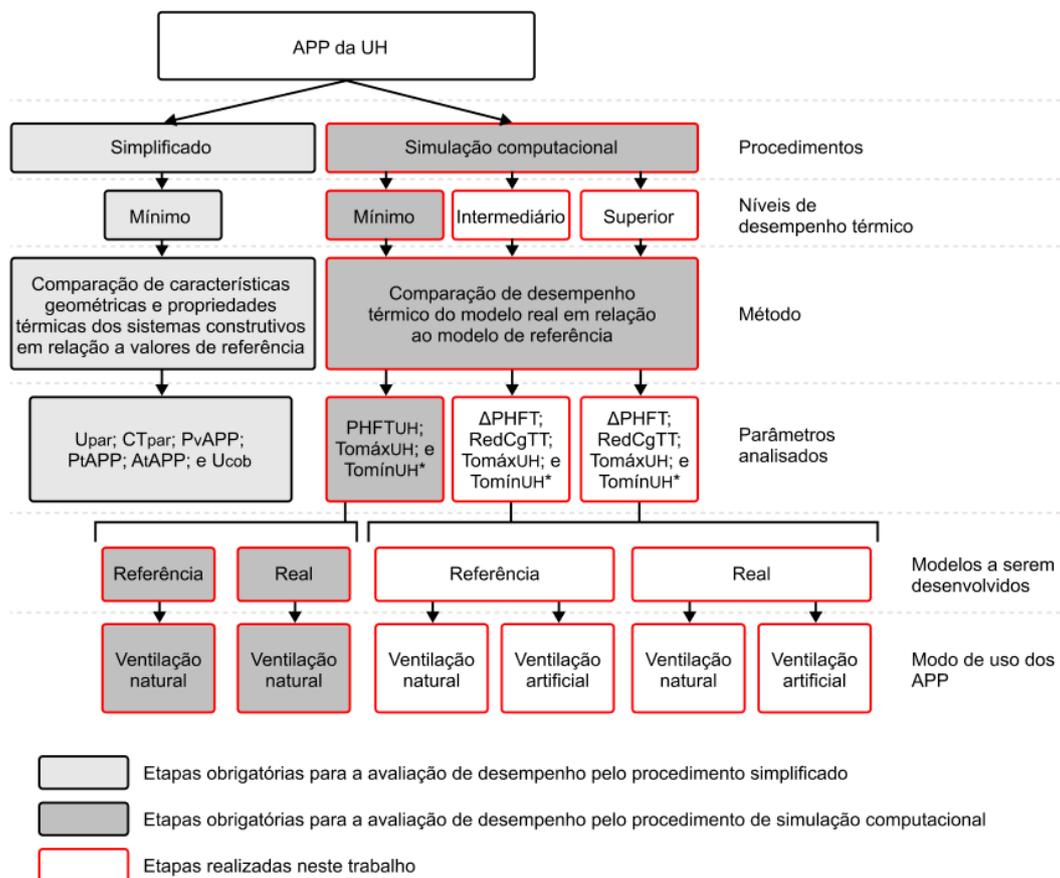
As cargas térmicas de resfriamento e aquecimento são calculadas para os modelos simulados sem o uso de ventilação natural. Os valores obtidos são utilizados para fazer a análise dos níveis de desempenho intermediário e superior. Para que uma construção atinja esses níveis de desempenho, um dos requisitos é que ocorra uma diminuição da carga térmica do modelo real em relação ao modelo de referência. O nível superior se diferencia do nível intermediário pelas reduções mais elevadas de carga térmica (ABNT, 2021a). Sendo assim, para alcançar elevados níveis de desempenho energético é necessário melhorar o desempenho térmico da edificação.

3 METODOLOGIA

A avaliação da influência do sistema de cobertura na temperatura interna de um ambiente e no consumo energético para climatização artificial pode ser feita com base nas recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), e depende dos componentes da célula ou edificação em estudo (janelas, portas, paredes e cobertura), dos materiais utilizados, das cargas térmicas internas (equipamentos e pessoas) e do clima do local onde a edificação está implantada. Neste trabalho foi feita a análise de uma célula.

O desempenho térmico deve ser analisado nos ambientes de permanência prolongada (APP), e pode ser classificado em mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) é obrigatório que a célula atenda pelo menos aos requisitos de desempenho mínimo e a análise deve ser feita considerando um dos dois métodos: simplificado ou simulação computacional. A **Figura 3** apresenta os procedimentos que devem ser seguidos para a análise de desempenho térmico.

Figura 3 – Procedimentos da análise do desempenho térmico conforme a NBR 15575-1



*Necessário apenas para as zonas climáticas 1, 2, 3 e 4

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a, p. 17 (emenda 1)

No caso deste trabalho, foi utilizado o procedimento de simulação computacional, que permite avaliar o desempenho térmico conforme as três classificações anteriores (mínimo, intermediário e superior), diferente do procedimento simplificado, que permite a análise apenas para o nível mínimo de desempenho. Durante a execução das simulações computacionais, foi avaliado o comportamento térmico com condicionamento natural e o consumo energético com condicionamento artificial para o modelo real e o modelo de referência, variando o sistema de cobertura. O detalhamento dos procedimentos realizados está em vermelho na **Figura 3**.

3.1 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Conforme o procedimento de simulação computacional indicado na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), deve-se determinar dois modelos para realizar as simulações: o modelo real e o modelo de referência. Para analisar o nível de desempenho térmico atingido pela célula deve-se considerar os seguintes aspectos: para avaliar o atendimento do nível mínimo, a simulação dos modelos deve ser feita apenas com a ventilação natural dos ambientes de permanência prolongada; já para o atendimento dos níveis intermediário e superior, deve-se simular os modelos com e sem o uso de ventilação natural.

A partir da simulação com o uso de ventilação natural, determina-se o percentual de horas de ocupação dos APPs dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$), que varia conforme o clima local, e as temperaturas operativas anuais máxima e mínima dos APPs ($Tomáx_{APP}$ e $Tomín_{APP}$) (ABNT, 2021a). Já para a simulação sem o uso de ventilação natural, determina-se a carga térmica de refrigeração anual dos APPs ($CgTR_{APP}$) e a carga térmica de aquecimento anual dos APPs ($CgTA_{APP}$). O nível de desempenho é determinado por meio de comparações entre os valores obtidos para o modelo real e o de referência.

No nível mínimo, comparam-se os valores de $PHFT$, $Tomáx$ e $Tomín$ do modelo real e do modelo de referência. Nos níveis intermediário e superior, a comparação é feita entre os valores de $PHFT$ e de reduções de carga térmica total ($CgTT$), obtidos no modelo real e no modelo de referência, a diferença entre os dois últimos níveis é a redução mais elevada de $CgTT$ no nível superior. Para analisar o modelo em níveis mais elevados de desempenho térmico, é necessário atender aos critérios dos níveis anteriores.

Na execução das simulações computacionais, foi utilizado o programa *EnergyPlus™*, versão 9.3.0, gratuito, para a verificação do desempenho térmico e energético da célula modelo, com a interface gráfica do *SketchUp 2017* e com o uso do plugin *Euclid*, versão 0.9.4.3, programa gratuito. As dimensões da célula e as características das vedações verticais, nos modelos real e de referência, permaneceram iguais.

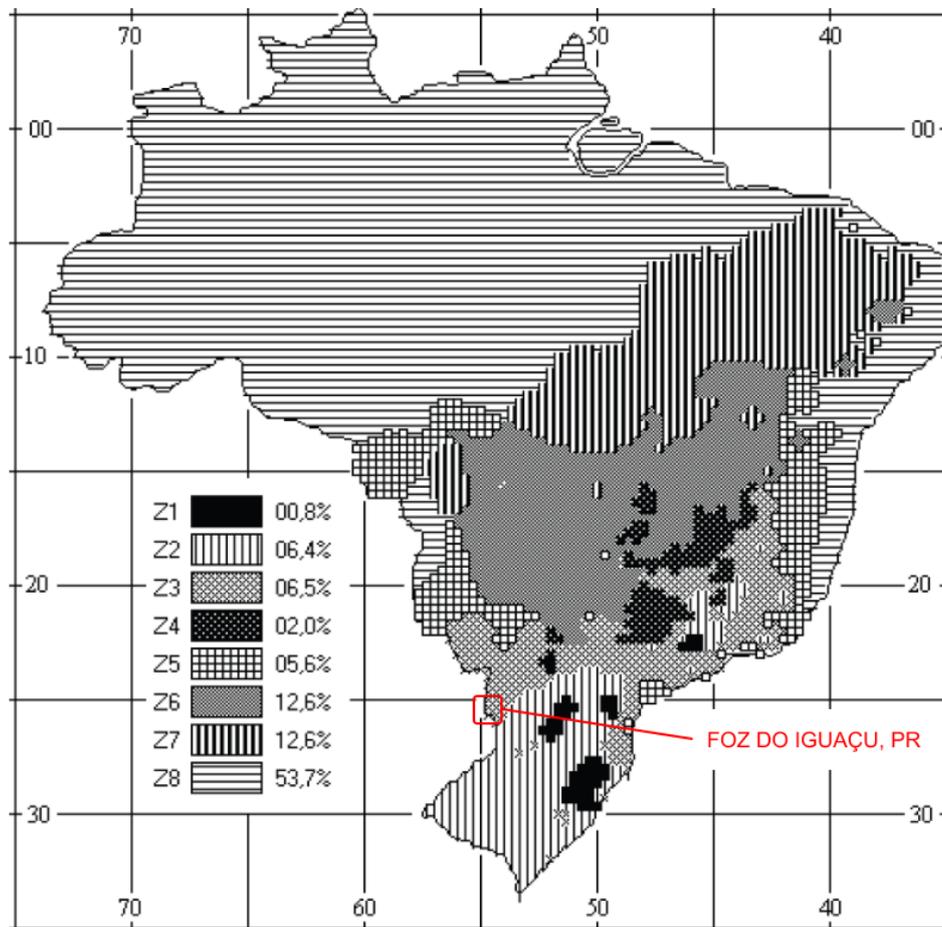
Foram variados, inicialmente, os tipos de coberturas, permitindo a comparação específica entre o desempenho térmico e energético de diferentes soluções para uma mesma célula, de forma a obter as temperaturas anuais e o consumo energético associados a cada tipo de cobertura considerado para a análise nas simulações computacionais. As configurações da modelagem estão detalhadas adiante.

3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE FOZ DO IGUAÇU, PR

O zoneamento climático é definido de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). Segundo esta norma, o Brasil é composto por 8 zonas bioclimáticas, cada uma com diretrizes construtivas específicas. As estratégias indicadas favorecem a adequação climática da construção ao clima em que está inserida.

Como informação inicial, sabe-se que Foz do Iguaçu pertence à zona bioclimática 3, conforme indicado na **Figura 4**, para a qual são indicadas aberturas médias para ventilação e sombreamento, permitindo o sol durante o inverno, vedações externas com paredes leves refletoras e cobertura leve isolada. Além disso, as estratégias de condicionamento térmico passivo indicados para essa zona são: ventilação cruzada no verão, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas no inverno.

Figura 4 – Zoneamento bioclimático brasileiro, Foz do Iguaçu, PR, indicada em vermelho



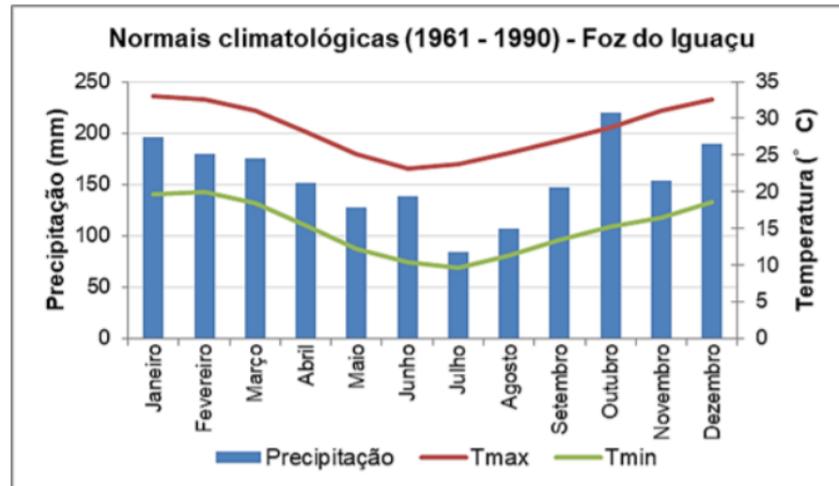
Fonte: ABNT, 2005b, p. 2

De acordo com Sacht *et al.* (2020, p. 8-9):

O clima de Foz de Iguaçu é subtropical úmido mesotérmico, classificado por Köppen como “Cfa” (clima temperado úmido com verão quente), que concorda com a classificação atualizada por Alvares *et al.* (2014), também chamada de Cfa (clima subtropical úmido, oceânico sem estação seca, verão quente), por ser equivalente. O grupo climático “C” indica clima temperado quente, com temperatura média do ar do mês mais frio compreendida entre -3°C e 18°C ; a temperatura média do mês mais quente maior que 10°C e as estações de verão e inverno são bem definidas. A região fundamental “f” indica clima úmido, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano; inexistência de estação seca definida e precipitação média do mês mais seco deverá ser superior a 60 mm. A classe climática “a” apresenta verão quente e a temperatura média do ar no mês mais quente deverá ser superior a 22°C . A cidade (altitude de 192 m), tem uma das maiores amplitudes térmicas anuais do estado, valor aproximado de 10°C de diferença média entre o inverno e o verão, devido a uma menor influência da maritimidade. Por essa razão, os verões costumam ser muito quentes, com máximas médias chegando aos 33°C , chegando a superar a marca dos 40°C em alguns anos. Apesar de serem considerados amenos, os invernos propiciam quedas bruscas de temperaturas que podem cair abaixo de zero durante a passagem de frentes frias com as massas de ar polar. As chuvas costumam ser bem distribuídas durante o ano, com uma pequena redução no inverno. A precipitação anual varia em torno dos 1.800 mm. Através das normais

climatológicas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é possível verificar o padrão mensal de chuvas e temperatura (**Figura 5**).

Figura 5 – Normais Climatológicas para Foz do Iguaçu-PR



Fonte: SACHT *et al.* 2020.

Quanto aos arquivos climáticos, foram seguidas as orientações descritas no Relatório Técnico TR 15575-1-1 (ABNT, 2021c). Os arquivos devem ter dados representativos das 8760 horas do ano meteorológico típico da cidade do estudo, e estar em formato EPW. Assim, foi selecionado o arquivo climático denominado “BRA_PR_Foz .do.Iguacu-Cataratas.Intl.AP.838270_TMYx.zip”, disponível no site *Climate One Building* (LAWRIE, L.K., CRAWLEY, D.B., 2019), com dados climáticos representativos dos anos entre 1973 e 2021.

3.3 DETERMINAÇÃO DA CÉLULA MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A célula foi definida seguindo as orientações do Código de Obras de Foz do Iguaçu (FOZ DO IGUAÇU, 1991) e da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). Para a análise do desempenho térmico da célula, deve-se determinar o modelo real e o modelo de referência.

O modelo real mantém as mesmas características da edificação em análise, como propriedades dos materiais, sistemas construtivos, aberturas (portas e janelas), volumetria, disposição dos elementos etc. No caso do modelo de referência, deve-se adotar características de referência, mantendo a disposição dos elementos, aberturas e volumetria do modelo real, e alterando as propriedades térmicas dos sistemas construtivos.

Sendo assim, as características que devem ser mantidas idênticas nos dois modelos são: volume interno e divisão de ambientes, área de piso e condições de contato

com o solo, área de superfícies expostas ao exterior, orientação geográfica e condições do entorno. A norma recomenda que sejam consideradas todas as trocas térmicas entre as superfícies dos diferentes ambientes, no entanto, para este trabalho, foram desconsideradas as trocas térmicas de duas paredes, detalhadas adiante.

3.3.1 Modelo Real

As características do modelo real foram definidas seguindo as orientações da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) e do Código de Obras da cidade de Foz do Iguaçu (FOZ DO IGUAÇU, 1991), que estabelecem dimensões mínimas para ambientes, mobiliário e circulação. O modelo real representa um ambiente multiuso de permanência prolongada, no caso deste trabalho, um quarto de casal com local para estudo/trabalho, que é parte de uma habitação unifamiliar.

O dormitório de casal possui cama de casal, dois criados-mudos, um guarda-roupas e uma mesa de estudos com cadeira. As dimensões do mobiliário e o espaçamento para circulação entre os móveis, foram considerados conforme a **Tabela 5** que possui dados coletados na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Tabela 5 – Mobiliário do ambiente

Móvel ou equipamento	Dimensões [m]		Circulação mínima [m]
Cama de casal	1,40	1,90	0,50
Criado-mudo	0,50	0,50	0,50
Guarda-roupa	1,60	0,50	0,50
Mesa de estudo	0,80	0,60	0,50

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a, p. 69

Além das dimensões do mobiliário, deve-se considerar o estabelecido no Código de Obras de Foz do Iguaçu (FOZ DO IGUAÇU, 1991). As paredes, quando executadas em alvenaria de tijolo comum, devem ter espessura mínima de 0,12 m. Os APPs devem ter no mínimo 4 m², com formato no plano do piso capaz de conter um círculo com diâmetro mínimo de 1,60 m, e pé direito mínimo de 2,50 m. Para as aberturas a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) recomenda aberturas médias com área entre 15% e 25% da área do piso. A **Tabela 6** apresenta as condições mínimas para projetos em Foz do Iguaçu.

Tabela 6 – Resumo das dimensões mínimas para construções em Foz do Iguaçu

Ambiente de permanência prolongada	
Área mínima	4 m ² (círculo inscrito com diâmetro mínimo de 1,60 m)
Pé direito mínimo	2,50 m
Iluminação/ventilação mínima	15% da área do piso
Espessura mínima da parede	0,12 m

Fonte: Adaptado de FOZ DO IGUAÇU, 1991 e ABNT, 2005b

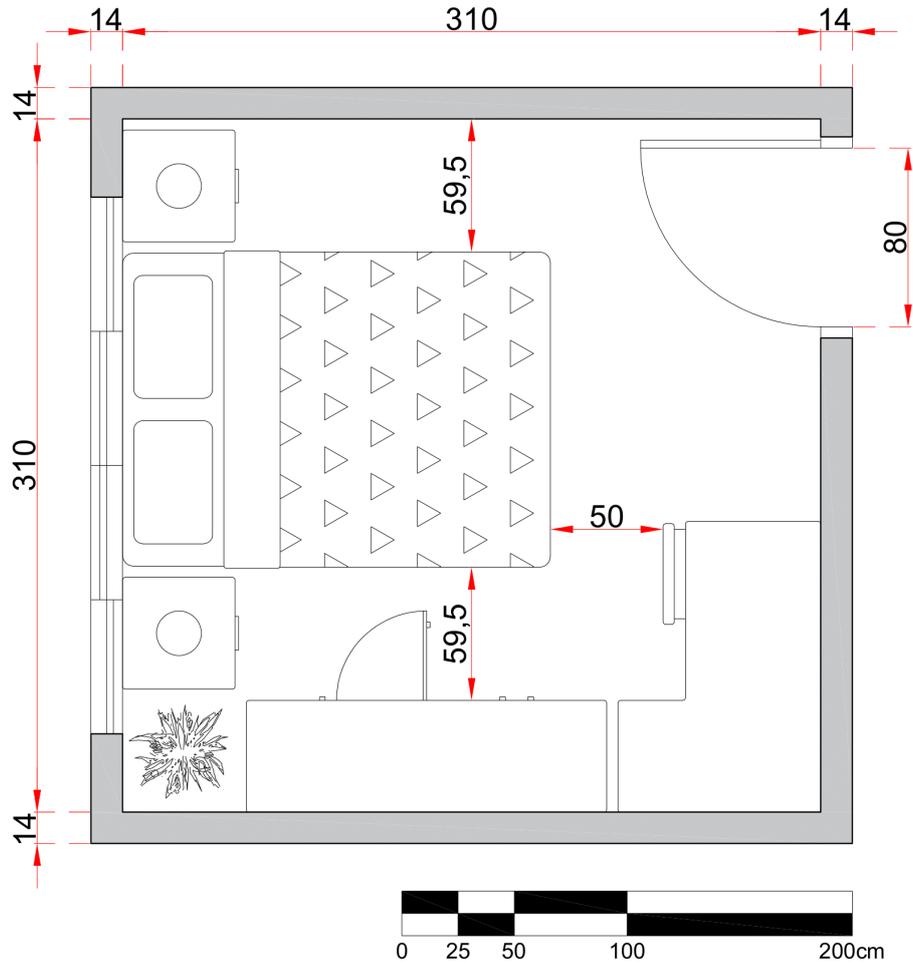
É importante ressaltar que neste trabalho, optou-se por considerar condições críticas, seguindo os requisitos mínimos determinados pelas normas técnicas e pelo código de obras, de forma a simular os ambientes mais desfavoráveis quanto a conforto térmico e consumo energético, ou seja, adotou-se o menor pé direito e a menor abertura para ventilação possível. No entanto, foi definida uma área acima de 9m² para a célula analisada, por considerar o valor de 4m² muito inferior ao necessário para o ambiente multifuncional.

As medidas do modelo proposto estão detalhadas na **Tabela 7**, a janela possui 2,88 m² de área total, assim, a área de iluminação corresponde a 30% da área do piso (2,88 m² = 30% da área do piso) e a área de ventilação corresponde a 15% da área do piso (abertura efetiva de 50% para ventilação, 50% de 2,88 m² = 1,44 m² = 15% da área do piso), sendo a área do piso igual a 9,61 m². Maiores detalhes do projeto estão ilustrados nas Figuras 6, 7 e 8. Na **Figura 6** não consta o posicionamento do norte, pois foram consideradas quatro disposições de paredes expostas ao exterior, detalhadas adiante.

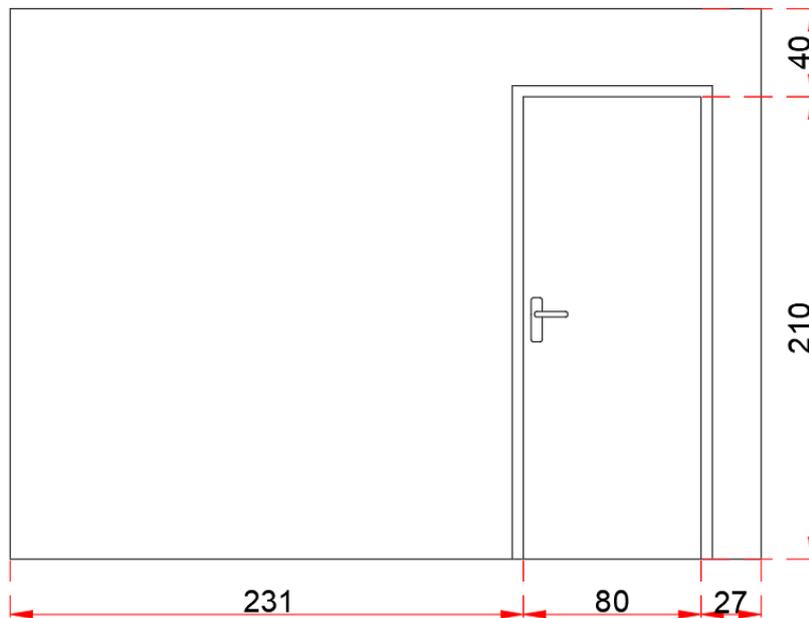
Tabela 7 – Dimensões do modelo real

Quarto com área de estudo (APP de uso misto)	
Área	9,61 m ² (3,10 m x 3,10 m)
Pé direito	2,50 m
Espessura da parede	0,14 m
Porta	0,80 m x 2,10 m
Janela	2,40 m x 1,20 m (1,10 m de peitoril), abertura efetiva de 50%

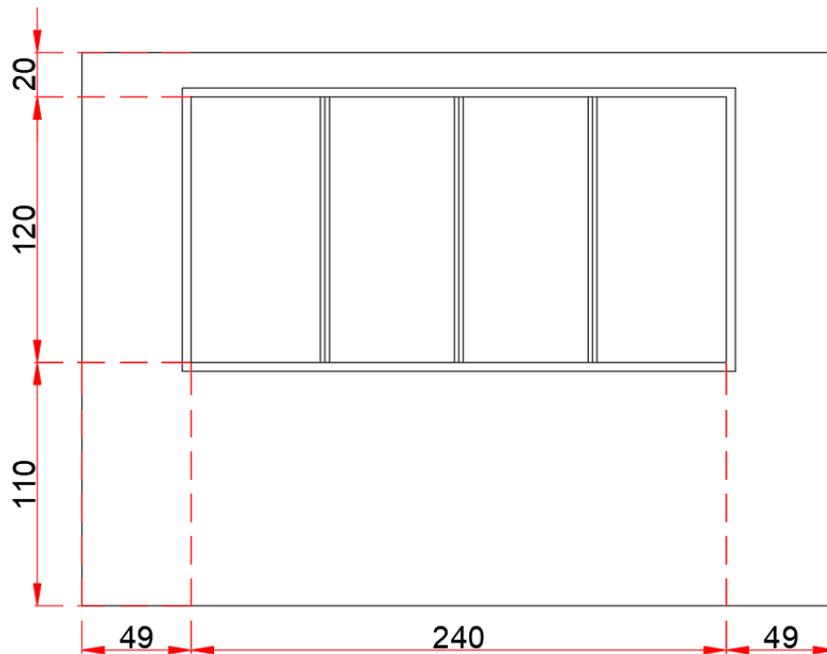
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 6 – Planta baixa do quarto com área de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 7 – Dimensões da porta [cm]

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 8 – Dimensões da janela [cm]

Fonte: Elaborado pela autora

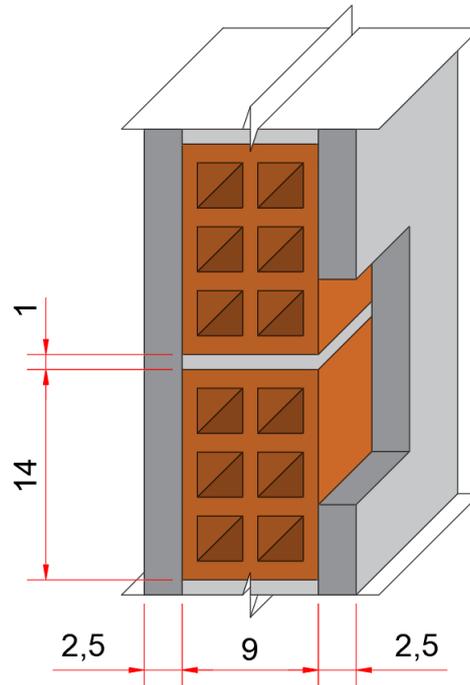
As paredes consideradas são compostas por tijolos de 6 furos de seção quadrada, assentados conforme **Figura 9**. O tijolo possui 9 cm de largura, 14 cm de altura e 19 cm de comprimento, a espessura da argamassa de assentamento é 1 cm e a argamassa de emboço possui 2,5 cm, assim, a espessura total da parede é de 14 cm. Foi considerada a mesma configuração para paredes externas e internas. A célula possui porta de madeira, vidro simples incolor de 3 mm, e pintura das paredes externas e internas na cor pérola. Já para os perfis da esquadria da janela, adotou-se o mesmo valor do modelo de referência. As propriedades térmicas das esquadrias e elementos transparentes estão na **Tabela 8** e as propriedades do fechamento vertical e seus componentes estão na **Tabela 9**.

Tabela 8 – Propriedades térmicas das esquadrias e elementos transparentes

Elemento	α	ε	U_t [W/(m ² .K)]	e [mm]	FS
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00	–
Vidro simples incolor de 3 mm	–	–	5,7	3	0,87

α = absorptância à radiação solar; ε = emissividade; U = transmitância térmica; e = espessura; e FS = fator solar

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Figura 9 – Detalhamento da parede [cm]

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 9 – Propriedades dos materiais utilizados nas paredes/ fechamento vertical

Elemento	e [m]	λ [W/m.K]	C [J/(kg.K)]	α	R_T [(m ² .K)/W]	ρ [kg/m ³]
Reboco (cor pérola)	0,025	1,15	1000	0,221	0,0217	2000
Tijolo cerâmico	0,0134	0,90	920	0,65	0,0149	1600
Câmara de ar	0,03	–	–	–	0,175	–
Porta de madeira	0,03	0,15	1340	–	0,2	600

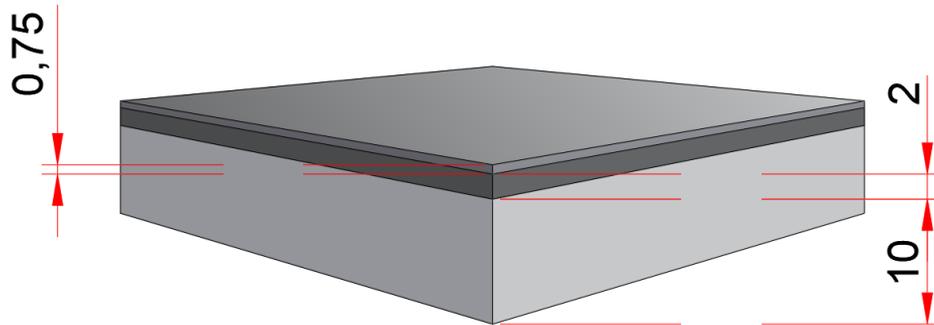
e = espessura; λ = condutividade térmica; C = calor específico; α = absorvância à radiação solar; R_T = resistência térmica; e ρ = densidade

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005b e DORNELLES, 2008.

O piso é composto por uma laje de concreto de 10 cm de espessura, contra piso de 2 cm de espessura e revestimento cerâmico com 7,5 mm de espessura. Foram consideradas as trocas térmicas entre o piso e o solo por meio do uso do objeto *Ground Domain* no *EnergyPlus*, conforme recomendações do Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto *Ground Domain* no Programa *EnergyPlus* – Versão 9.0.1,

publicado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2019). O detalhamento do piso se encontra na **Figura 10**, e as propriedades térmicas dos elementos que compõem o piso na **Tabela 10**.

Figura 10 – Detalhamento do piso [cm]



Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 10 – Propriedades dos materiais utilizados no piso

Elemento	e [m]	λ [W/m.K]	C [J/(kg.K)]	α	R_T [(m ² .K)/W]	ρ [kg/m ³]
Laje de concreto maciça	0,10	1,75	1000	0,8	0,0571	2200
Piso cerâmico	0,0075	1,05	920	0,7	0,0071	2000
Contra piso	0,02	1,15	1000	0,8	0,0174	2000

e = espessura; λ = condutividade térmica; C = calor específico; α = absorvância à radiação solar; R_T = resistência térmica; e ρ = densidade

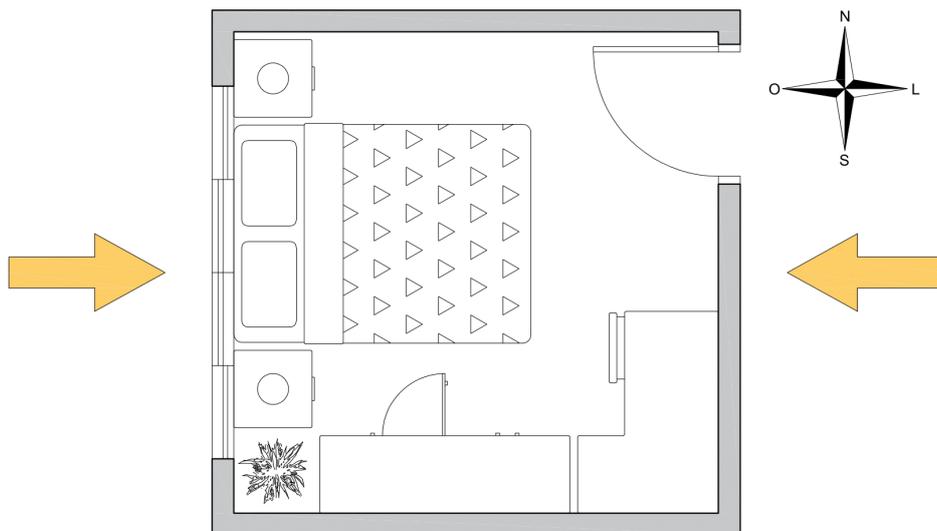
Fonte: Adaptado de LABEEE, 2017

As características do sistema de cobertura estão detalhadas na seção **3.3.3**, adianta-se que serão definidas seis configurações de forro (forro de PVC, forro de gesso, laje maciça de concreto, laje combinada com gesso, laje combinada com PVC e sem forro), três tipos de telhas (termoacústica, fibrocimento e cerâmica) e quatro valores de absorvância para a análise de cada telha (absorvância da cor padrão de cada telha, e os valores: (0,102); (0,367) e (0,715)).

Além disso, para simular a célula foram considerados dois casos de orientação solar da janela, um com janela direcionada para o norte e outro com janela direcionada para oeste. Para cada caso de orientação das janelas foram consideradas duas configurações de exposição das paredes: paredes opostas ou adjacentes expostas ao exterior. Assim, os modelos possuem, no total, quatro disposições de paredes expostas ao

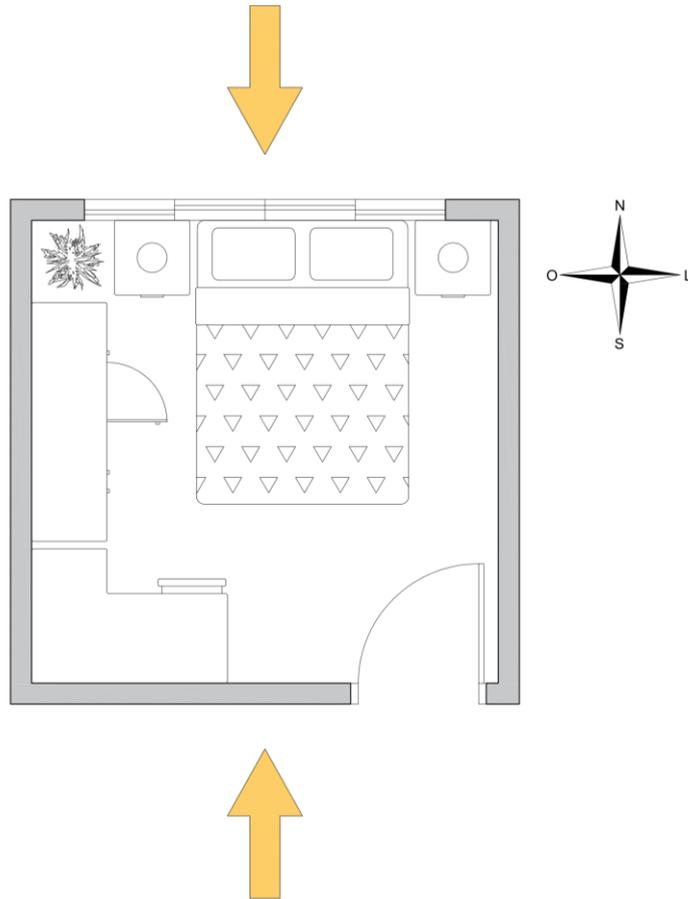
exterior: janela orientada ao oeste, com as paredes oeste e leste expostas ao exterior (**Figura 11**); janela orientada ao norte, com as paredes norte e sul expostas (**Figura 12**); janela orientada ao oeste, com paredes oeste e norte expostas (**Figura 13**); e, por fim, janela orientada ao norte, com paredes norte e leste expostas ao exterior (**Figura 14**). As outras paredes foram consideradas em contato com outros ambientes da unidade habitacional, e sem trocas térmicas, ou seja, adiabáticas.

Figura 11 – Janela orientada ao oeste, com paredes oeste e leste expostas



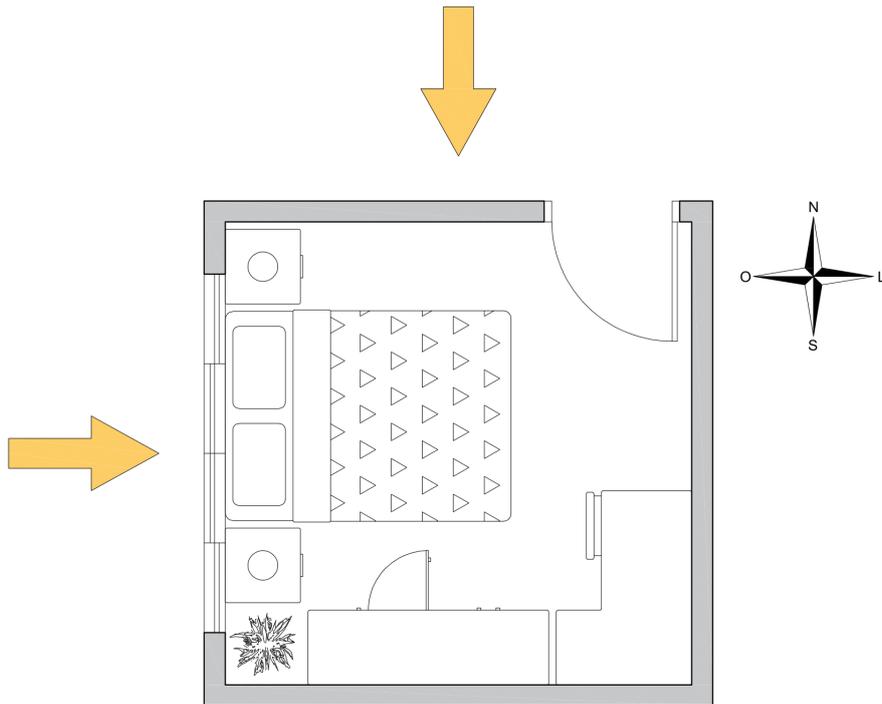
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 12 – Janela orientada ao norte, com paredes norte e sul expostas



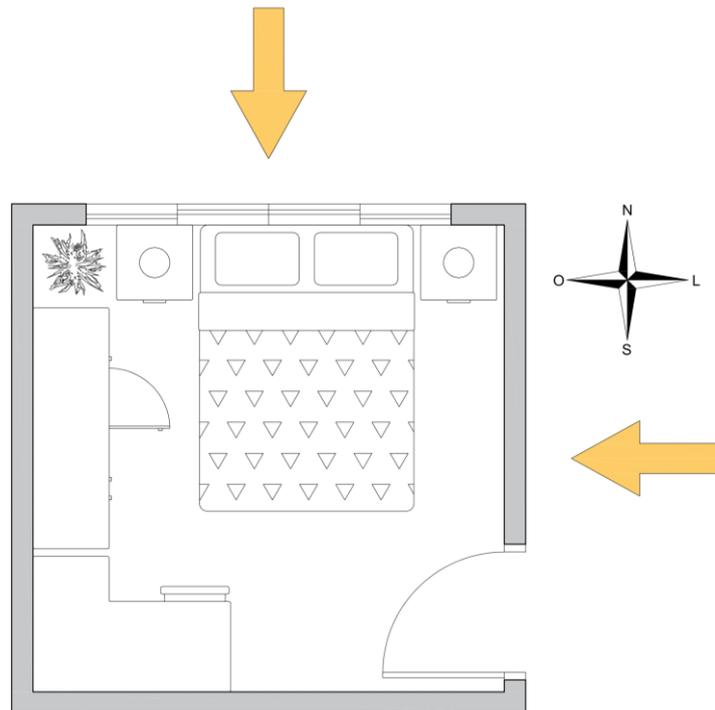
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13 – Janela orientada ao oeste, com paredes oeste e norte expostas



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 – Janela orientada ao norte, com paredes norte e leste expostas



Fonte: Elaborado pela autora

3.3.2 Modelo de Referência

As paredes e os pisos do APP (Ambiente de Permanência Prolongada) devem ter 100 mm de espessura, e serem compostos por materiais com as propriedades térmicas (**Tabela 11**) especificadas pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). Para a cobertura externa, deve-se considerar telhas com 6 mm de espessura, laje com 100 mm de espessura, câmara de ar com resistência térmica de 0,21 [(m².K)/W], e ser composta por materiais com as propriedades térmicas que constam na **Tabela 12** (ABNT, 2021a).

Tabela 11 – Propriedades térmicas das vedações do modelo de referência

Elemento	λ [W/(m.K)]	C [J/(Kg.K)]	α	ϵ	ρ [kg/m ³]
Paredes externas	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Paredes internas	1,75	1000	*	*	2200
Pisos	1,75	1000	*	*	2200

* Adotar valor do modelo real. λ = condutividade térmica; C = calor específico; α = absorvância à radiação solar; ϵ = emissividade; e ρ = densidade

Fonte: ABNT, 2021a, p. 27 (emenda 1)

Tabela 12 – Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência

Elemento	λ [W/(m.K)]	C [J/(Kg.K)]	α	ε	ρ [kg/m ³]
Telha com 6 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1700
Laje com 100 mm de espessura	1,75	1000	*	*	2200

* Adotar valor do modelo real. λ = condutividade térmica; C = calor específico; α = absorptância à radiação solar; ε = emissividade; e ρ = densidade

Fonte: ABNT, 2021a, p. 28 (emenda 1)

Os elementos transparentes do modelo de referência devem seguir o posicionamento, de acordo com os centros geométricos dos mesmos elementos do modelo real. Considera-se uma abertura de 45% em cada elemento para ventilação. Deve-se atender também as características especificadas na **Tabela 13** e na **Tabela 14**, retiradas da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). As portas completamente opacas do modelo de referência devem possuir as mesmas propriedades térmicas e geométricas do modelo real.

Tabela 13 – Características dos elementos transparentes do modelo de referência

Elemento	FS	U_t [W/(m ² .K)]	$P_{t,APP}$ [%]
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

FS = fator solar; U_t = transmitância térmica; e $P_{t,APP}$ = percentual de elementos transparentes

Fonte: ABNT, 2021a, p. 30 (emenda 1)

Tabela 14 – Abertura para ventilação do modelo de referência

Elemento	$P_{v,APP}$ [%]
Abertura para ventilação	7,65

$P_{v,APP}$ = percentual de abertura para ventilação

Fonte: ABNT, 2021a, p. 30 (emenda 1)

O percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) é calculado pela **Equação**

1. E o percentual de aberturas para ventilação ($P_{v,APP}$) é calculado pela **Equação 2:**

Equação 1 – Percentual de elementos transparentes na envoltória do APP

$$P_{t,APP} = 100. \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}}$$

Onde, $P_{t,APP}$ é o percentual de elementos transparentes na envoltória do APP [%]; $A_{t,APP}$ é a área de superfície dos elementos transparentes do APP [m²]; $A_{p,APP}$ é a área de piso do APP [m²].

Equação 2 – Percentual de aberturas para ventilação do APP

$$P_{v,APP} = 100. \frac{A_{v,APP}}{A_{p,APP}}$$

Onde, $P_{v,APP}$ é o percentual de aberturas para ventilação do APP [%]; $A_{v,APP}$ é a área efetiva de abertura para ventilação do APP [m²]; $A_{p,APP}$ é a área de piso do APP [m²].

Os perfis das esquadrias são posicionados ao redor dos elementos transparentes, deve-se considerar apenas montantes e travessas adjacentes à abertura e uma única folha para a esquadria. As características para os perfis das esquadrias devem ser atendidas conforme as propriedades da **Tabela 15**.

Tabela 15 – Características dos perfis das esquadrias do modelo de referência

Elemento	α	ϵ	U_t [W/(m ² .K)]	e [mm]
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

α = absorvência à radiação solar; ϵ = emissividade; U_t = transmitância térmica; e e = espessura

Fonte: ABNT, 2021a, p. 30 (emenda 1)

3.3.3 Sistema de Cobertura

Primeiramente foi definido o tipo de vedação horizontal da cobertura, para tal considerou-se seis tipos: laje maciça de concreto, forro de gesso, forro de PVC, laje maciça de concreto com forro de gesso, laje maciça de concreto com forro de PVC, e sem forro entre a telha e o APP. Sendo a laje e a laje com forro de gesso, as vedações horizontais mais utilizadas em coberturas em Foz do Iguaçu-PR (MARTINS, 2022), e o PVC mais utilizado em habitações de interesse social (TEIXEIRA, 2022).

Em seguida foram definidas as telhas e as absorvências para as simulações. As telhas cerâmicas e termoacústicas são as mais utilizadas em Foz do Iguaçu-PR (MARTINS, 2022), e a telha de fibrocimento possui baixo custo (TEIXEIRA, 2022),

sendo as telhas escolhidas para as simulações neste trabalho. Para além do tipo de telhas, variou-se os valores de absorvância das telhas, considerando além dos valores correspondentes às cores padrão, outros três valores de absorvância correspondentes à aplicação de duas cores claras e uma cor escura em cada telha. As propriedades térmicas dos forros (**Tabela 16**), bem como da câmara de ar (**Tabela 17**) entre o forro e a telha, foram obtidas a partir da Biblioteca de Componentes Construtivos do LabEEE (LABEEE, 2017).

Tabela 16 – Propriedades térmicas dos forros do modelo real

Elemento	e [m]	λ [W/m.K]	C [J/(kg.K)]	R_T [(m ² .K)/W]	ρ [kg/m ³]
Laje de concreto	0,10	1,75	1000	0,0571	2200
Forro de gesso	0,03	0,350	870	0,0857	900
Forro de PVC	0,01	0,071	960	0,1408	273

e = espessura; λ = condutividade térmica; C = calor específico; R_T = resistência térmica; e ρ = densidade

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2017

Tabela 17 – Propriedades térmicas da câmara de ar do modelo real

Elemento	e [m]	λ [W/m.K]	R_T [(m ² .K)/W]
Câmara de ar	0,25	1,190	0,2100

e = espessura; λ = condutividade térmica; e R_T = resistência térmica

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2017

Segundo Dornelles (2021), é comum fazer a associação da absorvância com a cor da superfície, porém, essa associação é feita de maneira incorreta já que as cores são percepções visuais e não representam com precisão a quantidade de luz solar absorvida ou refletida pela superfície, ou seja, cores visualmente iguais podem ter valores de absorvância diferentes. Assim, foram definidos os valores de absorvância, e não cores específicas para a aplicação nos telhados.

Em edificações localizadas na zona bioclimática 3, recomenda-se que a absorvância solar do telhado esteja abaixo de 0,6, valor geralmente correspondente às cores claras e médias (TEIXEIRA, 2022). Dessa forma, foram selecionados dois valores de absorvância dentro do limite recomendado e um valor acima, sendo eles: 0,102; 0,367 e 0,715. Na tese sobre Absorvância Solar de Superfícies Opacas de Dornelles (2008), esses valores de absorvância estão associados às cores branco neve ($\alpha = 0,102$), palha ($\alpha =$

0,367) e concreto ($\alpha = 0,715$), respectivamente. Por convenção, neste trabalho, os valores de absorvância serão intitulados pelos nomes das cores.

Os dados das propriedades térmicas do sistema de cobertura estão detalhados nas Tabelas 18 e 19. Para facilidade de leitura foram utilizadas siglas para representar os elementos e cores, assim, C corresponde à telha cerâmica, F é a telha de fibrocimento, T é a telha termoacústica com isolante interno de isopor (poliestireno expandido). As cores foram identificadas como: P para a cor padrão de cada telha, 1 para a cor branco neve, 2 para a cor palha, e 3 para a cor concreto. Além disso, a **Figura 15** indica a direção da inclinação do telhado.

Tabela 18 – Propriedades térmicas das telhas do modelo real

Telha / Cor	α	i [%]	e [m]	λ [W/m.K]	C [J/(kg.K)]	R_T [(m ² .K)/W]	ρ [kg/m ³]
CP	0,52	32	0,01	1,05	920	0,0095	2000
C1	0,102						
C2	0,367						
C3	0,715						
FP	0,58	27	0,008	0,950	840	0,0084	1900
F1	0,102						
F2	0,367						
F3	0,715						
TP	0,25	30	0,042	0,042	1420	1,0000	154
T1	0,102						
T2	0,367						
T3	0,715						

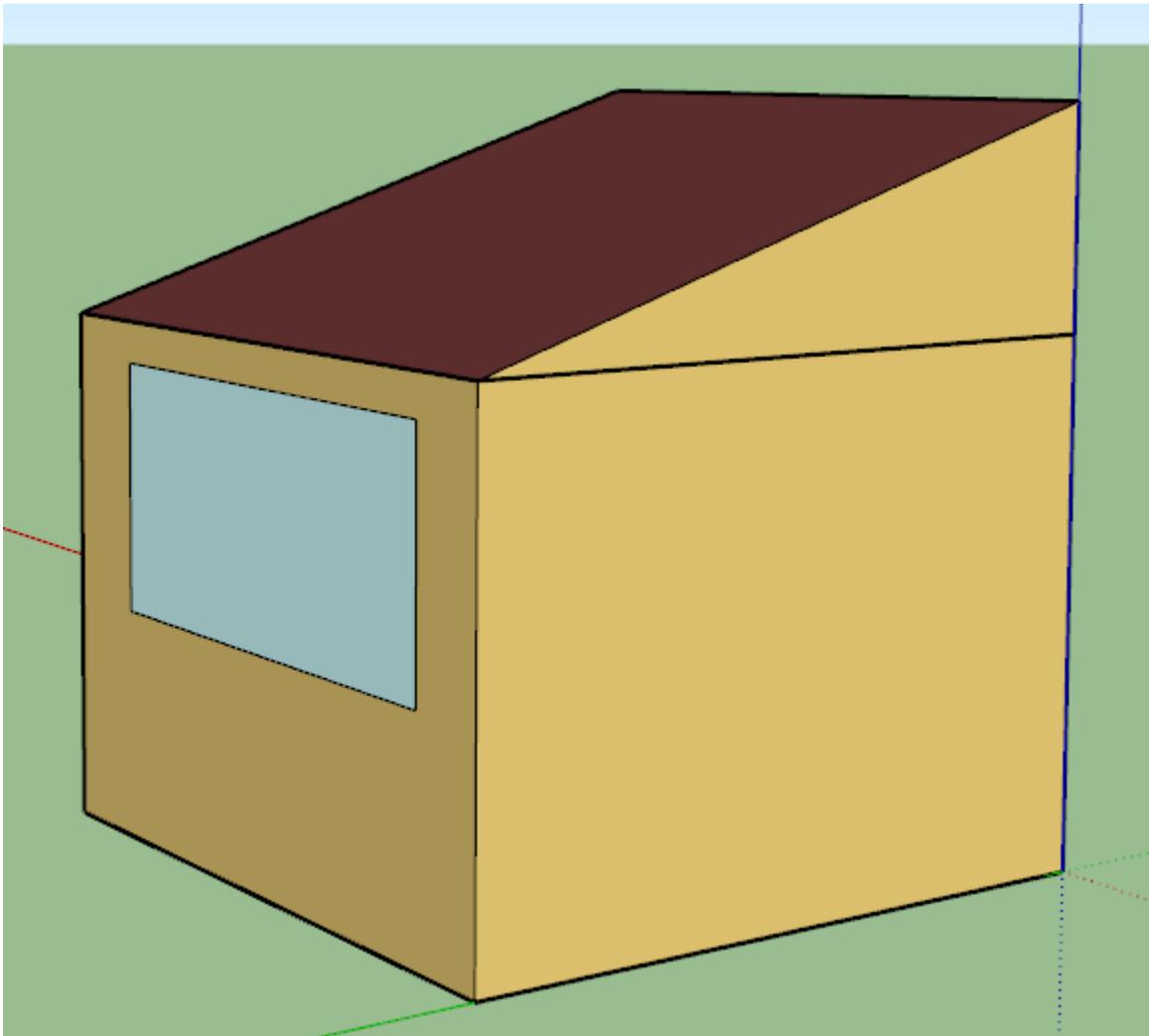
C = telha cerâmica; F = telha de fibrocimento; T = telha termoacústica; P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto; α = absorvância; i = inclinação do telhado; e = espessura; λ = condutividade térmica; C = calor específico; R_T = resistência térmica; e ρ = densidade

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2017, ABNT, 2008b e DORNELLES, 2008.

Tabela 19 – Absortância das cores do sistema de cobertura

Cor	Absortância – α [-]
P – Padrão – telha cerâmica laranja	0,52
P – Padrão – telha de fibrocimento cinza	0,58
P – Padrão – telha termoacústica chapa de aço galvanizado	0,25
1 – Branco neve	0,102
2 – Palha	0,367
3 – Concreto	0,715

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2017 e DORNELLES, 2008

Figura 15 – Direção da inclinação do telhado

Fonte: Elaborado pela autora

3.3.4 Casos

Após definir os tipos de telhas e forros a serem analisados, foram definidos os casos de simulação. Para calcular a quantidade de casos de simulação para o modelo real, foi necessário fazer a análise combinatória, considerando os elementos escolhidos para a cobertura e variações de orientação solar.

Neste trabalho, a célula foi analisada para quatro disposições de paredes expostas ao exterior. Quanto aos materiais, conforme definido anteriormente, foram avaliadas seis combinações de forros, três tipos de telhas e quatro cores para cada telha. Além dessas variações, o modelo é simulado com e sem ventilação natural, conforme indicado na NBR 15575-1 (ABNT,2021a). Fazendo a análise combinatória, chega-se ao número total de 576 modelos reais.

Além do modelo real, deve-se simular os modelos de referência. No modelo de referência, adota-se a mesma orientação solar e disposição do modelo real, ou seja, considera-se as quatro disposições de paredes expostas ao exterior, três inclinações de telhas (como cada telhado possui uma inclinação diferente é necessário respeitar a geometria das três telhas) e duas condições de ventilação. Quanto aos materiais, deve-se seguir o recomendado pela NBR 15575-1 para o modelo de referência (ABNT, 2021a). Assim, chega-se ao número de 24 modelos de referência.

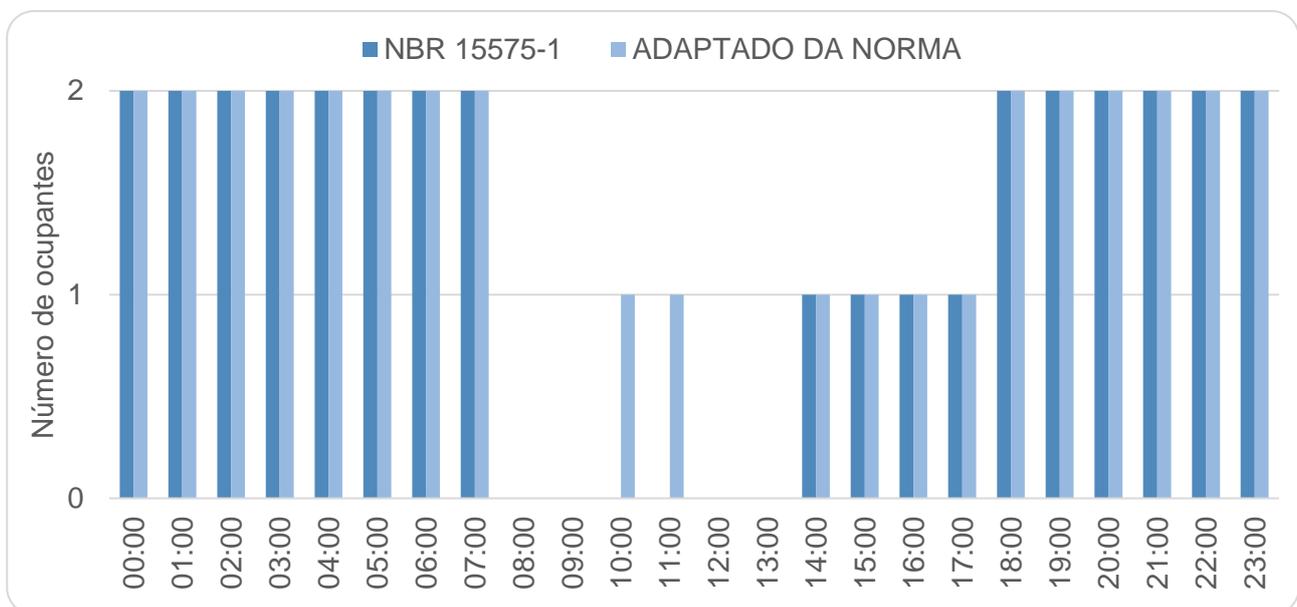
3.4 PERFIS DE USO E OCUPAÇÃO DA CÉLULA

O uso e ocupação da célula são delineados pela presença de usuários no ambiente, e pelo uso de equipamentos e de iluminação artificial. Conforme recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), os perfis de uso e ocupação devem ser os mesmos para as modelagens real e de referência. No caso deste trabalho, foi considerado para a avaliação um ambiente de uso misto, utilizado como dormitório e local de estudo.

Na condição de uso misto, dois ocupantes equivalem a 100% de ocupação. Os padrões de uso da célula, a taxa metabólica e a fração radiante para os ocupantes são os mesmos para todos os dias do ano. O calor produzido depende da atividade realizada pelo usuário, da quantidade de equipamentos em uso e do uso de iluminação artificial no APP.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) determina os períodos de descanso, períodos com o usuário sentado ou assistindo TV e a quantidade de ocupantes em cada período. No entanto, a flexibilização de atividades durante a Pandemia resultou na ampliação do período de permanência do usuário em casa, assim, além do padrão de ocupação determinado por norma, foi acrescentada a permanência de um ocupante no período das 10:00 às 11:59 para estudo, uma vez que a ideia era analisar também o uso do quarto como home office, tendo em vista o contexto pandêmico, conforme a **Figura 16**.

Figura 16 – Número de ocupantes por horário no ambiente de uso misto



Fonte: Elaborado pela autora

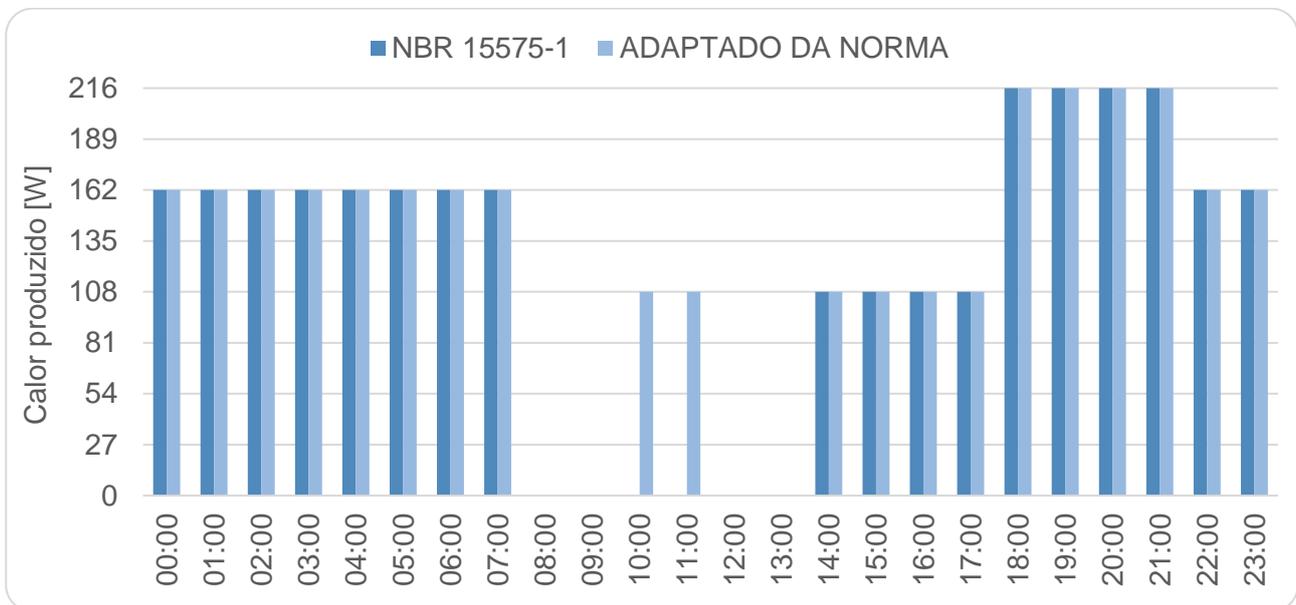
Os valores da taxa metabólica são definidos conforme a atividade realizada pelo usuário, para períodos de descanso, o calor produzido por uma pessoa com 1,80 m² de área de superfície corporal é de 81W, enquanto que durante os períodos em que o usuário está sentado ou assistindo TV o calor produzido por usuário é de 108W. Esses valores, bem como a fração radiante para os usuários estão detalhados na **Tabela 20** e na **Figura 17**.

Tabela 20 – Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por usuário – [W]	FR
00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	81	0,30
10:00 – 11:59 e 14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	108	0,30

FR = fração radiante

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a, p. 32 (emenda 1)

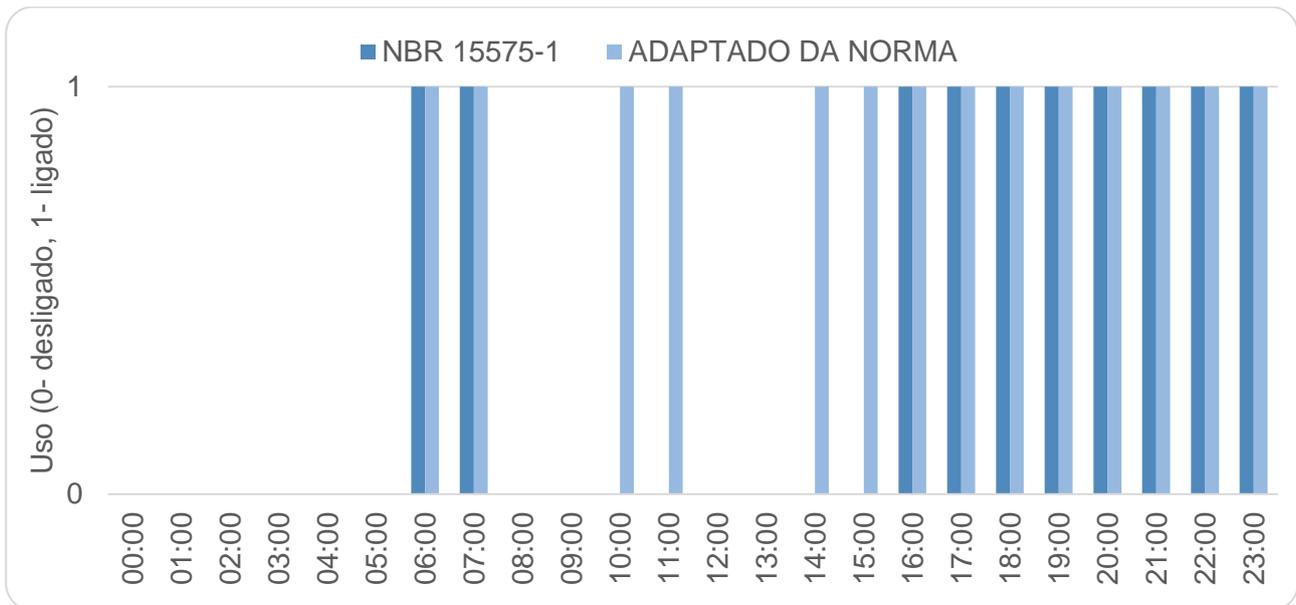
Figura 17 – Calor produzido pelos ocupantes

Fonte: Elaborado pela autora

O uso do sistema de iluminação artificial também foi considerado o mesmo, para todos os dias do ano. O padrão de uso de iluminação definido pela NBR 15575-1 (2021a) foi alterado para aplicação neste trabalho. A norma considera o uso de iluminação artificial das 06:00 às 07:59 e das 16:00 às 23:59. Entretanto, como optou-se por considerar condições críticas, de forma a simular os ambientes mais desfavoráveis quanto a conforto térmico e consumo energético, o uso de iluminação artificial foi considerado ativo durante toda a permanência do usuário no ambiente, exceto no período de descanso, representando um ambiente com a cortina fechada ou parcialmente fechada durante parte do dia. O padrão de uso do sistema de iluminação artificial está detalhado na **Figura 18**.

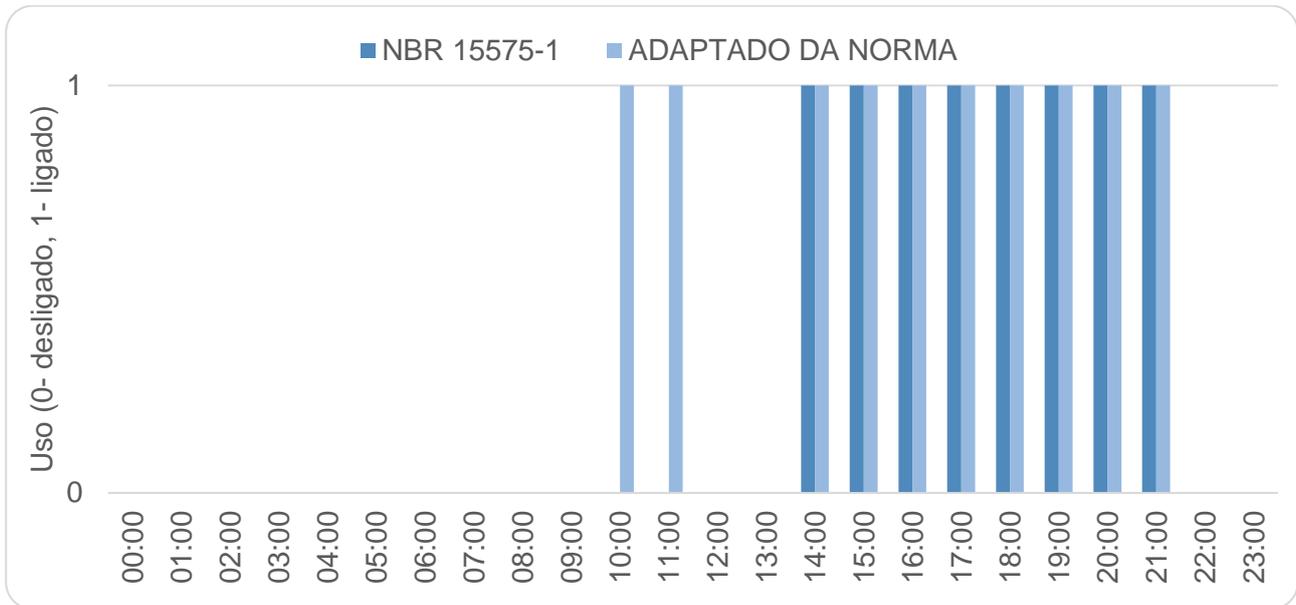
Deve-se esclarecer que existem duas configurações de uso para iluminação artificial e equipamentos: ligado ou desligado. Nos gráficos de padrão de uso de iluminação artificial e padrão de uso de equipamentos o valor '0' corresponde à configuração desligada, e o valor '1' à configuração ligada.

Figura 18 – Padrão de uso de iluminação artificial



Fonte: Elaborado pela autora

O padrão de uso dos equipamentos no APP é o mesmo para todos os dias do ano. A NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) define o período de uso entre 14:00 e 21:59, nesse caso, o período de uso foi adaptado, adicionando o uso de equipamentos no horário das 10:00 às 11:59, conforme **Figura 19**. A densidade de potência instalada (DPI), as frações visível e radiante do sistema de iluminação, e potência e fração radiante dos equipamentos estão de acordo com a **Tabela 21 e Tabela 22**.

Figura 19 – Padrão de uso de equipamentos

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 21 – Densidade de potência instalada, fração radiante e visível da iluminação artificial

Ambiente	DPI – [W/m ²]	Fração radiante	Fração visível
Uso misto	5,00	0,32	0,23

DPI = densidade de potência instalada

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a, p. 33 (emenda 1)

Tabela 22 – Potência e fração radiante dos equipamentos

Ambiente	Potência – [W]	Fração radiante
Uso misto	120	0,30

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a, p. 33 (emenda 1)

3.5 VENTILAÇÃO NATURAL E CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL

Os modelos foram simulados considerando o uso de ventilação natural para determinar os percentuais de horas dentro da faixa de temperatura ($PHFT_{APP}$) e as temperaturas operativas máximas ($Tomáx_{APP}$) e mínimas ($Tomín_{APP}$), para todos os níveis de desempenho; e com condicionamento artificial para determinar as cargas térmicas de resfriamento ($CgTR_{APP}$) e de aquecimento ($CgTA_{APP}$) para os níveis intermediário e superior

de desempenho. Os dados de saída da simulação foram registrados de hora em hora, considerando o ano meteorológico (8760 h).

3.5.1 Ventilação Natural

Para a ventilação natural, considera-se que a janela fica aberta apenas quando a célula está ocupada, com temperatura de bulbo seco interna do APP igual ou superior a 19 °C e temperatura de bulbo seco interna superior à externa. Considera-se, também, a infiltração por frestas quando a janela do APP está fechada.

Além disso, no *EnergyPlus* não é possível inserir aberturas em paredes adiabáticas, assim, a porta foi inserida em uma parede com trocas térmicas com o exterior, sendo configurada como porta externa sempre fechada e com infiltração por frestas. Os parâmetros da ventilação natural nos APPs estão especificados na **Tabela 23**. Na simulação com ventilação natural, foram registrados os dados de saída para $PHFT_{APP}$, $Tomáx_{APP}$ e $Tomín_{APP}$ do APP.

Tabela 23 – Parâmetros da ventilação natural

Parâmetros	Portas	Janelas
Coeficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada – [kg/(s.m)]	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada – [adimensional]	0,59	0,63
Coeficiente de descarga (C_d) da abertura – [adimensional]	0,60	0,60

Fonte: ABNT, 2021a, p. 34 (emenda 1)

3.5.2 Condicionamento Artificial

Para o condicionamento artificial, as portas e janelas são consideradas sempre fechadas. Nessa configuração de simulação, também é considerada a infiltração por frestas, conforme os parâmetros apresentados na **Tabela 23**, retirada da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

O cálculo da carga térmica de refrigeração é feito sem considerar perdas de energia para a retirada de calor do APP analisado, considerando o funcionamento do

equipamento de refrigeração apenas quando o APP está ocupado com ponto de ajuste da temperatura em 23°C. As mesmas orientações foram seguidas no caso do cálculo da carga térmica de aquecimento, com a diferença de que o ponto de ajuste da temperatura é de 21°C. Na simulação com condicionamento artificial, foram registrados os dados de saída para $CgTR_{APP}$ e $CgTA_{APP}$ do APP.

3.6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após simular todos os modelos reais e de referência os dados de saída devem ser processados, para que se faça a correta interpretação dos resultados das simulações. A análise de dados abrange o cálculo do PHFT, a determinação das temperaturas operativas máxima e mínima e os cálculos de cargas térmicas. Esses cálculos são necessários para fazer a análise de desempenho da edificação.

Além disso, para definir a relação entre as propriedades térmicas dos sistemas de coberturas simulados e os resultados obtidos, e para indicar quais propriedades influenciam mais nos resultados de desempenho térmico, foi necessário calcular a resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica de cada sistema conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2022).

3.6.1 Temperatura de Bulbo Seco Média – TBSm

As análises de PHFT, Tomáx, Tomín, $CgTA$ e $CgTR$ dependem da média anual da temperatura externa de bulbo seco da cidade onde os modelos simulados estão inseridos. Para encontrar a TBSm (temperatura de bulbo seco média) calcula-se a média aritmética anual dos valores de TBS (temperatura de bulbo seco) do arquivo climático de simulação. A TBSm para Foz do Iguaçu é de 21,6°C, ou seja, a faixa de temperatura operativa a ser considerada está no Intervalo 1, conforme **Tabela 24**.

Tabela 24 – Intervalos de TBSm

Intervalos de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco – TBSm [°C]
Intervalo 1	TBSm < 25,0 °C
Intervalo 2	25,0 °C ≤ TBSm < 27,0 °C
Intervalo 3	TBSm ≥ 27,0 °C

TBSm = temperatura de bulbo seco média

Fonte: ABNT, 2021a, p. 21 (emenda 1)

3.6.2 Percentual de Horas Dentro da Faixa de Temperatura – PHFT

Deve-se calcular então o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT). A faixa de temperatura operativa a ser considerada é definida com base no intervalo da TBSm, neste caso, intervalo 1 (**Tabela 25**). No cálculo do PHFT são consideradas as horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa, e o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano, conforme **Equação 3**.

Tabela 25 – Faixas de temperaturas operativas

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada [°C]
Intervalo 1	18,0 °C < T _{APP} < 26,0 °C
Intervalo 2	T _{APP} < 28,0 °C
Intervalo 3	T _{APP} < 30,0 °C

T_{APP} = temperatura operativa do APP

Fonte: ABNT, 2021a, p. 22 (emenda 1)

Equação 3 – Percentual de horas dentro da faixa de temperatura

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{OCUP}} * 100$$

Onde, $PHFT_{APP}$ é o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa [%]; Nh_{FT} é o número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa [h]; Nh_{OCUP} é o número de horas em que o APP é ocupado ao longo do ano [h].

3.6.3 Temperaturas Operativas Máxima e Mínima – Tomáx e Tomín

Além do PHFT, encontra-se a temperatura operativa anual mínima ($Tomín_{APP}$) e a temperatura operativa anual máxima ($Tomáx_{APP}$) para o APP. O maior valor de temperatura operativa do APP (To_{APP}) encontrado no ano, durante o horário de ocupação, é definido como $Tomáx_{APP}$. E o menor valor de To_{APP} encontrado no ano, durante o horário de ocupação, é definido como $Tomín_{APP}$.

3.6.4 Cargas Térmicas de Refrigeração e de Aquecimento – CgTR e CgTA

Para calcular as cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento, deve-se analisar os dados de saída de cargas térmicas dos modelos simulados. As cargas térmicas dos dados de saída devem ser consideradas no cálculo apenas quando o APP estiver ocupado e a temperatura operativa do modelo simulado com o uso da ventilação natural não estiver dentro da faixa de temperatura operativa recomendada (intervalo 1).

Se a temperatura operativa estiver abaixo do limite mínimo da faixa de temperatura operativa, considera-se a carga térmica para o cálculo da carga térmica de aquecimento (CgTA), e se a temperatura operativa estiver acima do limite superior da faixa de temperatura operativa, considera-se a carga térmica para o cálculo da carga térmica de resfriamento (CgTR). Os valores de CgTR e CgTA são obtidos pela somatória anual dos valores de carga térmica de saída que atendem às condições descritas acima.

3.7 CRITÉRIOS PARA ATENDIMENTO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO TÉRMICO

Os critérios para atendimento dos níveis de desempenho térmico estão relacionados aos valores de PHFT, Tomáx, Tomín, CgTA e CgTR obtidos na etapa de análise de resultados. É de caráter obrigatório que os modelos atendam ao nível mínimo de desempenho. Os critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico estão detalhados na **Tabela 26**.

Tabela 26 – Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico

Nível de desempenho	Critérios
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9PHFT_{UH,ref}$ $Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx,$ $Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín},$ $Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx,$ $Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$ $RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín},$ $Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx,$ $Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$ $RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$

Adota-se $\Delta Tomáx$ igual a 2°C e $\Delta Tomín$ igual a 1°C.

UH = unidade habitacional; PHFT = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa; Tomáx = temperatura operativa máxima; Tomín = temperatura operativa mínima; $\Delta Tomáx$ = variação de temperatura máxima; $\Delta Tomín$ = variação de temperatura mínima; $\Delta PHFT$ = incremento de PHFT; RedCgTT = redução de carga térmica total; RedCgTT_{mín} = redução de carga térmica total mínima

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Nos níveis intermediário e superior, deve-se calcular o incremento de PHFT ($\Delta PHFT$) e a redução de carga térmica total (RedCgTT). O incremento de PHFT do modelo real em relação ao PHFT do modelo de referência é calculado pela **Equação 4**. A redução da carga térmica total do modelo real em relação à CgTT do modelo de referência é dada pela **Equação 5**.

Equação 4 – Incremento de PHFT

$$\Delta PHFT = PHFT_{real} - PHFT_{ref}$$

Onde, $\Delta PHFT$ é o incremento do PHFT do modelo real em relação ao PHFT do modelo de referência [%]; $PHFT_{real}$ é o PHFT do modelo real [%]; $PHFT_{ref}$ é o PHFT do modelo de referência [%].

Equação 5 – Redução de CgTT

$$RedCgTT = \left[1 - \frac{CgTT_{real}}{CgTT_{ref}} \right] * 100$$

Onde, RedCgTT é a redução de CgTT no modelo real em relação ao modelo de referência [%]; $CgTT_{real}$ é a carga térmica total do modelo real [kWh/ano]; $CgTT_{ref}$ é a carga térmica total do modelo de referência [kWh/ano].

Os valores de incremento de PHFT mínimo ($\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$) e de redução de carga térmica total mínima ($\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$) para os níveis intermediário e superior são determinados conforme a **Tabela 27** e a **Tabela 28**. O $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ e a $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ dependem dos valores de PHFT [%] e de CgTT [kWh/ano] do modelo de referência, e da área de piso do APP em m^2 (A_p).

Tabela 27 – Incremento mínimo do PHFT

Critério		Nível intermediário	Nível superior
PHFT_{ref} [%]	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p$ [kWh/(ano.m ²)]	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ [%]	
$\text{PHFT}_{\text{ref}} < 70\%$	Todos os valores	45 – 0,58. PHFT_{ref}	45 – 0,58. PHFT_{ref}
$\text{PHFT}_{\text{ref}} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0

PHFT_{ref} = percentual de horas dentro da faixa de temperatura do modelo de referência; CgTT_{ref} = carga térmica total do modelo de referência; A_p = área de piso do APP; $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ = incremento mínimo do PHFT

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Tabela 28 – Redução mínima da CgTT

Critério		Nível intermediário	Nível superior
PHFT_{ref} [%]	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p$ [kWh/(ano.m ²)]	$\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ [%]	
$\text{PHFT}_{\text{ref}} < 70\%$	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p < 100$	0	35
	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p \geq 100$	0	55
$\text{PHFT}_{\text{ref}} \geq 70\%$	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p < 100$	17	35
	$\text{CgTT}_{\text{ref}}/A_p \geq 100$	27	55

PHFT_{ref} = percentual de horas dentro da faixa de temperatura do modelo de referência; CgTT_{ref} = carga térmica total do modelo de referência; A_p = área de piso do APP; $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ = redução de carga térmica total mínima

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

3.8 CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE COBERTURA

Para definir a relação entre as propriedades térmicas dos sistemas de coberturas e os resultados, foi necessário calcular a resistência térmica, a transmitância térmica e a capacidade térmica de cada sistema, conforme o procedimento de cálculo do

método simplificado da NBR 15220-2 (ABNT, 2022). O método simplificado compreende obter a resistência térmica de cada elemento e combinar essas resistências individuais para obter a resistência térmica total do sistema.

Primeiramente, calcula-se a resistência térmica de cada camada do elemento por meio da **Equação 6**. Em seguida, calcula-se a resistência térmica total de componentes com camadas homogêneas pela **Equação 7**. Os valores para as resistências térmicas superficiais são 0,17 [(m².K)/W] e 0,04 [(m².K)/W], para R_{si} e R_{se}, respectivamente (ABNT, 2022). A resistência térmica do ar para fluxo de ar descendente e superfície com alta emissividade (ε>0,8) é de 0,21 [(m².K)/W].

Equação 6 – Resistência térmica da camada

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Onde, R é a resistência térmica [(m².K)/W], d é a espessura da camada [m], e λ é a condutividade térmica [W/(m.K)].

Equação 7 – Resistência térmica total de um componente com camadas homogêneas

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Onde, R_{tot} é a resistência térmica total [(m².K)/W], R_{si} é a resistência térmica superficial interna [(m².K)/W], R_1, R_2, \dots, R_n são as resistências térmicas de cada camada [(m².K)/W], e R_{se} é a resistência térmica superficial externa [(m².K)/W].

Em seguida, calcula-se a transmitância térmica pela **Equação 8**, e a resistência térmica do componente completo (**Equação 9**), que no caso deste trabalho é o sistema de cobertura composto por telha, câmara de ar e forro. A capacidade térmica é calculada conforme o Anexo Nacional A (ABNT, 2022) pela **Equação 10**.

Equação 8 – Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Onde, U é a transmitância térmica [W/(m².K)], R_{tot} é a resistência térmica total [(m².K)/W].

Equação 9 – Resistência térmica do componente completo

$$R_{c,op} = \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}$$

Onde, $R_{c,op}$ é a resistência térmica do componente [(m².K)/W], R_{si} é a resistência térmica superficial interna [(m².K)/W], R_{se} é a resistência térmica superficial externa [(m².K)/W] e U é a transmitância térmica [W/(m².K)].

Equação 10 – Capacidade térmica

$$C = \sum_{j=1}^n e_j \times c_j \times \rho_j$$

Onde, C é a capacidade térmica [kJ/(m².K)], e_j é a espessura da camada j [m], c_j é o calor específico do material da camada j [kJ/(kg.K)] e ρ_j é a densidade de massa aparente do material da camada j [kg/m³].

4 RESULTADOS

A análise dos valores de PHFT, Tomín, Tomáx, CgTA e CgTT obtidos nas simulações foi realizada com base nas recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), foram comparados os valores obtidos para os modelos real e de referência, e ainda, como resultado dessa análise foram obtidas as classificações de cada modelo simulado, quanto ao nível de desempenho térmico.

Para verificar a influência das propriedades térmicas do sistema de cobertura no desempenho térmico e energético dos modelos, foi necessário realizar comparações entre os modelos reais, variando apenas uma das características do sistema de cobertura (telha, forro ou cor). Além da comparação entre as propriedades térmicas, foi analisada a influência da orientação solar dos modelos nos resultados.

Primeiramente, foram apresentadas as propriedades térmicas de cada sistema de cobertura simulado e os resultados referentes ao nível de desempenho térmico dos modelos. Em seguida, foi feita uma análise de como os parâmetros térmicos e orientação solar influenciaram no desempenho dos modelos.

4.1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS SISTEMAS DE COBERTURAS

As propriedades térmicas (Resistência Térmica – RT, Transmitância Térmica – U, e Capacidade Térmica – CT) foram calculadas para as diferentes composições de coberturas, os valores estão detalhados na **Tabela 29**. É interessante observar que diferentes composições podem ter transmitâncias térmicas muito próximas, mas capacidades térmicas diferentes.

Nota-se que os maiores valores de transmitância térmica estão relacionados aos modelos sem forros, os maiores valores de capacidade térmica aos modelos com laje e suas composições, e as maiores resistências térmicas e consequentemente, as menores transmitâncias térmicas estão associadas aos modelos com telha termoacústica.

Além das propriedades térmicas acima, as coberturas foram simuladas com os valores de absorvância padrão de cada telha, e com outros três valores de absorvância para cada sistema de cobertura (**Tabela 29**).

Tabela 29 – Propriedades térmicas dos sistemas de coberturas

Telha	Forro	RT (m²K/W)	U (W/m²k)	CT (KJ/m²K)
Cerâmica	Gesso	0,86	1,17	41,89
	PVC	0,91	1,10	21,02
	Laje	0,83	1,21	238,40
	Laje + Gesso	0,91	1,10	261,89
	Laje + PVC	0,97	1,03	241,02
	Sem forro	0,22	4,56	18,40
Fibrocimento	Gesso	0,85	1,17	36,26
	PVC	0,91	1,10	15,39
	Laje	0,83	1,21	232,77
	Laje + Gesso	0,91	1,10	256,26
	Laje + PVC	0,97	1,03	235,39
	Sem forro	0,22	4,58	12,77
Termoacústica	Gesso	1,85	0,54	32,67
	PVC	1,90	0,53	11,81
	Laje	1,82	0,55	229,18
	Laje + Gesso	1,90	0,53	252,67
	Laje + PVC	1,96	0,51	231,81
	Sem forro	1,21	0,83	9,18
Cor		Absortância – α [-]		
Padrão – telha cerâmica		0,52		
Padrão – telha de fibrocimento		0,58		
Padrão – telha termoacústica		0,25		
Branco neve		0,102		
Palha		0,367		
Concreto		0,715		

Fonte: Elaborado pela autora com base em LABEEE, 2017; ABNT, 2022 e DORNELLES, 2008

4.2 NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) indica, os modelos foram simulados considerando ventilação natural e condicionamento artificial e avaliados quanto ao nível de desempenho térmico. As simulações com ventilação natural forneceram como dados de saída as temperaturas operativas do APP para cada hora do ano típico, a partir desses dados encontra-se a temperatura operativa mínima ($T_{op\min APP}$), a temperatura operativa máxima ($T_{op\max APP}$) e o percentual de horas em que o APP permanece dentro da faixa de temperatura (PHFT), de 18°C a 26°C. Essas informações foram utilizadas para definir se os modelos atendem ou não ao nível mínimo de desempenho.

Além da ventilação natural, os modelos foram simulados considerando condicionamento artificial, nesse caso os dados de saída são referentes às cargas térmicas de aquecimento (C_{gTA}) e de resfriamento (C_{gTR}), que somadas resultam na carga térmica total (C_{gTT}), utilizada para definir se o modelo atende ou não aos níveis de desempenho intermediário e superior. Esses procedimentos foram realizados para os modelos reais e de referência, posteriormente foram comparados esses resultados.

Para melhorar a leitura das tabelas de resultados e a apresentação de dados, foram utilizados códigos para definir os modelos e os critérios para atendimento dos níveis de desempenho. Os códigos de identificação dos modelos são compostos por cinco partes: W–X–Y0–Z. O detalhamento dos códigos está na **Tabela 30**.

Os níveis de desempenho térmico atingidos pelos modelos encontram-se nas Tabelas 31 e 32. Os critérios que não foram atendidos são apresentados nas Tabelas 33 e 34. Para atendimento da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) é suficiente que os modelos cumpram os critérios do nível mínimo de desempenho térmico.

Tabela 30 – Códigos de identificação

W		X		Y		O		Z	
Orientação da Janela		Forma de Exposição das Paredes		Tipo de Telha		Cor		Forro	
O	Oeste	OP	Opostas	C	Cerâmica	P	Padrão	G	Gesso
N	Norte	AD	Adjacentes	F	Fibrocimento	1	Branco neve	P	PVC
				T	Termoacústica	2	Palha	L	Laje
						3	Concreto	LG	Laje com gesso
								LP	Laje com PVC
								S	Sem forro
Nível de desempenho						Código			
Mínimo						M			
Intermediário						I			
Superior						S			
Nível de desempenho				Critérios				Código	
Mínimo				$PHFT_{UH,real} > 0,9PHFT_{UH,ref}$				M1	
				$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$				T1	
				$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$				T2	
Intermediário				$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$				P1	
				$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$				T1	
				$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$				T2	
				$RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$				I1	
Superior				$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$				P1	
				$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$				T1	
				$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín$				T2	
				$RedCgTT \geq RedCgTT_{mín}$				S1	

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 31 – Níveis de desempenho térmico dos modelos orientados ao oeste

Orientação	Modelo	ND*	Modelo	ND*	Modelo	ND*	Modelo	ND*
O-OP	CP-G	-	C1-G	-	C2-G	-	C3-G	M
	CP-P	-	C1-P	-	C2-P	-	C3-P	M
	CP-L	M	C1-L	M	C2-L	M	C3-L	M
	CP-LG	M	C1-LG	M	C2-LG	M	C3-LG	M
	CP-LP	M	C1-LP	M	C2-LP	M	C3-LP	M
	CP-S	-	C1-S	-	C2-S	-	C3-S	-
	FP-G	-	F1-G	-	F2-G	-	F3-G	-
	FP-P	-	F1-P	-	F2-P	-	F3-P	M
	FP-L	M	F1-L	M	F2-L	M	F3-L	M
	FP-LG	M	F1-LG	M	F2-LG	M	F3-LG	M
	FP-LP	M	F1-LP	M	F2-LP	M	F3-LP	M
	FP-S	-	F1-S	-	F2-S	-	F3-S	-
	TP-G	M	T1-G	M	T2-G	M	T3-G	M
	TP-P	M	T1-P	M	T2-P	M	T3-P	M
	TP-L	M	T1-L	M	T2-L	M	T3-L	M
	TP-LG	M	T1-LG	M	T2-LG	M	T3-LG	M
	TP-LP	M	T1-LP	M	T2-LP	M	T3-LP	M
	TP-S	M	T1-S	M	T2-S	M	T3-S	M
O-AD	CP-G	-	C1-G	-	C2-G	-	C3-G	-
	CP-P	-	C1-P	-	C2-P	-	C3-P	-
	CP-L	M	C1-L	M	C2-L	M	C3-L	M
	CP-LG	M	C1-LG	M	C2-LG	M	C3-LG	M
	CP-LP	M	C1-LP	M	C2-LP	M	C3-LP	M
	CP-S	-	C1-S	-	C2-S	-	C3-S	-
	FP-G	-	F1-G	-	F2-G	-	F3-G	-
	FP-P	-	F1-P	-	F2-P	-	F3-P	-
	FP-L	M	F1-L	M	F2-L	M	F3-L	M
	FP-LG	M	F1-LG	M	F2-LG	M	F3-LG	M
	FP-LP	M	F1-LP	M	F2-LP	M	F3-LP	M
	FP-S	-	F1-S	-	F2-S	-	F3-S	-
	TP-G	M	T1-G	M	T2-G	M	T3-G	M
	TP-P	M	T1-P	M	T2-P	M	T3-P	M
	TP-L	M	T1-L	M	T2-L	M	T3-L	M
	TP-LG	M	T1-LG	M	T2-LG	M	T3-LG	M
	TP-LP	M	T1-LP	M	T2-LP	M	T3-LP	M
	TP-S	M	T1-S	M	T2-S	M	T3-S	M

ND* é o nível de desempenho térmico do modelo, sendo: M = mínimo; I = intermediário; S = superior
O = oeste; N = norte;
OP = opostas; AD = adjacentes;
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto;
G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 32 – Níveis de desempenho térmico dos modelos orientados ao norte

Orientação	Modelo	ND*	Modelo	ND*	Modelo	ND*	Modelo	ND*
N-OP	CP-G	M	C1-G	-	C2-G	-	C3-G	-
	CP-P	M	C1-P	-	C2-P	-	C3-P	M
	CP-L	M	C1-L	I	C2-L	M	C3-L	M
	CP-LG	M	C1-LG	I	C2-LG	M	C3-LG	M
	CP-LP	M	C1-LP	M	C2-LP	M	C3-LP	M
	CP-S	-	C1-S	-	C2-S	-	C3-S	-
	FP-G	M	F1-G	-	F2-G	-	F3-G	-
	FP-P	M	F1-P	-	F2-P	-	F3-P	M
	FP-L	M	F1-L	I	F2-L	M	F3-L	M
	FP-LG	M	F1-LG	I	F2-LG	M	F3-LG	M
	FP-LP	M	F1-LP	M	F2-LP	M	F3-LP	M
	FP-S	-	F1-S	-	F2-S	-	F3-S	-
	TP-G	M	T1-G	M	T2-G	M	T3-G	M
	TP-P	M	T1-P	M	T2-P	M	T3-P	M
	TP-L	M	T1-L	M	T2-L	M	T3-L	M
	TP-LG	M	T1-LG	M	T2-LG	M	T3-LG	M
	TP-LP	M	T1-LP	M	T2-LP	M	T3-LP	M
	TP-S	M	T1-S	M	T2-S	M	T3-S	M
N-AD	CP-G	-	C1-G	-	C2-G	-	C3-G	-
	CP-P	-	C1-P	-	C2-P	-	C3-P	-
	CP-L	M	C1-L	S	C2-L	M	C3-L	M
	CP-LG	M	C1-LG	I	C2-LG	M	C3-LG	M
	CP-LP	M	C1-LP	M	C2-LP	M	C3-LP	M
	CP-S	-	C1-S	-	C2-S	-	C3-S	-
	FP-G	-	F1-G	-	F2-G	-	F3-G	-
	FP-P	-	F1-P	-	F2-P	-	F3-P	-
	FP-L	M	F1-L	S	F2-L	M	F3-L	M
	FP-LG	M	F1-LG	S	F2-LG	M	F3-LG	M
	FP-LP	M	F1-LP	M	F2-LP	M	F3-LP	M
	FP-S	-	F1-S	-	F2-S	-	F3-S	-
	TP-G	M	T1-G	M	T2-G	M	T3-G	M
	TP-P	M	T1-P	M	T2-P	M	T3-P	M
	TP-L	M	T1-L	M	T2-L	M	T3-L	M
	TP-LG	M	T1-LG	M	T2-LG	M	T3-LG	M
	TP-LP	M	T1-LP	M	T2-LP	M	T3-LP	M
	TP-S	M	T1-S	M	T2-S	M	T3-S	M

ND* é o nível de desempenho térmico do modelo, sendo: M = mínimo; I = intermediário; S = superior
 O = oeste; N = norte;
 OP = opostas; AD = adjacentes;
 C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto;
 G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 33 – Critérios de desempenho térmico não atendidos pelos modelos orientados ao oeste

Orientação	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**
O-OP	CP-G	T2	C1-G	T2	C2-G	T2	C3-G	P1
	CP-P	T2	C1-P	T2	C2-P	T2	C3-P	P1
	CP-L	P1	C1-L	P1	C2-L	P1	C3-L	P1
	CP-LG	P1	C1-LG	P1	C2-LG	P1	C3-LG	P1
	CP-LP	P1	C1-LP	P1	C2-LP	P1	C3-LP	P1
	CP-S	T1 e T2	C1-S	T2	C2-S	T2	C3-S	T1 e T2
	FP-G	T2	F1-G	T2	F2-G	T2	F3-G	T2
	FP-P	T2	F1-P	T2	F2-P	T2	F3-P	P1
	FP-L	P1	F1-L	P1	F2-L	P1	F3-L	P1
	FP-LG	P1	F1-LG	P1	F2-LG	P1	F3-LG	P1
	FP-LP	P1	F1-LP	P1	F2-LP	P1	F3-LP	P1
	FP-S	T1 e T2	F1-S	T2	F2-S	T2	F3-S	T1 e T2
	TP-G	P1	T1-G	P1	T2-G	P1	T3-G	P1
	TP-P	P1	T1-P	P1	T2-P	P1	T3-P	P1
	TP-L	P1	T1-L	P1	T2-L	P1	T3-L	P1
	TP-LG	P1	T1-LG	P1	T2-LG	P1	T3-LG	P1
	TP-LP	P1	T1-LP	P1	T2-LP	P1	T3-LP	P1
	TP-S	P1	T1-S	P1	T2-S	P1	T3-S	P1
O-AD	CP-G	T2	C1-G	T2	C2-G	T2	C3-G	T2
	CP-P	T2	C1-P	T2	C2-P	T2	C3-P	T2
	CP-L	P1	C1-L	P1	C2-L	P1	C3-L	P1
	CP-LG	P1	C1-LG	P1	C2-LG	P1	C3-LG	P1
	CP-LP	P1	C1-LP	P1	C2-LP	P1	C3-LP	P1
	CP-S	T1 e T2	C1-S	T2	C2-S	T2	C3-S	T1 e T2
	FP-G	T2	F1-G	T2	F2-G	T2	F3-G	T2
	FP-P	T2	F1-P	T2	F2-P	T2	F3-P	T2
	FP-L	P1	F1-L	P1	F2-L	P1	F3-L	P1
	FP-LG	P1	F1-LG	P1	F2-LG	P1	F3-LG	P1
	FP-LP	P1	F1-LP	P1	F2-LP	P1	F3-LP	P1
	FP-S	T1 e T2	F1-S	T2	F2-S	T2	F3-S	T1 e T2
	TP-G	P1	T1-G	P1	T2-G	P1	T3-G	P1
	TP-P	P1	T1-P	P1	T2-P	P1	T3-P	P1
	TP-L	P1	T1-L	P1	T2-L	P1	T3-L	P1
	TP-LG	P1	T1-LG	P1	T2-LG	P1	T3-LG	P1
	TP-LP	P1	T1-LP	P1	T2-LP	P1	T3-LP	P1
	TP-S	P1	T1-S	P1	T2-S	P1	T3-S	P1

CNA* são os critérios de desempenho não atendidos pelo modelo, sendo: M1 = critério do PHFT; T1 = critério da Tomáz; T2 = critério da Tomín; P1 = critério do Δ PHFT; I1 = critério da RedCgTT do nível intermediário; S1 = critério da RedCgTT do nível superior

O = oeste; N = norte;

OP = opostas; AD = adjacentes;

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto;

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 34 – Critérios de desempenho térmico não atendidos pelos modelos orientados ao norte

Orientação	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**	Modelo	CNA**
N-OP	CP-G	P1	C1-G	T2	C2-G	T2	C3-G	T1
	CP-P	P1	C1-P	T2	C2-P	T2	C3-P	P1
	CP-L	P1	C1-L	S1	C2-L	P1	C3-L	P1
	CP-LG	P1	C1-LG	S1	C2-LG	P1	C3-LG	P1
	CP-LP	P1	C1-LP	P1	C2-LP	P1	C3-LP	P1
	CP-S	T1 e T2	C1-S	T2	C2-S	T1 e T2	C3-S	T1 e T2
	FP-G	P1	F1-G	T2	F2-G	T2	F3-G	T1
	FP-P	P1	F1-P	T2	F2-P	T2	F3-P	P1
	FP-L	P1	F1-L	S1	F2-L	P1	F3-L	P1
	FP-LG	P1	F1-LG	S1	F2-LG	P1	F3-LG	P1
	FP-LP	P1	F1-LP	P1	F2-LP	P1	F3-LP	P1
	FP-S	T1 e T2	F1-S	T2	F2-S	T1 e T2	F3-S	T1 e T2
	TP-G	P1	T1-G	P1	T2-G	P1	T3-G	P1
	TP-P	P1	T1-P	P1	T2-P	P1	T3-P	P1
	TP-L	P1	T1-L	P1	T2-L	P1	T3-L	P1
	TP-LG	P1	T1-LG	P1	T2-LG	P1	T3-LG	P1
	TP-LP	P1	T1-LP	P1	T2-LP	P1	T3-LP	P1
TP-S	P1	T1-S	P1	T2-S	P1	T3-S	P1	
N-AD	CP-G	T2	C1-G	T2	C2-G	T2	C3-G	T2
	CP-P	T2	C1-P	T2	C2-P	T2	C3-P	T2
	CP-L	P1	C1-L	-	C2-L	P1	C3-L	P1
	CP-LG	P1	C1-LG	S1	C2-LG	P1	C3-LG	P1
	CP-LP	P1	C1-LP	P1	C2-LP	P1	C3-LP	P1
	CP-S	T1 e T2	C1-S	T2	C2-S	T2	C3-S	T1 e T2
	FP-G	T2	F1-G	T2	F2-G	T2	F3-G	T2
	FP-P	T2	F1-P	T2	F2-P	T2	F3-P	T2
	FP-L	P1	F1-L	-	F2-L	P1	F3-L	P1
	FP-LG	P1	F1-LG	-	F2-LG	P1	F3-LG	P1
	FP-LP	P1	F1-LP	P1	F2-LP	P1	F3-LP	P1
	FP-S	T1 e T2	F1-S	T2	F2-S	T2	F3-S	T1 e T2
	TP-G	P1	T1-G	P1	T2-G	P1	T3-G	P1
	TP-P	P1	T1-P	P1	T2-P	P1	T3-P	P1
	TP-L	P1	T1-L	P1	T2-L	P1	T3-L	P1
	TP-LG	P1	T1-LG	P1	T2-LG	P1	T3-LG	P1
	TP-LP	P1	T1-LP	P1	T2-LP	P1	T3-LP	P1
TP-S	P1	T1-S	P1	T2-S	P1	T3-S	P1	

CNA* são os critérios de desempenho não atendidos pelo modelo, sendo: M1 = critério do PHFT; T1 = critério da Tomás; T2 = critério da Tomín; P1 = critério do Δ PHFT; I1 = critério da RedCgTT do nível intermediário; S1 = critério da RedCgTT do nível superior

O = oeste; N = norte;

OP = opostas; AD = adjacentes;

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto;

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Todos os modelos com laje, laje e gesso ou laje e PVC, bem como todos os modelos simulados com telha termoacústica atingiram o desempenho mínimo de acordo com a norma. Nas simulações com telha cerâmica ou de fibrocimento sem forro, nenhum dos modelos atingiu o desempenho mínimo. Além disso, os modelos com orientação norte, com telha cerâmica ou de fibrocimento na cor branco neve, combinadas com laje ou laje e gesso, atingiram os melhores desempenhos.

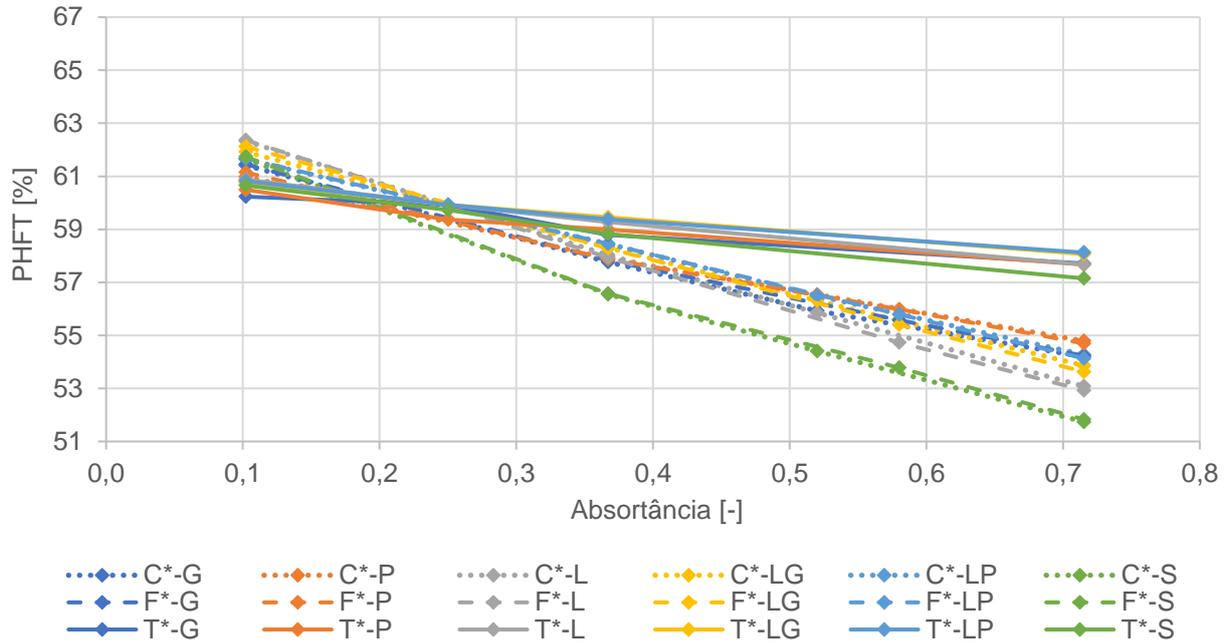
Para entender os resultados acima, e o que influenciou no desempenho térmico desses modelos, é necessário fazer a análise das propriedades térmicas do sistema de cobertura, bem como das orientações solares e verificar qual a relação entre a variação dessas propriedades e os resultados observados. Essa análise foi feita por meio de comparações entre os modelos reais. Para fazer as comparações de forma lógica foi necessário variar apenas uma característica nos modelos estudados, enquanto todas as outras características foram fixadas. O detalhamento dessa análise será apresentado nas seções **4.3** à **4.6**.

4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CORES NOS MODELOS SIMULADOS

As simulações foram realizadas com as cores padrão de cada tipo de telha e ainda, considerando as cores: branco neve, palha e concreto. Para fazer a correta análise da influência das cores no desempenho térmico foi necessário comparar modelos com telhas de mesmo material e mesmas composições de forros, assim, as propriedades térmicas (Resistência Térmica – RT, Transmitância Térmica – U e Capacidade Térmica – CT) das coberturas comparadas são as mesmas, exceto na questão da absorvância. As condições de exposição ao sol também foram mantidas fixas.

Primeiramente são apresentados os gráficos, e logo após são feitas as considerações sobre os resultados observados. Os gráficos apresentam a relação entre a absorvância dos modelos e os valores de PHFT (percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa) e CgTT(carga térmica total) obtidos nas simulações computacionais.

Figura 20 – Influência da absorção no PHFT – Exposição: Oeste / oposta



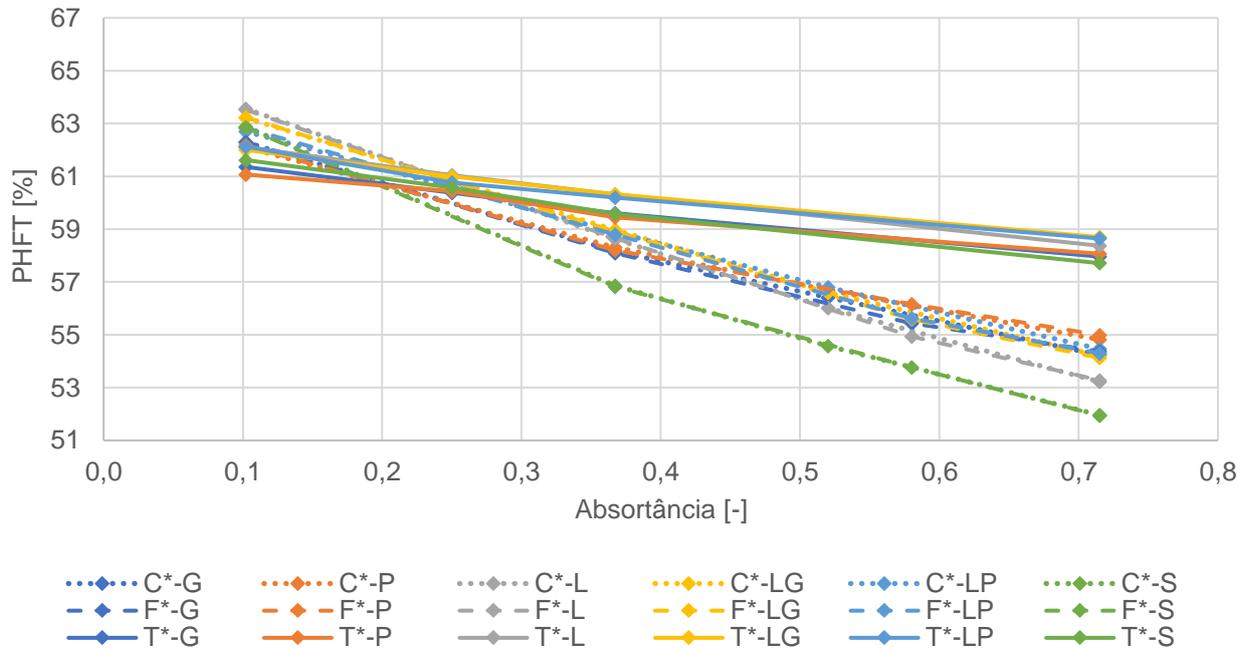
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 21 – Influência da absorção no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente



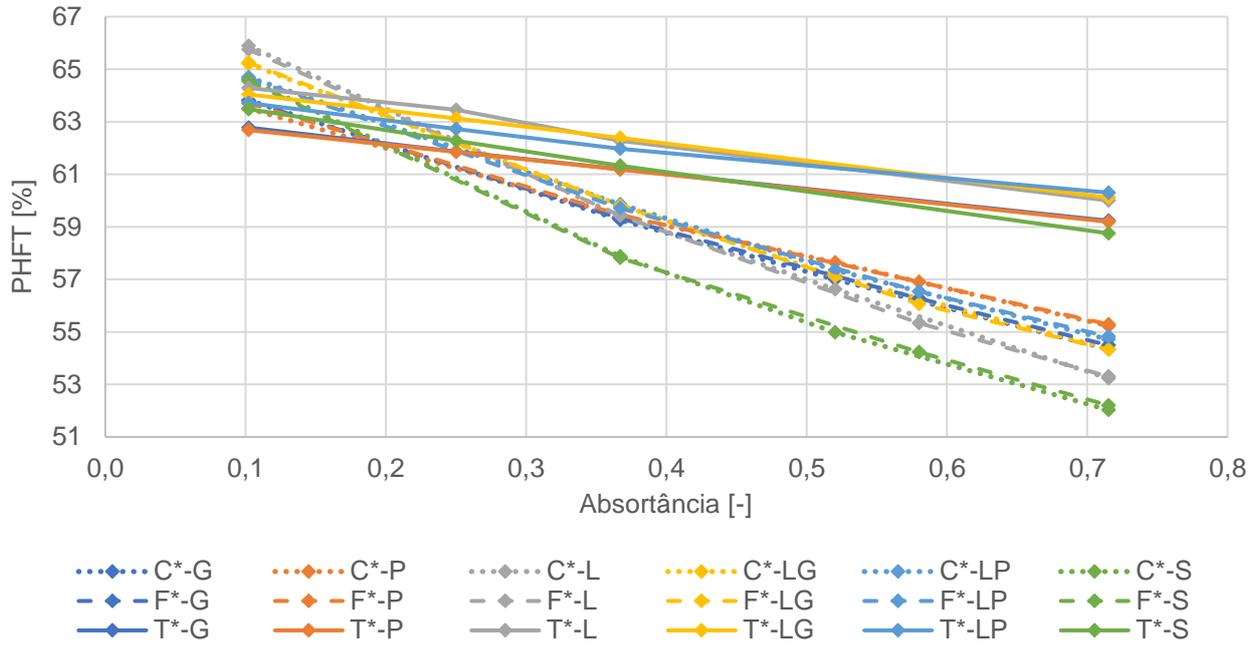
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22 – Influência da absortância no PHFT – Exposição: Norte / oposta



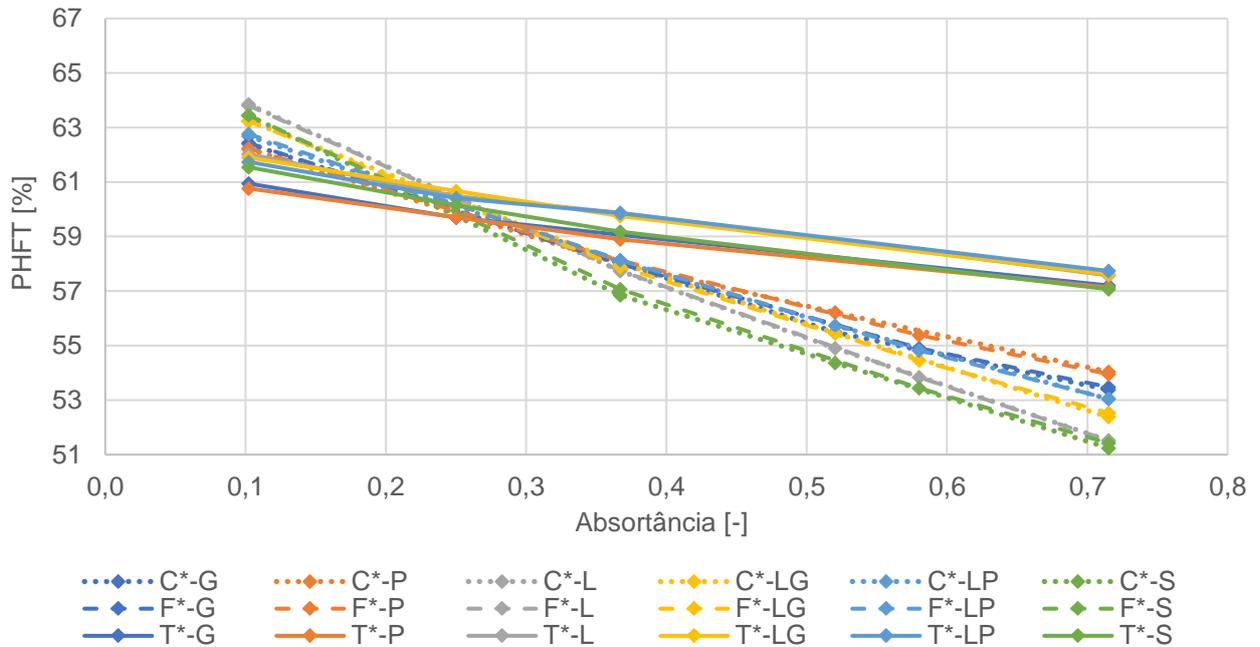
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23 – Influência da absortância no PHFT – Exposição: Norte / adjacente



C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se que independente da orientação ser norte ou oeste, com paredes opostas ou adjacentes expostas ao sol, a relação entre a absorvância do sistema de cobertura e o PHFT calculado para os modelos não é alterada. Conforme os resultados apresentados nas Figuras 20 a 23, o PHFT é inversamente proporcional à absorvância, ou seja, quanto maior a absorvância do sistema de cobertura, menor é o percentual de horas que o APP permanece dentro da faixa de temperatura aceitável para Foz do Iguaçu.

Os modelos com telha cerâmica (C) e telha de fibrocimento (F) apresentaram comportamentos muito próximos, isso ocorre, pois, as propriedades térmicas desses materiais são parecidas. Os sistemas de coberturas compostos por essas telhas sem forro (C*-S e F*-S) apresentaram valores de PHFT muito inferiores. Nesses casos, a alta transmitância térmica associada à valores elevados de absorvância, resultam em alto ganho térmico para a edificação, diminuindo o PHFT.

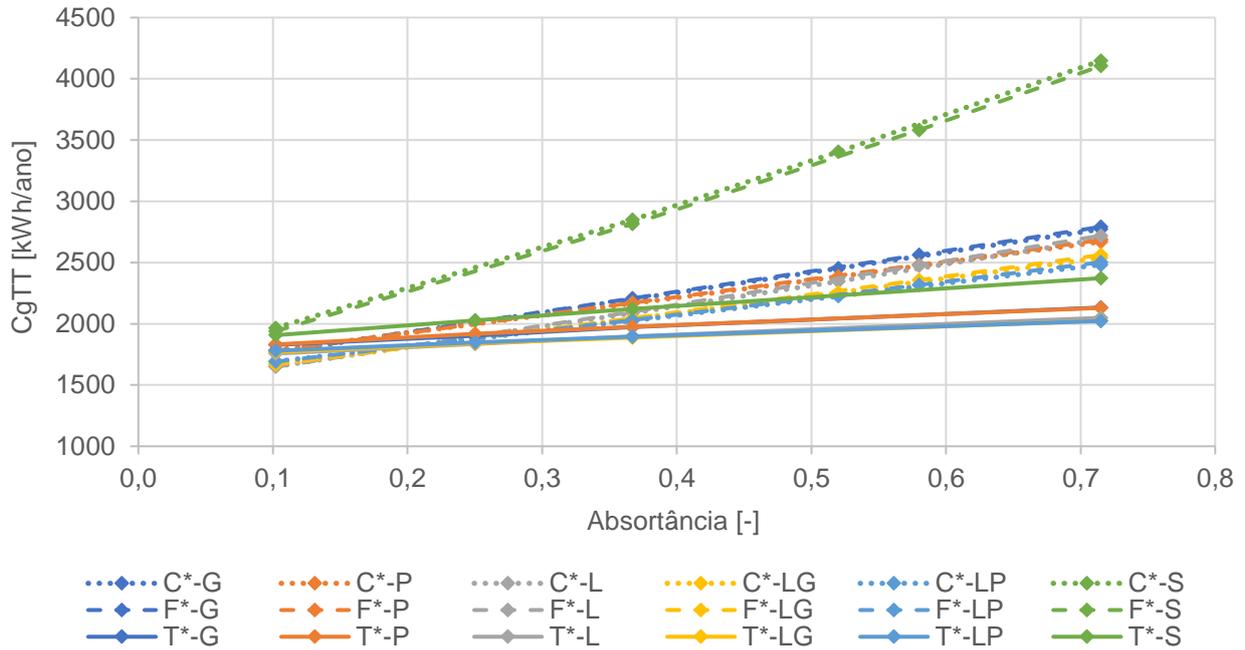
No caso da telha termoacústica (T), observa-se que as linhas dos gráficos são menos inclinadas, indicando menor influência da absorvância sobre os resultados de PHFT. Pode-se explicar esse comportamento pela alta resistência térmica associada à telha termoacústica, quanto maior a resistência térmica, menor é a transferência de calor por condução nos sistemas compostos por essa telha.

Para o menor valor de absorvância ($\alpha = 0,102$), percebe-se que sistemas de cobertura com transmitâncias térmicas mais elevadas (telha cerâmica (C) e de fibrocimento (F)) possuem PHFTs maiores do que os sistemas com altas resistências térmicas (telha termoacústica (T)). As coberturas com valores altos de resistência térmica podem dificultar a liberação de calor do APP no período noturno, elevando a temperatura interna e diminuindo o PHFT.

Em suma, quanto maior a absorvância, menor será o PHFT do modelo. Além disso, para valores altos de absorvância, os modelos com maiores resistências térmicas (T) apresentam os maiores resultados de PHFT; enquanto que para valores muito baixos de absorvância os modelos com maiores transmitâncias térmicas (C e F) apresentaram resultados superiores de PHFT, quando comparados com modelos com a telha termoacústica (T).

Além da interferência da absorvância no PHFT dos modelos, deve-se verificar como as cargas térmicas necessárias para manter o conforto térmico são influenciadas. Assim, foi feita também a análise de relação entre a absorvância e a CgTT dos modelos.

Figura 24 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Oeste / oposta



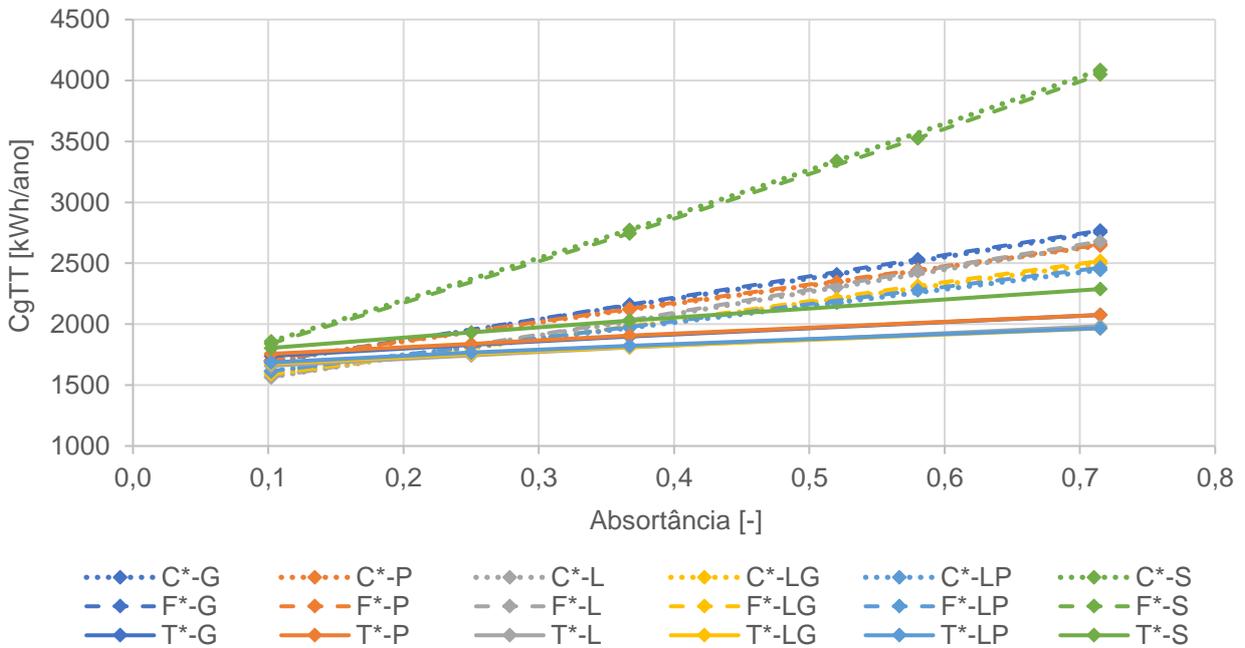
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Oeste / adjacente

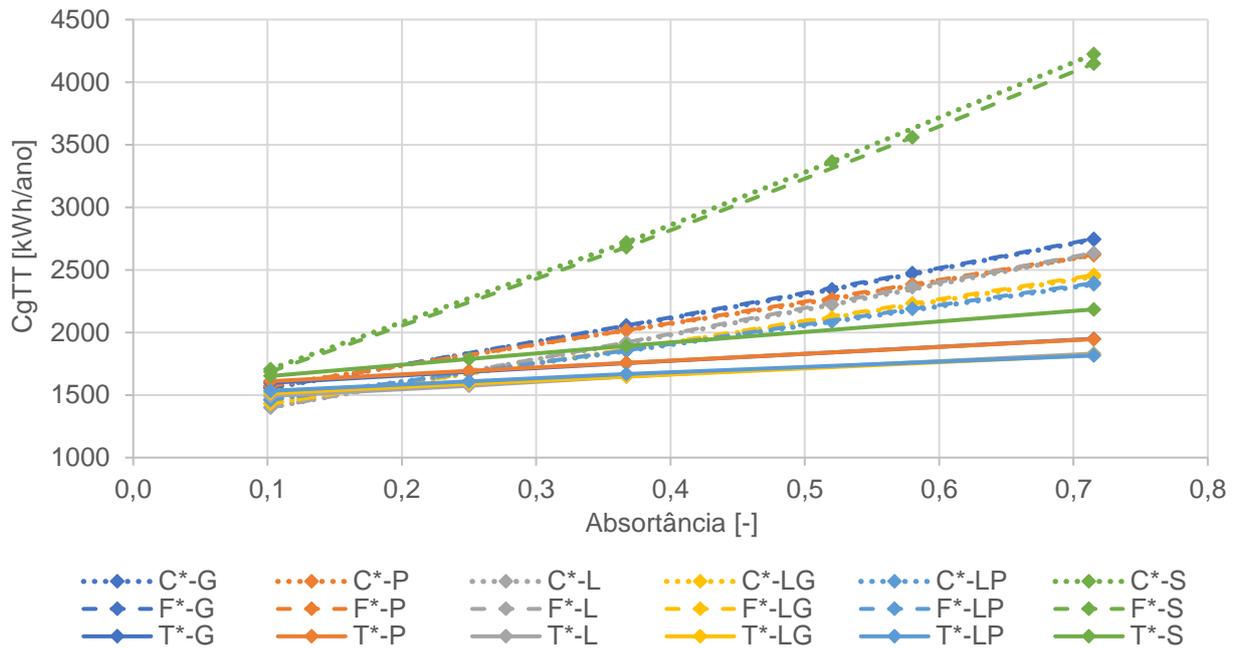


C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

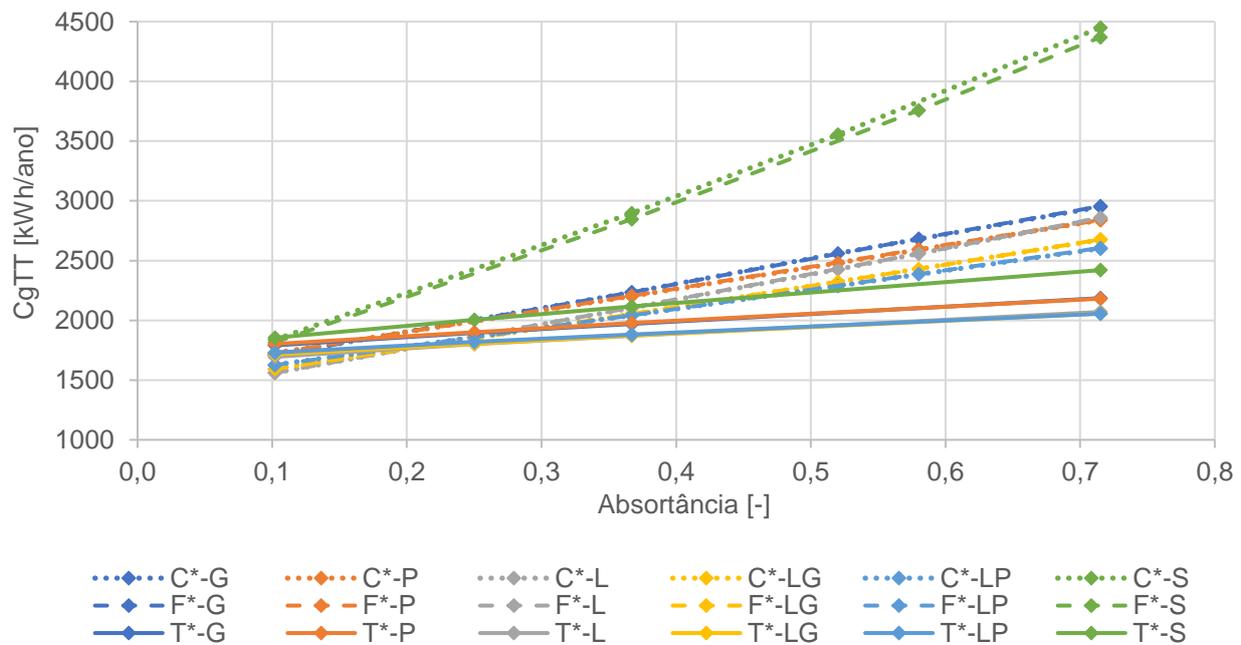
Figura 26 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Norte / oposta

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 27 – Influência da absorvância na CgTT – Exposição: Norte / adjacente

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

* Cor variável

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto maior a absorvância da superfície da cobertura, mais calor o modelo absorve, aumentando as temperaturas operativas mínimas e máximas. O aumento das temperaturas operativas mínimas, causa a redução da $CgTA$. Elevar as temperaturas operativas máximas, no entanto, aumenta ainda mais a necessidade de resfriamento do ambiente, elevando a $CgTR$.

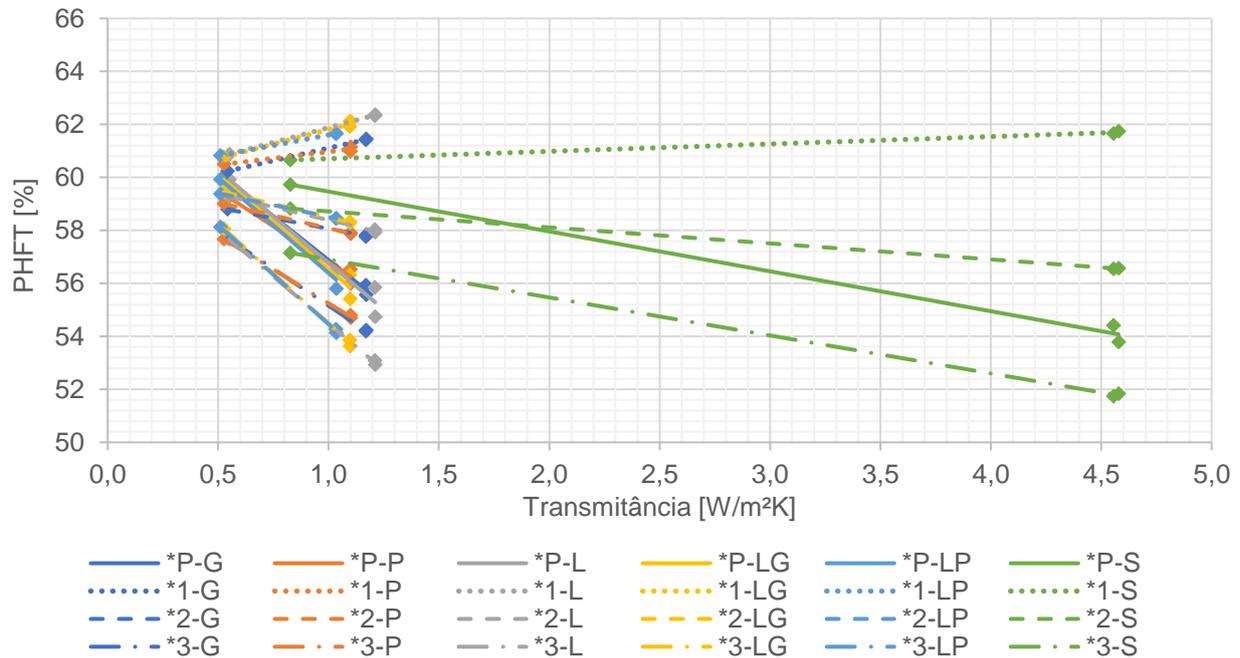
Como o clima de Foz do Iguaçu, PR, possui maior número de horas de calor do que de frio, a carga térmica de resfriamento representa a parte mais expressiva da carga térmica total ($CgTT$) de cada modelo. Assim, apesar do aumento da temperatura causar a diminuição da $CgTA$, ainda assim a $CgTT$ aumenta.

Conforme resultados apresentados nas Figuras 24 a 27, o aumento da absorvância resulta em maiores cargas térmicas totais ($CgTT$). Observa-se que os modelos com telha termoacústica (T) apresentaram os menores valores de $CgTT$, enquanto que os modelos com telha cerâmica (C) e de fibrocimento (F) apresentaram resultados de cargas térmicas superiores.

Nota-se, também, que os resultados dos modelos com telha cerâmica sem forro (C*-S) ou de fibrocimento sem forro (F*-S) apresentam as maiores cargas térmicas, isso ocorre pois a alta absorção de radiação solar associada aos altos valores de transmitância térmica, resulta em alta transferência de calor para o interior do APP, aumentando a necessidade do uso de climatização artificial.

4.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE TELHA NOS MODELOS SIMULADOS

Quando se trata de comparação entre telhas, a mesma é feita considerando cores iguais e mesmas composições de forros, mantendo fixos os valores de absorvância e as propriedades térmicas dos forros, e variando apenas as propriedades térmicas relacionadas às telhas.

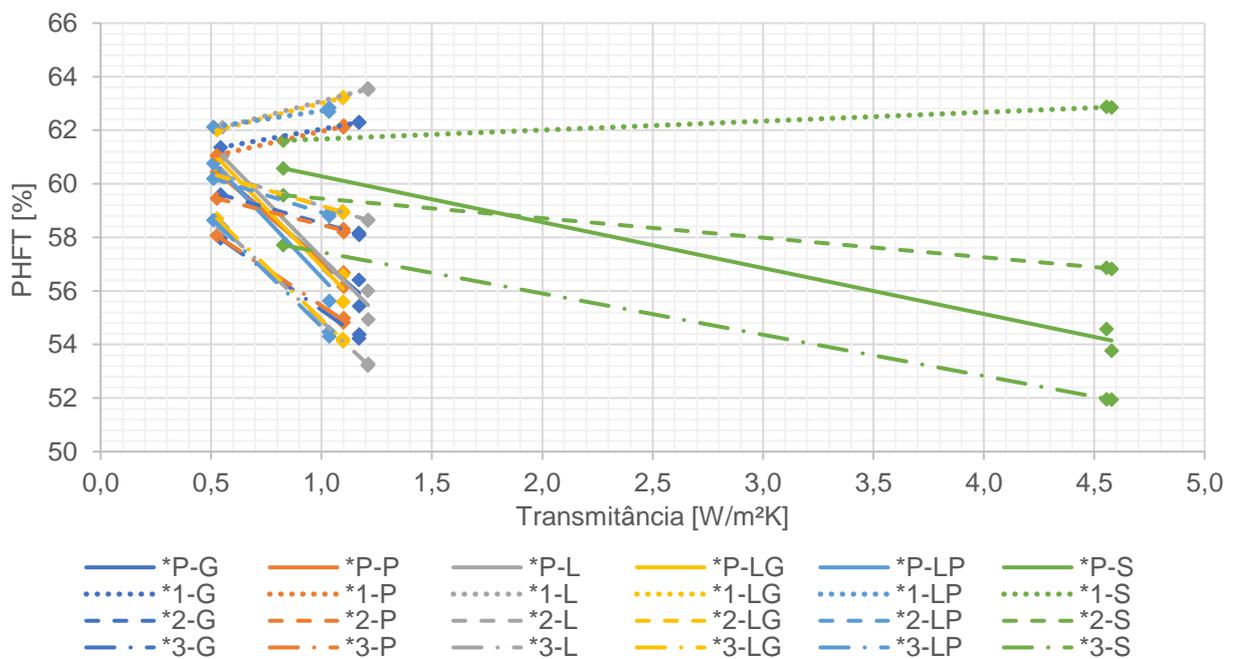
Figura 28 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Oeste / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

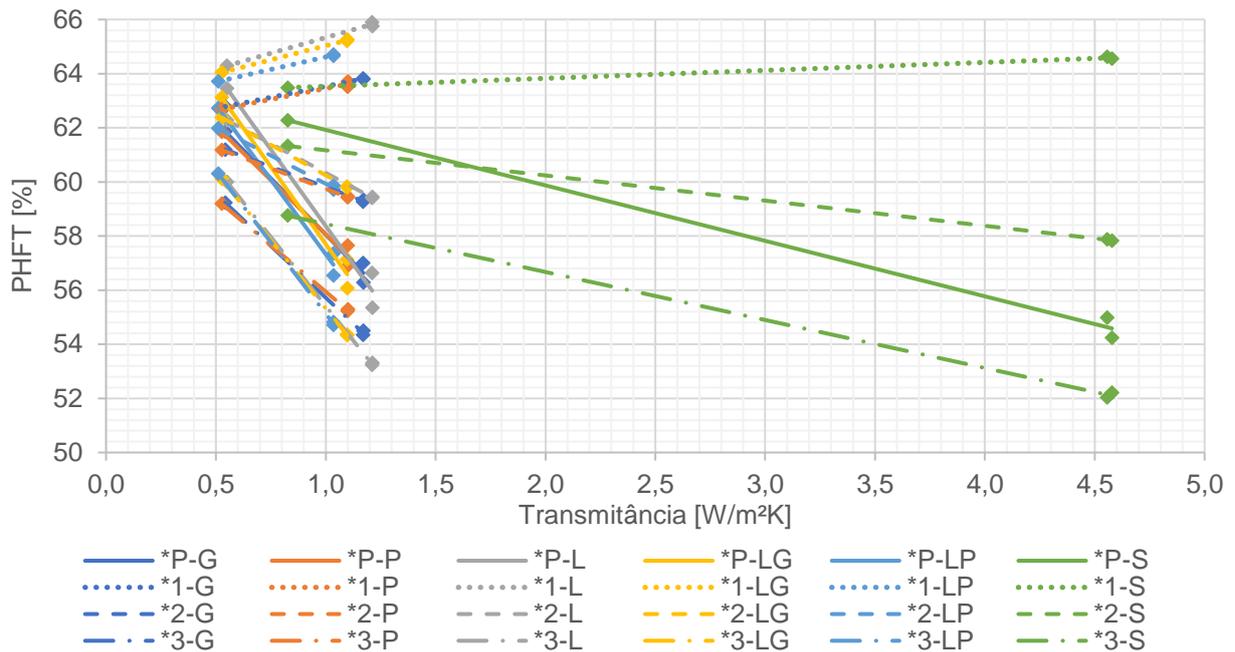
Figura 29 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

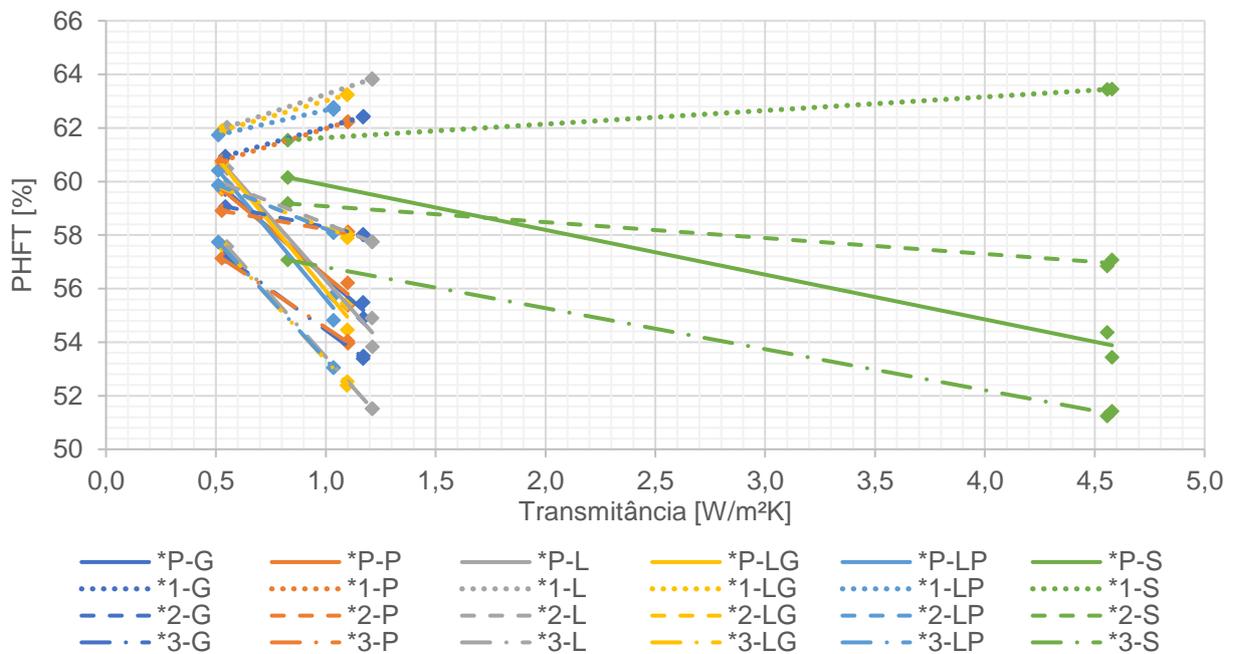
Figura 30 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Norte / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 31 – Influência da transmitância das telhas no PHFT – Exposição: Norte / adjacente

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

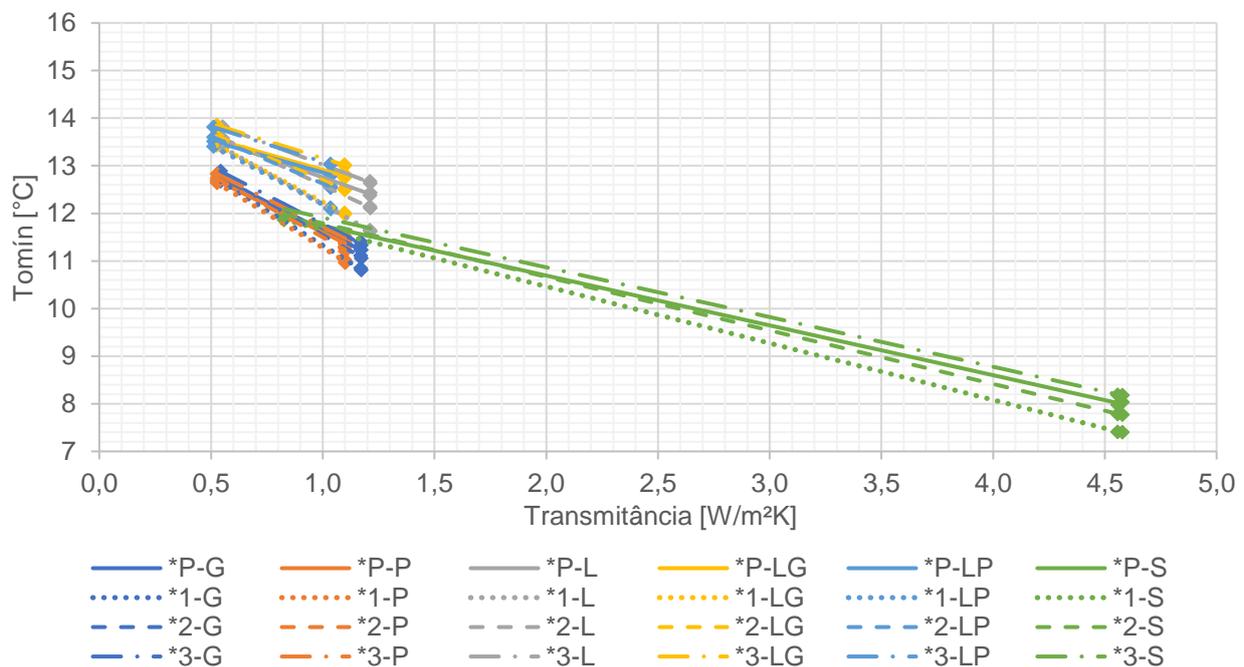
G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que o comportamento dos gráficos para todas as formas de exposição ao sol é bem próximo. Conforme os resultados apresentados (**Figura 28** à **Figura 31**), quanto maior a transmitância térmica das telhas, menores são os valores de PHFT associados, exceto para os modelos simulados com as telhas na cor branco neve (1), para o quais quanto maior a transmitância, maior é o PHFT.

Entende-se que esses comportamentos ocorrem, pois, quanto maior é a transmitância térmica, mais calor é transferido para o interior do APP durante o dia, aumentando as temperaturas operativas máximas. Enquanto que durante a noite, maiores transmitâncias auxiliam na liberação de calor dos ambientes, diminuindo as temperaturas operativas mínimas. A diferença de resultados dos modelos com telhas na cor branco neve (1) em relação aos modelos com telhas em todas as outras cores (P, 2 e 3), bem como a relação entre a transmitância e o PHFT, serão melhor explicados com os gráficos de temperaturas operativas (**Figura 32** à **Figura 39**).

Figura 32 – Influência da transmitância das telhas na Tomín– Exposição: Oeste / oposta

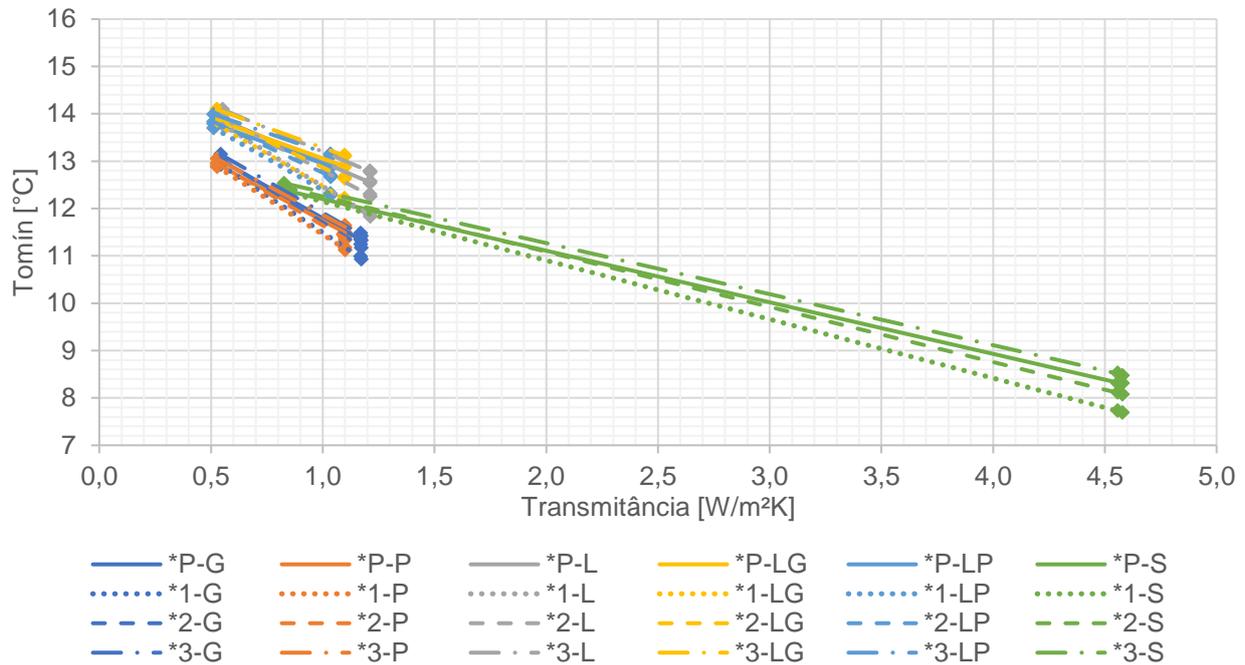


* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

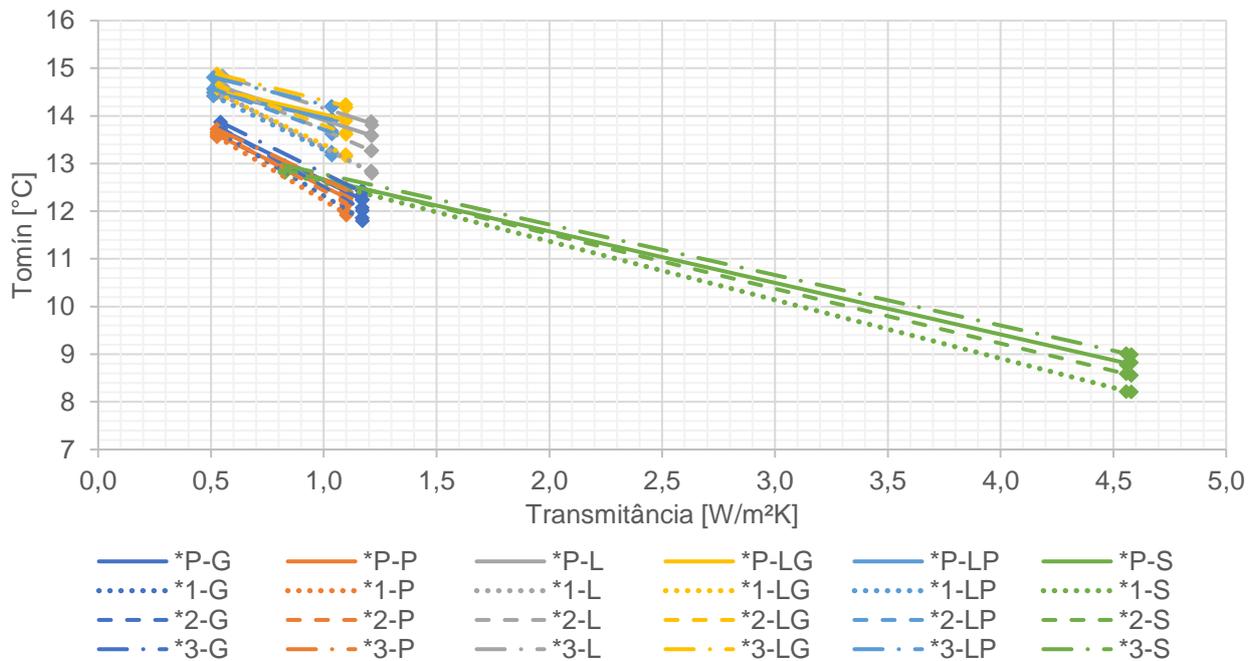
Figura 33 – Influência da transmitância das telhas na Tomín – Exposição: Oeste / adjacente

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

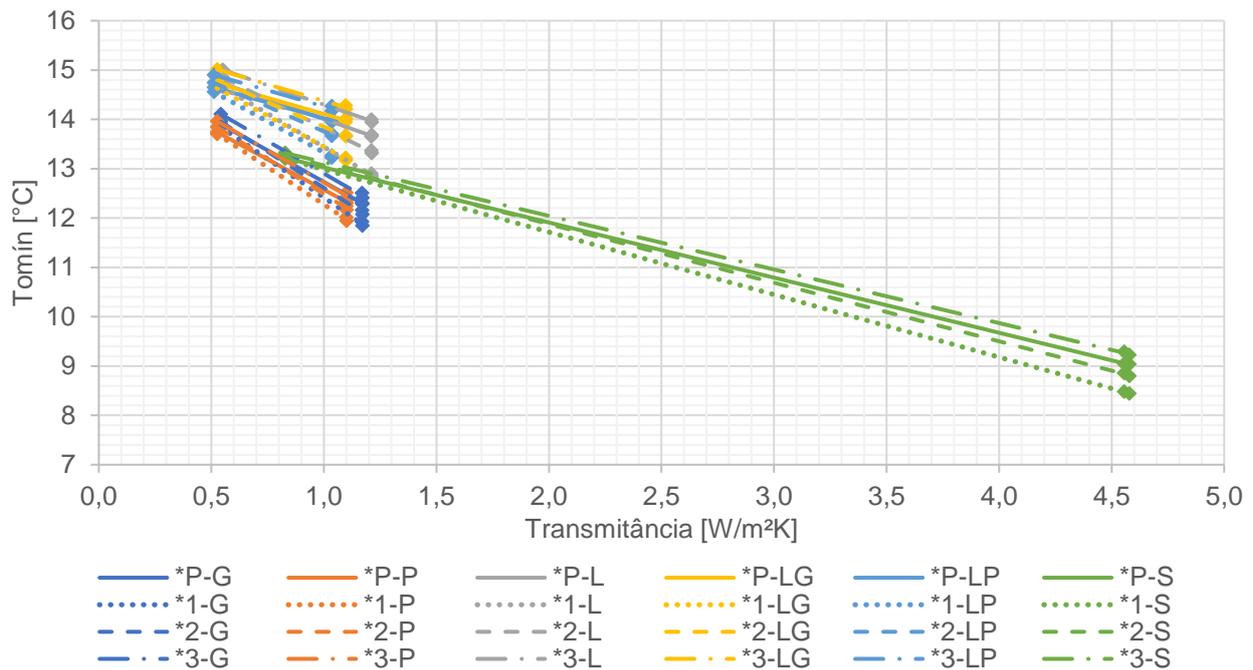
Figura 34 – Influência da transmitância das telhas na Tomín – Exposição: Norte / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 35 – Influência da transmitância das telhas na Tomín– Exposição: Norte / adjacente

* Telha variável

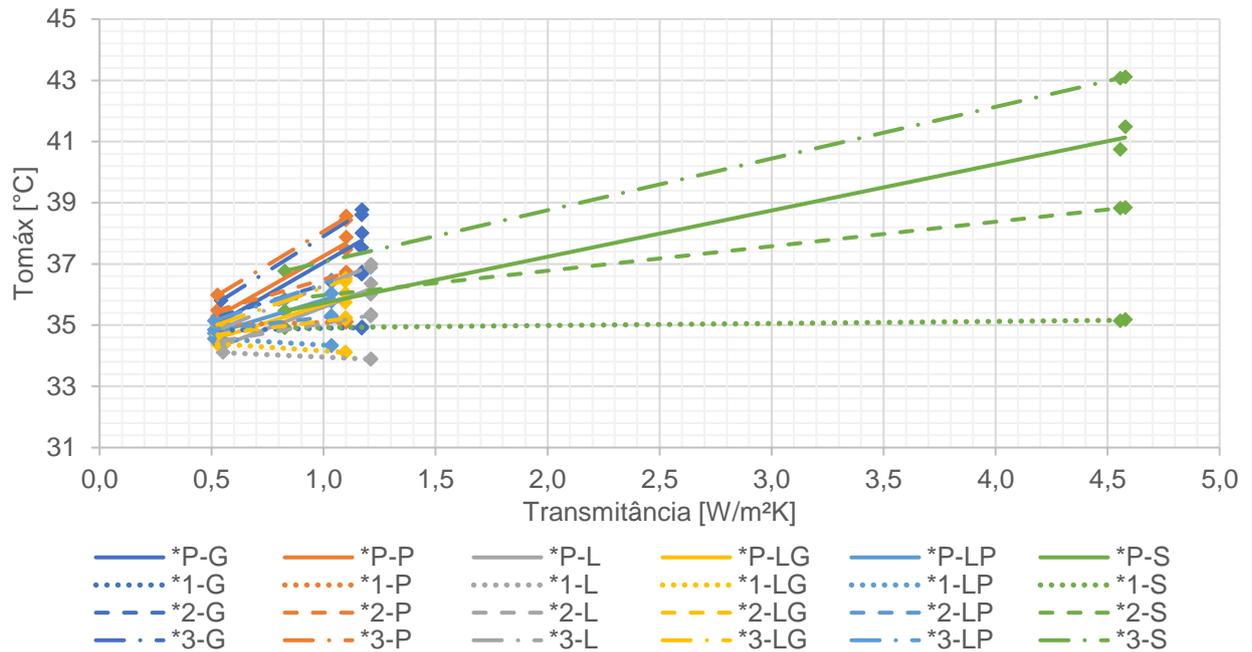
P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando os gráficos de relação entre a transmitância térmica e as temperaturas operativas mínimas, pode-se confirmar que quanto maior a transmitância térmica, menores são as temperaturas operativas mínimas. A diminuição de Tomín causa desconforto nos usuários, aumentando as horas de frio e, conseqüentemente, elevando a necessidade de aquecimento artificial. Nota-se que independentemente da cor de telha, todos os modelos possuem o comportamento semelhante.

Deve-se observar que, os sistemas de cobertura com menores capacidades térmicas (telhas associadas aos forros de gesso (G), de PVC (P) ou sem forro (S)) apresentaram menores temperaturas operativas mínimas, quando comparados aos sistemas com altos valores de capacidade térmica (telhas com laje (L), laje e gesso (LG) ou laje e PVC (LP)).

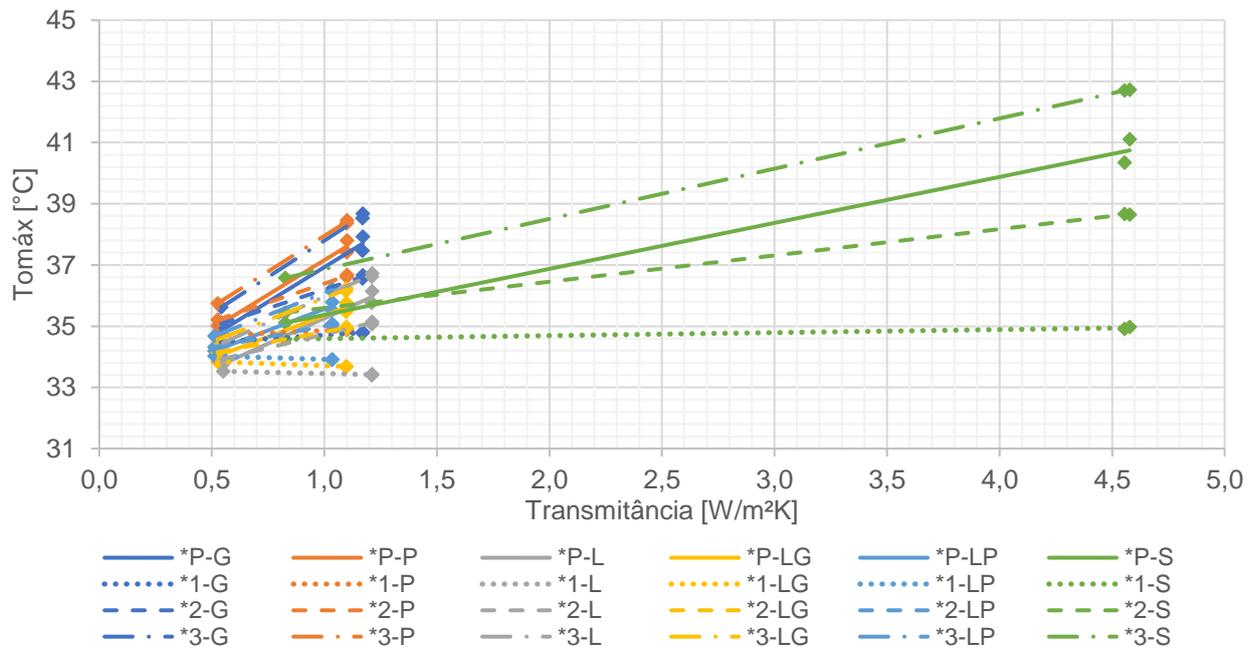
Figura 36 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Oeste / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

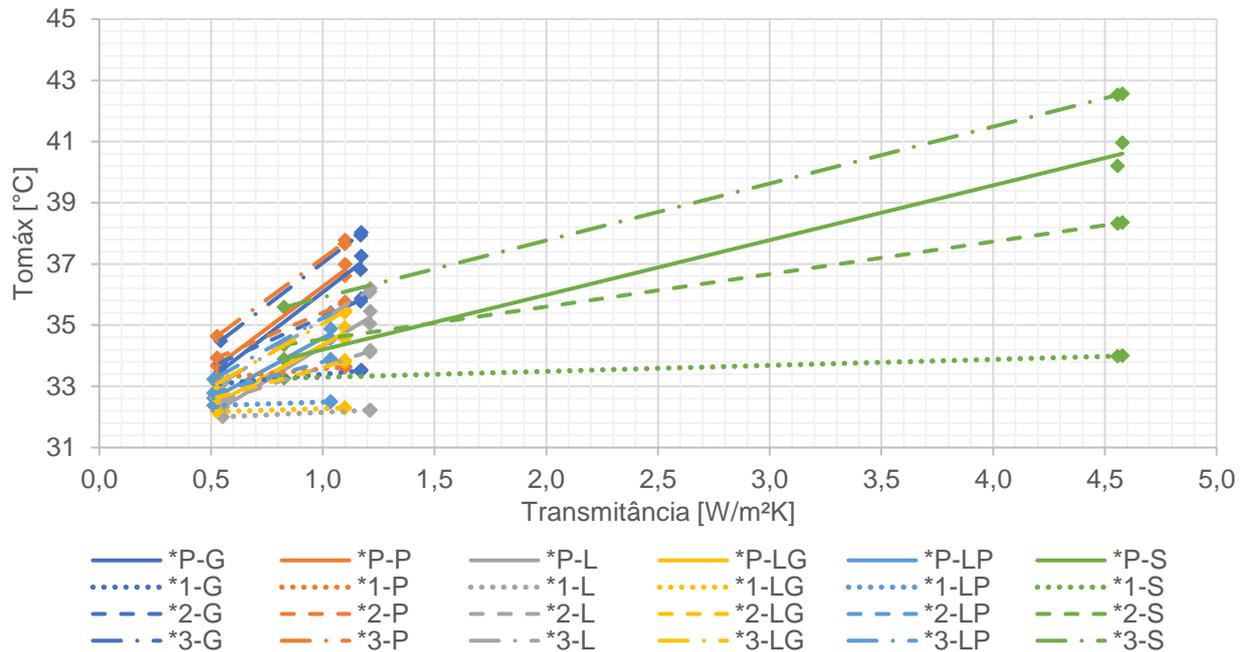
Figura 37 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Oeste / adjacente

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

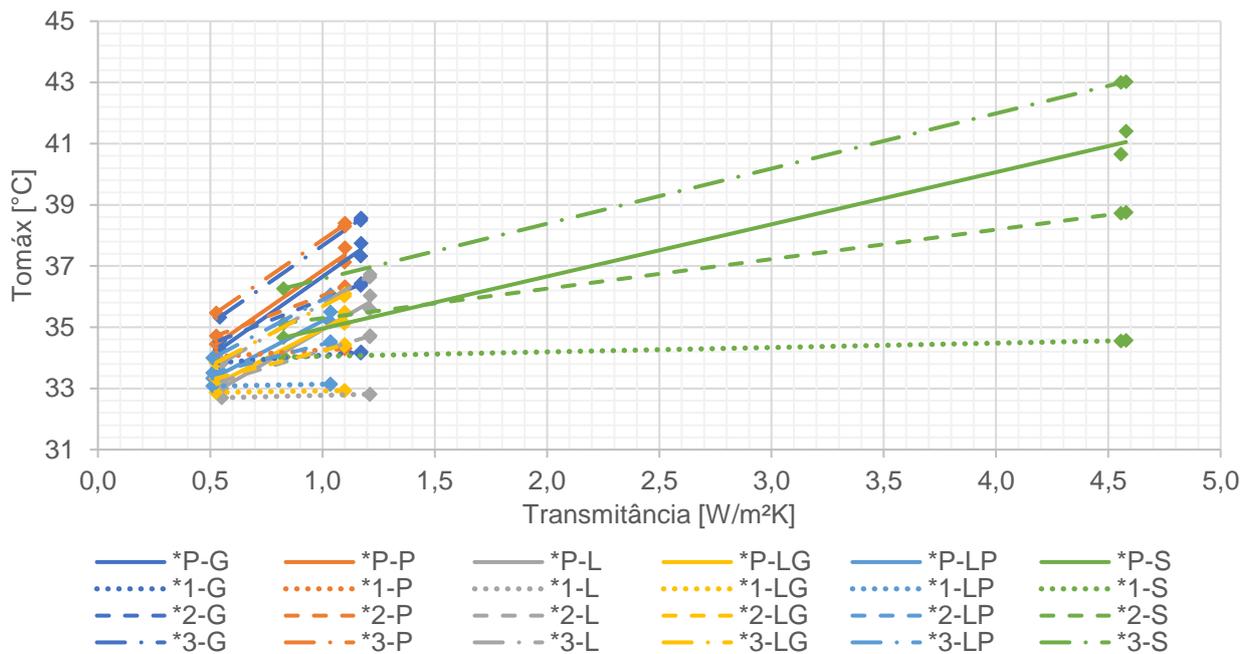
Figura 38 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Norte / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 39 – Influência da transmitância das telhas na Tomáx– Exposição: Norte / adjacente

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando os gráficos de transmitância térmica em relação às temperaturas operativas máximas, nota-se que o aumento da transmitância térmica, causa o aumento da temperatura operativa máxima, exceto para os modelos com telhas na cor branco neve (1).

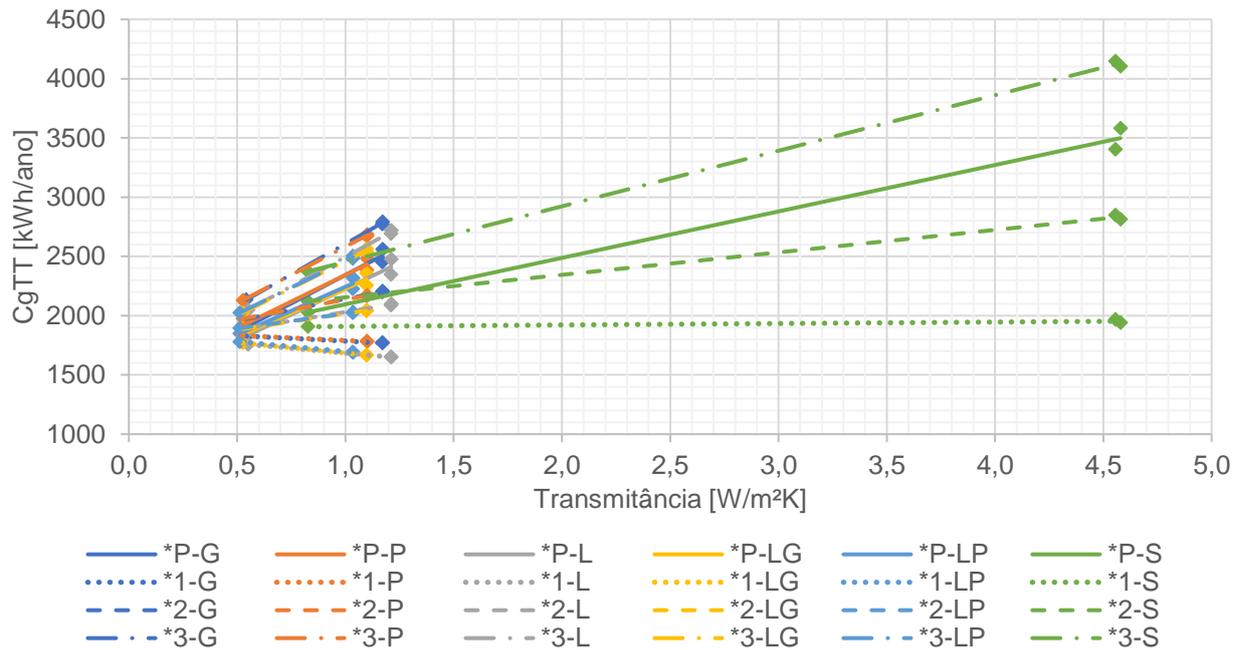
Os sistemas de coberturas compostos por telhas na cor branco neve (1) apresentaram variação mínima da $T_{\text{omáx}}$, ao aumentar a transmitância térmica da telha. Provavelmente isso ocorre porque a absorvância dessa cor reflete a maior parte do calor durante o dia, diminuindo os ganhos térmicos da edificação. Enquanto que os modelos com telhas associadas às outras cores (P, 2 e 3), absorvem maior quantidade de radiação solar incidente, aumentando os ganhos térmicos do APP e, conseqüentemente, elevando as temperaturas operativas máximas.

Deve-se observar que, as coberturas com menores capacidades térmicas (telhas associadas aos forros de gesso (G), de PVC (P) ou sem forro (S)) apresentaram maiores temperaturas operativas máximas, quando comparadas aos sistemas com altos valores de capacidade térmica (telhas com laje (L), laje e gesso (LG) ou laje e PVC (LP)).

Componentes com elevados valores de capacidade térmica precisam de maior quantidade de calor para variar a temperatura do sistema, atrasando o fluxo de calor tanto para o interior quanto para o exterior do ambiente e, conseqüentemente, diminuindo a amplitude térmica no interior do APP. Por esse motivo os modelos com laje (L), laje e gesso (LG), e laje e PVC (LP), apresentam as menores $T_{\text{omáx}}$ e as maiores $T_{\text{omín}}$.

Resumindo, o aumento da transmitância térmica das telhas resultou na diminuição das temperaturas operativas mínimas (aumentando a C_{gTA}) e no aumento das temperaturas operativas máximas (elevando a C_{gTR}), exceto para as telhas na cor branco neve (1), para as quais não ocorreu o aumento significativo das temperaturas operativas máximas.

Como dito anteriormente, a carga térmica total (C_{gTT}) é a soma das cargas térmicas de resfriamento (C_{gTR}) e de aquecimento (C_{gTA}), ou seja, o aumento das temperaturas operativas máximas e a diminuição das temperaturas operativas mínimas, impactam negativamente no consumo energético de cada modelo simulado. Os gráficos referentes a essa análise da influência da transmitância térmica sobre a C_{gTT} dos modelos são apresentados abaixo (**Figura 40 à Figura 43**).

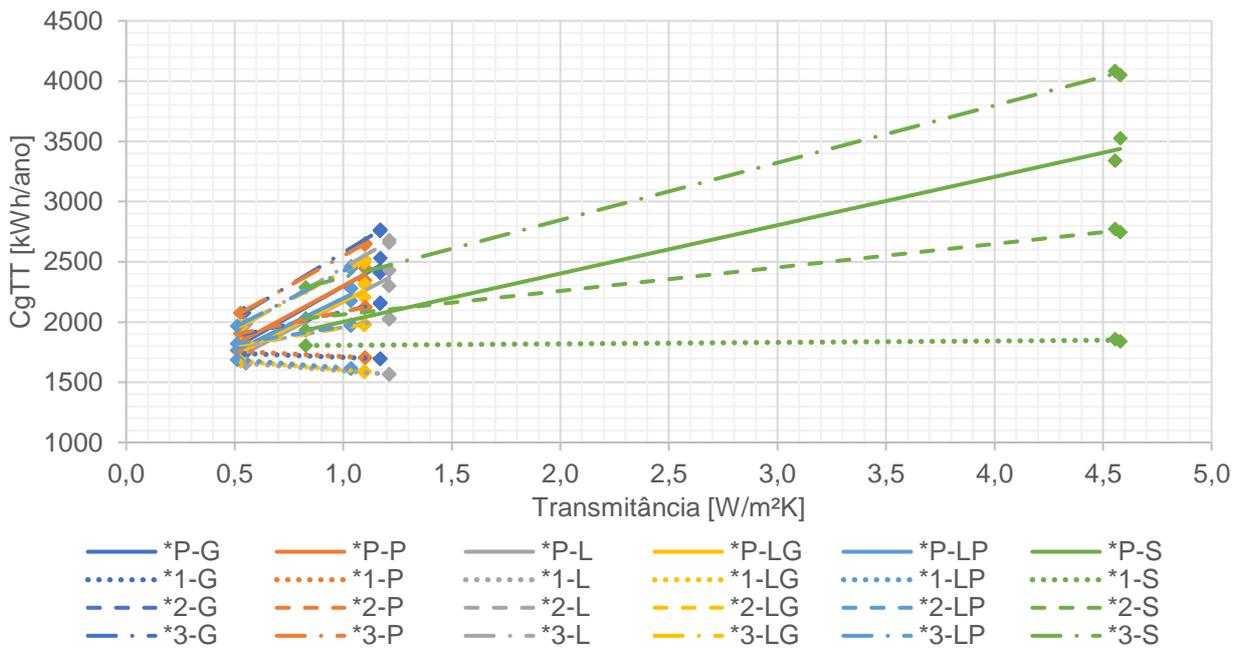
Figura 40 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Oeste / oposta

* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 41 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Oeste / adjacente

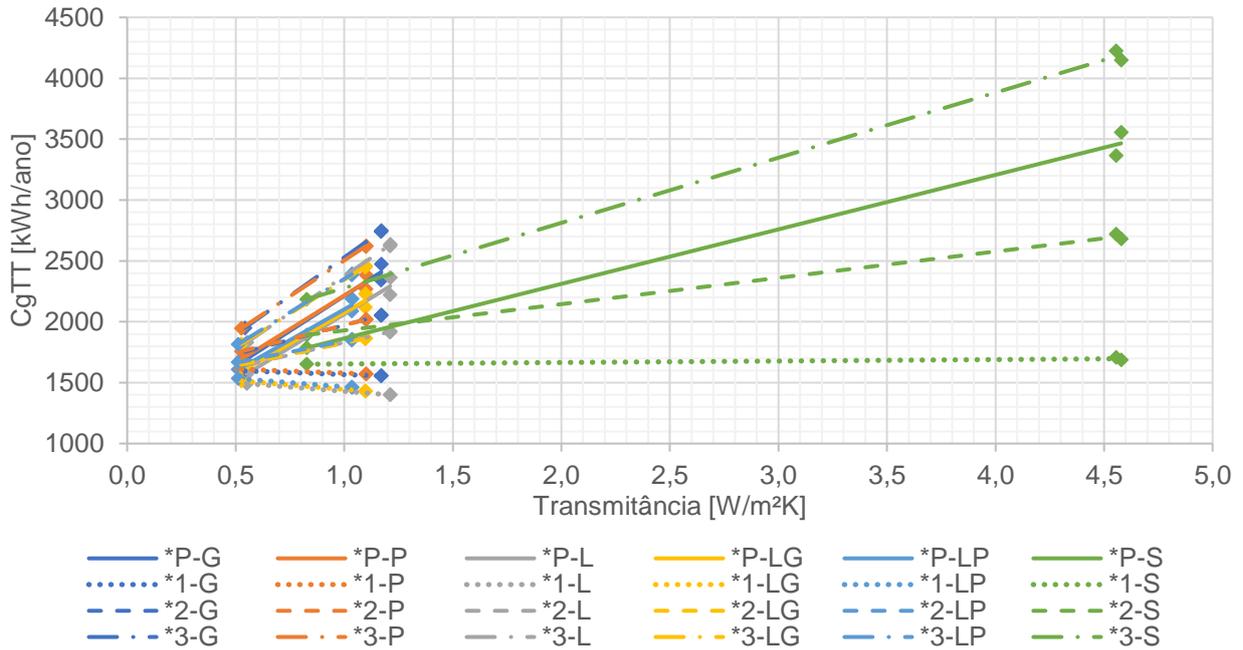
* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 42 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Norte / oposta



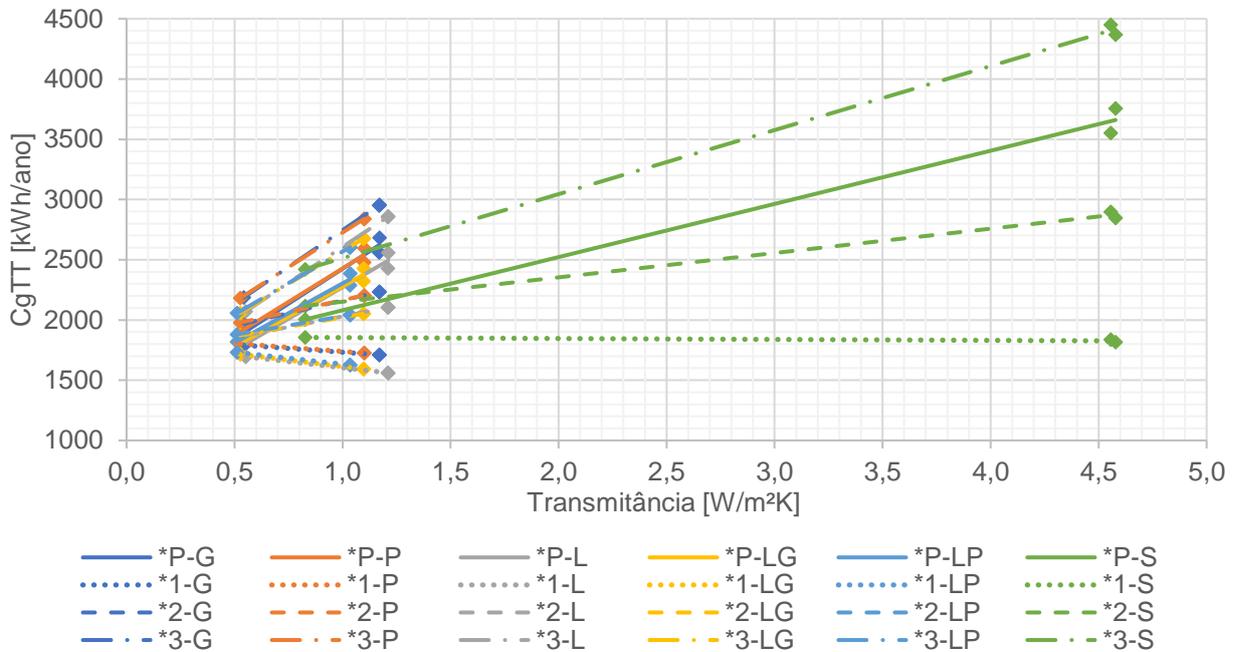
* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 43 – Influência da transmitância das telhas na CgTT– Exposição: Norte / adjacente



* Telha variável

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se que quanto maior a transmitância térmica, maior é a C_{gTT} necessária para manter o ambiente confortável termicamente, exceto para os modelos com telhas na cor branco neve (1), para os quais o aumento da transmitância causou variações mínimas de C_{gTT} . Isso ocorre, pois, valores altos de transmitância térmica estão associados ao aumento da transferência de calor tanto para o interior quanto para o exterior do ambiente, aumentando as temperaturas operativas máximas durante o período de calor, e diminuindo as temperaturas operativas mínimas durante o período de frio, elevando a carga térmica necessária para aquecimento e resfriamento do ambiente.

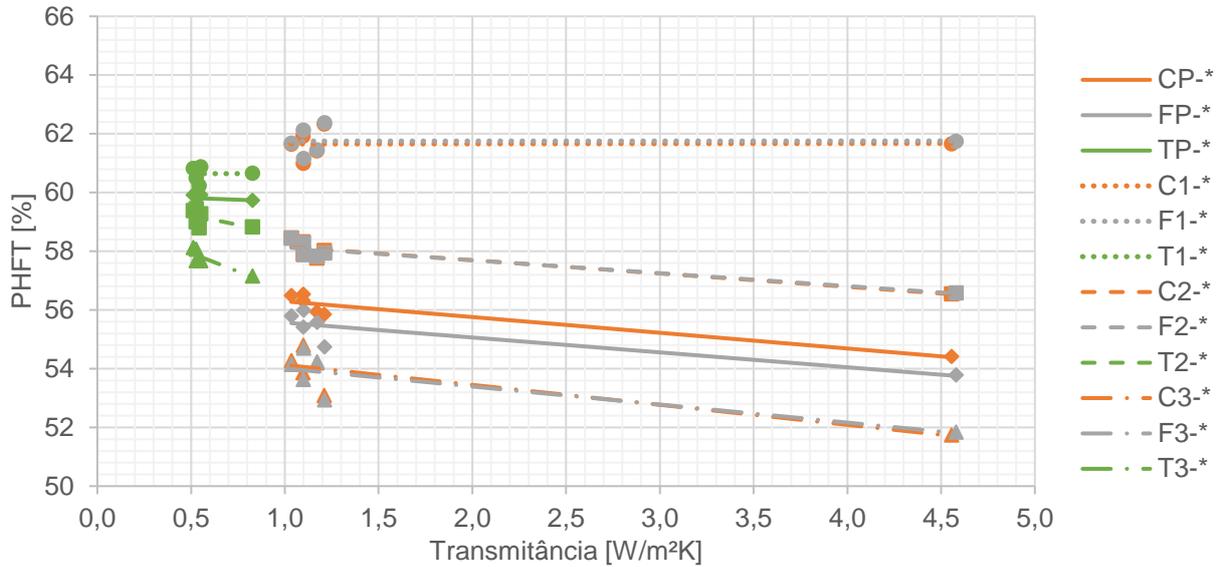
No caso das telhas na cor branco neve (1), os modelos simulados possuem as menores temperaturas operativas máximas, sem sofrer variação significativa ao aumentar a transmitância das telhas. Assim, esses modelos exigem as menores quantidades de cargas térmicas de resfriamento e, conseqüentemente, as menores cargas térmicas totais, quando comparados aos modelos com outras cores de telhas (P, 2 e 3).

Em suma, quanto maior a transmitância térmica, menor é o PHFT e a temperatura operativa mínima, e maior é a temperatura operativa máxima; exceto nos modelos com telhas na cor branco neve (1), nos quais quanto maior a transmitância, maior o PHFT. Assim, nos modelos simulados com as cores padrão (P), palha (2) e concreto (3), as telhas com as menores transmitâncias térmicas apresentam os maiores valores de PHFT, sendo a telha termoacústica (T) a mais indicada para aplicação com essas cores.

Nas simulações com a cor branco neve (1) o resultado é invertido, quanto maior a transmitância térmica da cobertura, maior o PHFT do modelo. Essas características estão associadas às telhas cerâmica (C) e de fibrocimento (F). A baixa absorvância desses modelos reflete a maior parte da radiação solar, diminuindo os ganhos térmicos, além disso, nesses casos, a alta transmitância das telhas auxilia na liberação de calor durante o período noturno.

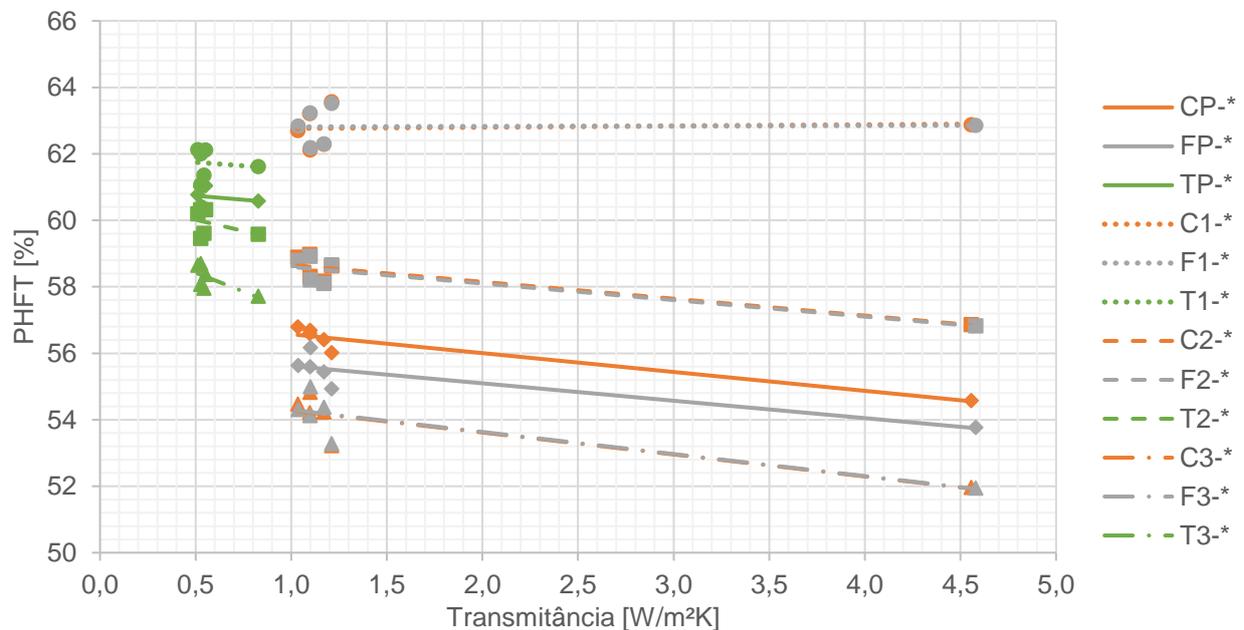
4.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FORROS NOS MODELOS SIMULADOS

A comparação de forros é feita entre telhas de mesma cor e material, variando apenas as propriedades térmicas relacionadas aos forros. Foram gerados os gráficos de dispersão com os resultados das simulações, e as linhas de tendência associadas a cada análise. Deve-se ressaltar, no entanto, que alguns resultados fogem do padrão indicado e as possíveis justificativas estão detalhadas adiante.

Figura 44 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Oeste / oposta

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

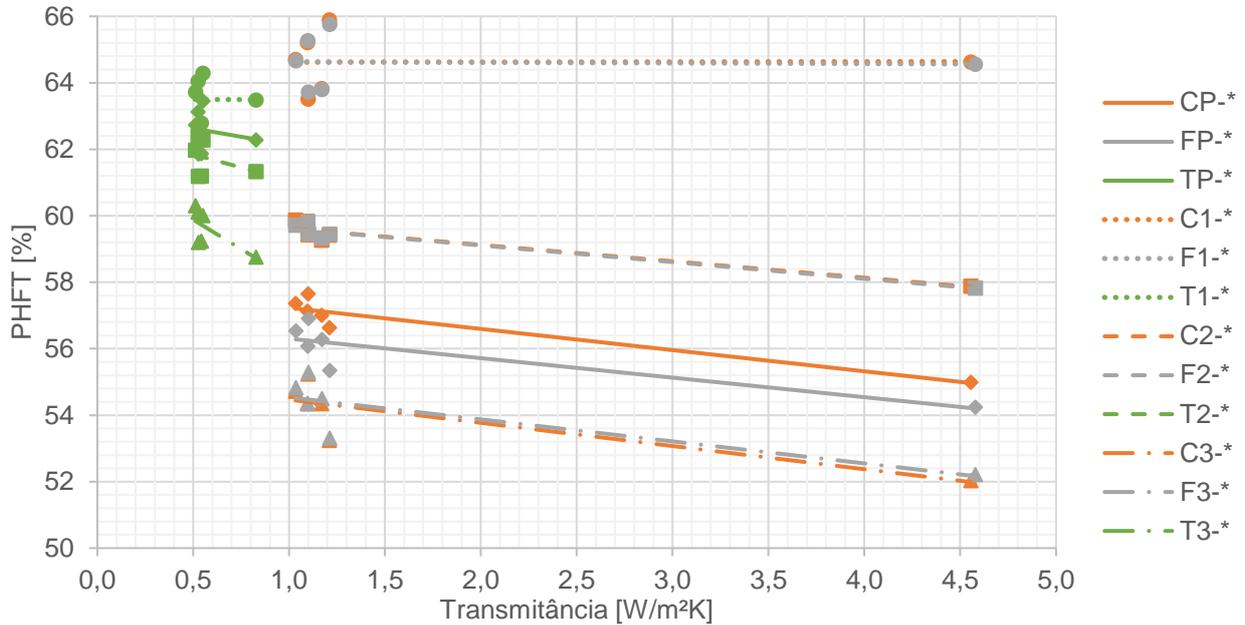
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 45 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Oeste / adjacente

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

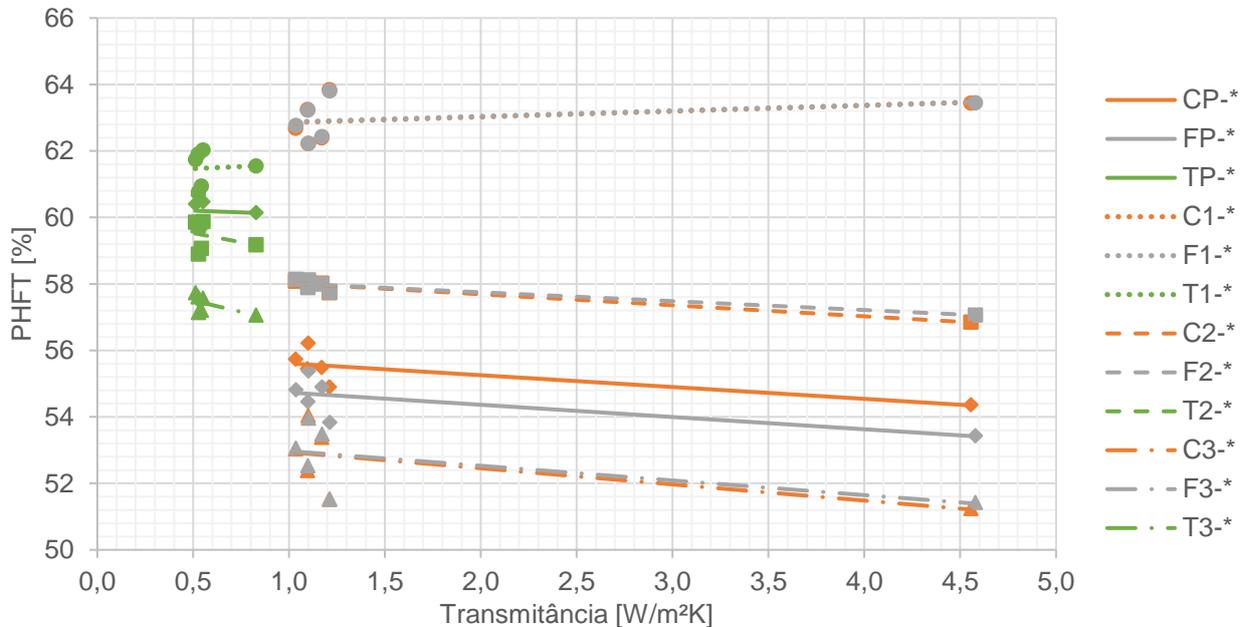
Figura 46 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Norte / oposta



C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 47 – Influência da transmitância dos forros no PHFT – Exposição: Norte / adjacente



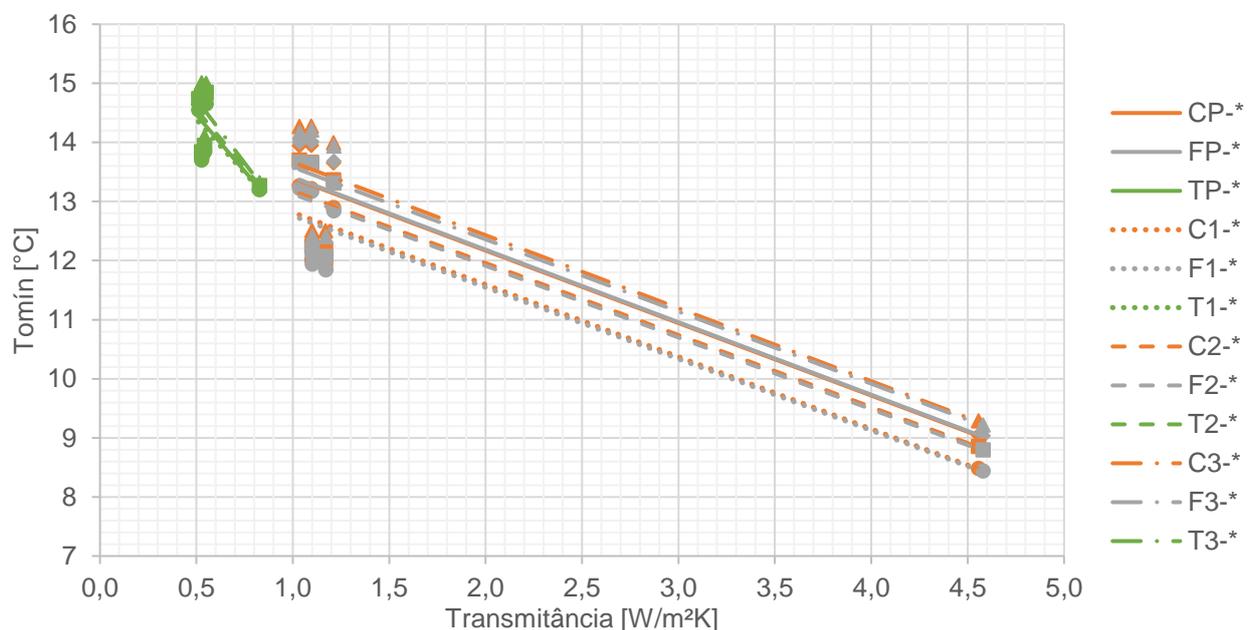
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme os resultados apresentados (**Figura 44 à Figura 47**), nota-se que quanto maior é a transmitância térmica dos forros, menor é o PHFT do APP, exceto para os modelos com telhas na cor branco neve (1), nos quais a variação de transmitância dos forros não altera o PHFT de forma significativa. Dentro da análise de cada modelo com um tipo de telha e uma cor fixados, variando apenas os tipos de forros, os modelos sem forro (S) (maior transmitância térmica) apresentaram os menores resultados de PHFT; os outros modelos de forros (gesso (G), PVC (P), laje (L), laje com gesso (LG) e laje com PVC (LP)) possuem transmitâncias térmicas semelhantes e apresentaram resultados próximos para PHFT, sem um padrão definido de qual forro possui desempenho superior.

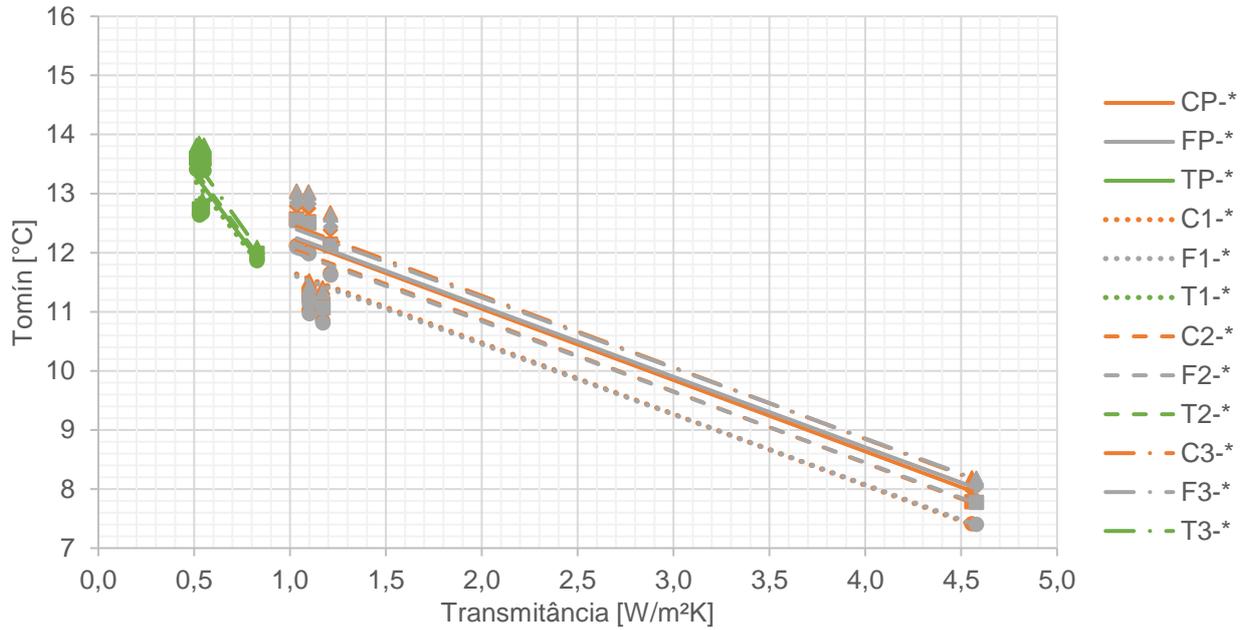
Além disso, apesar das linhas de tendência apresentarem alta confiabilidade, ainda assim alguns dados dispersam em relação a ela. Essas dispersões, bem como a falta de padrão para análise dos forros com transmitâncias térmicas semelhantes, podem ser explicadas pela variação da capacidade térmica nos modelos analisados.

Figura 48 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Oeste / oposta



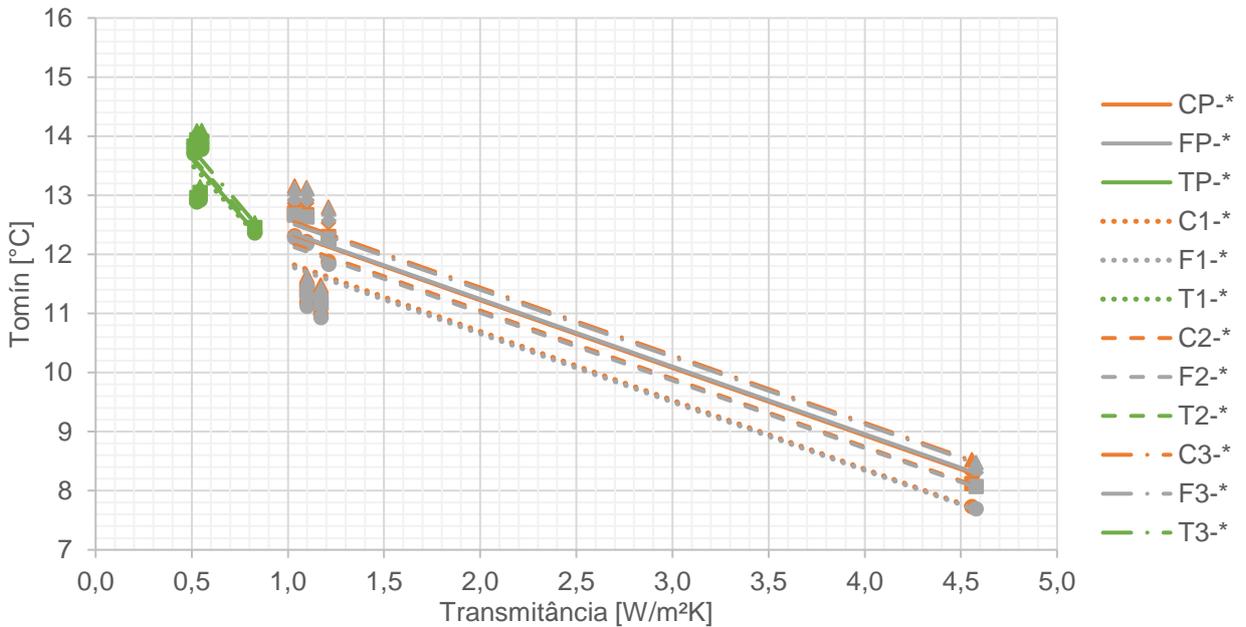
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
* Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 49 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Oeste / adjacente

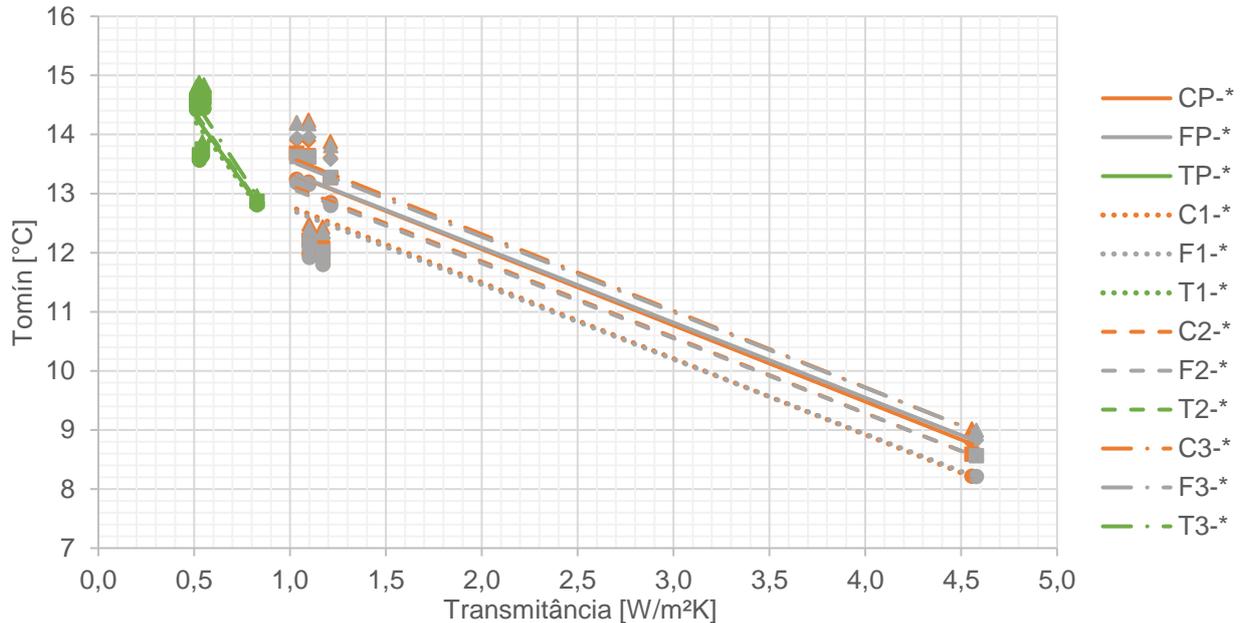
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 50 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Norte / oposta

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 51 – Influência da transmitância dos forros na Tomín – Exposição: Norte / adjacente

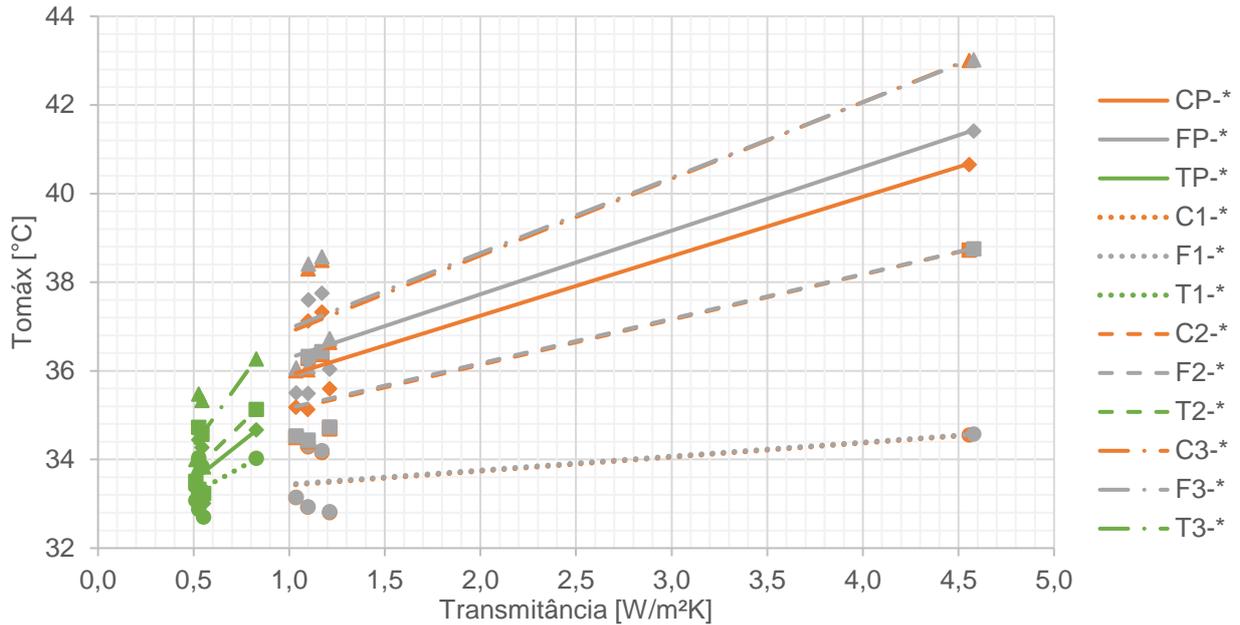
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Sobre a análise da influência da variação da transmitância térmica dos forros em relação à Tomín (**Figura 48** à **Figura 51**), observa-se que quanto maior o valor de transmitância, menores são os valores de temperaturas operativas mínimas, aumentando a necessidade do uso de cargas térmicas de aquecimento. Os maiores valores de Tomín estão associados aos forros de gesso (G), PVC (P), laje (L), laje com gesso (LG) e laje com PVC (LP), que possuem as menores transmitâncias térmicas.

Além disso, nota-se que as linhas de tendência associadas à telha termoacústica (T) possuem maior inclinação, quando comparadas com as linhas de tendência dos modelos com as outras telhas, indicando que as temperaturas operativas mínimas dos modelos com essa telha sofrem maior influência da variação da transmitância térmica dos forros.

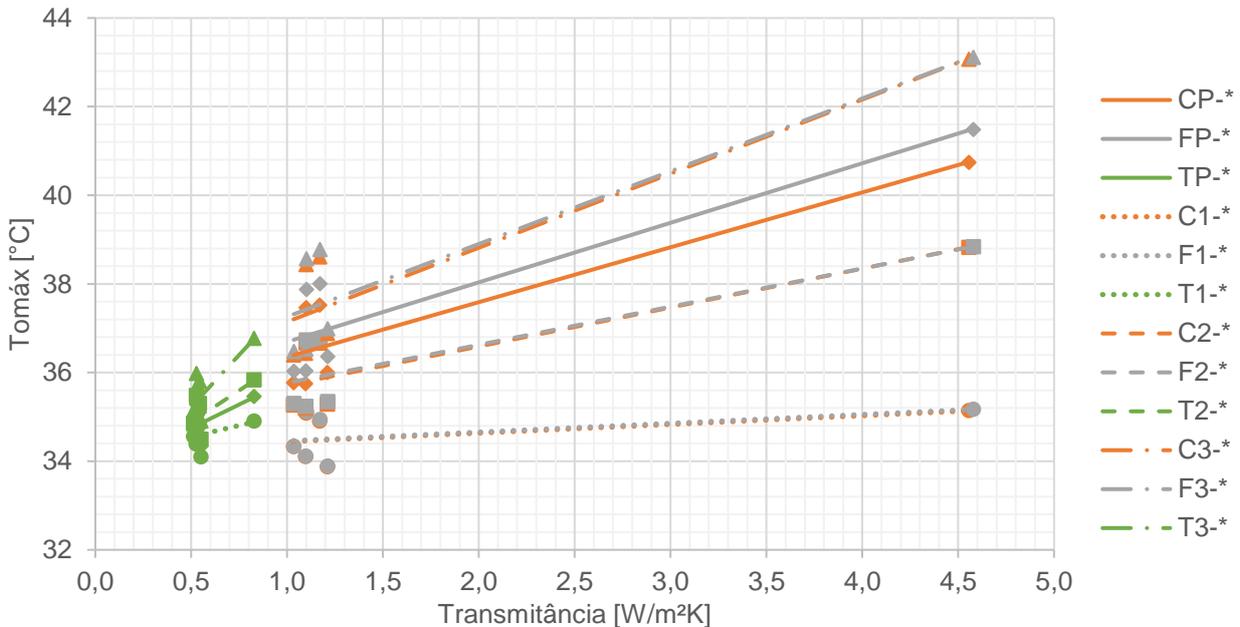
Figura 52 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Oeste / oposta



C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
* Forro variável

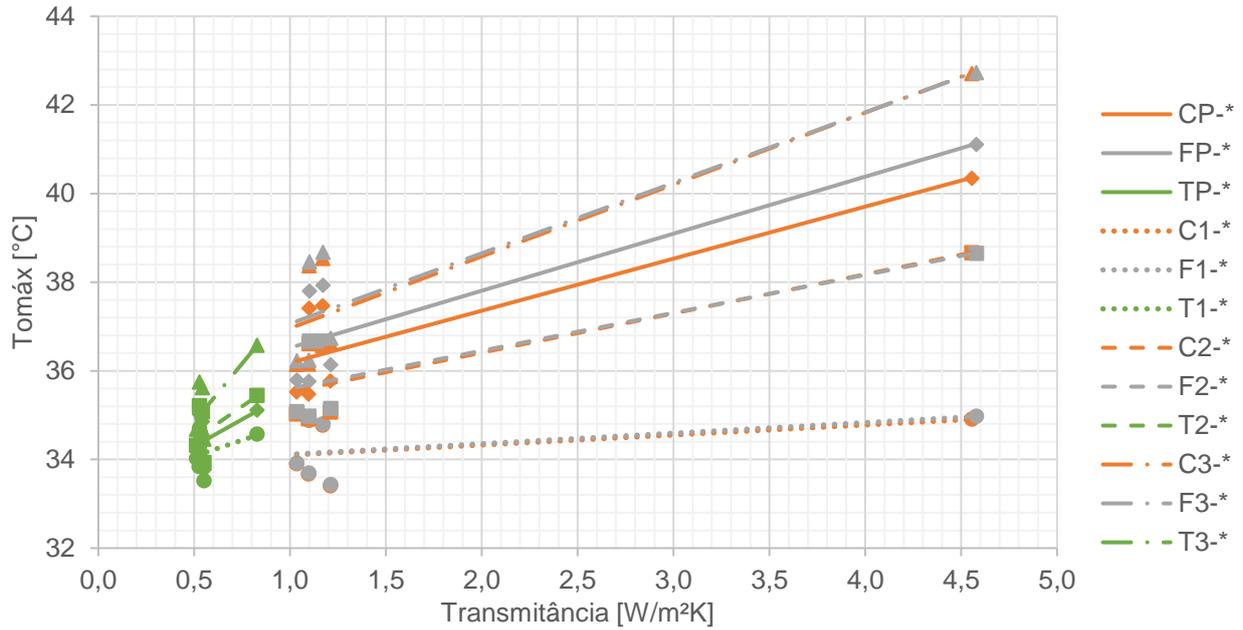
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 53 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Oeste / adjacente



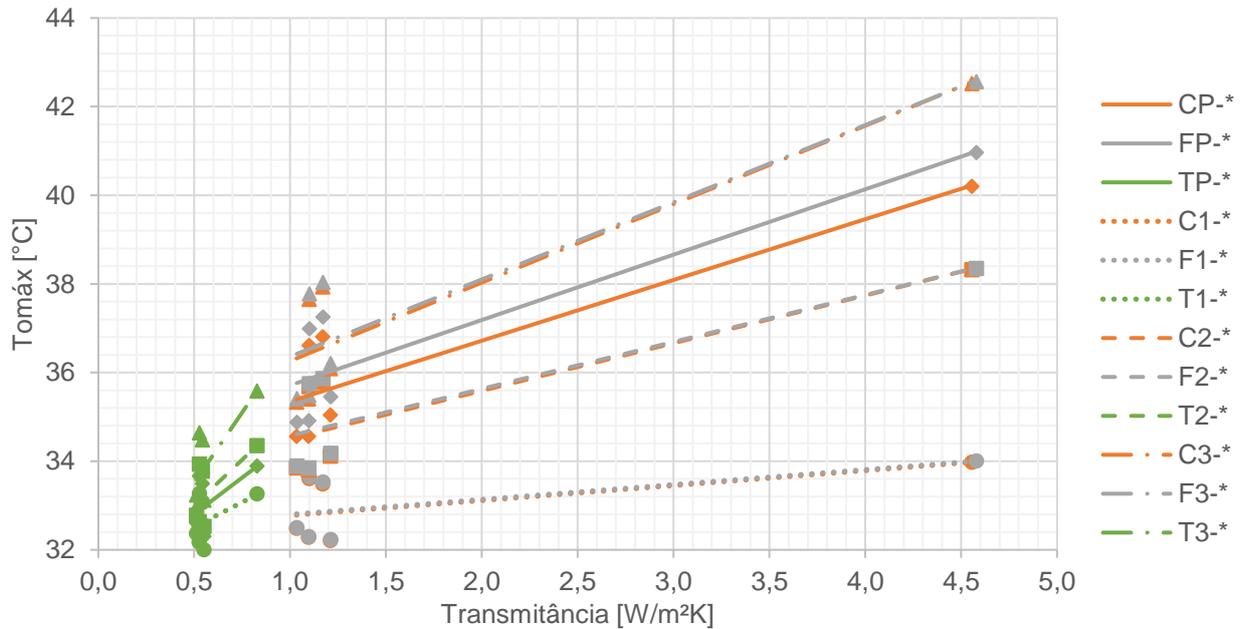
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
* Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 54 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Norte / oposta

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 55 – Influência da transmitância dos forros na Tomáx – Exposição: Norte / adjacente

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

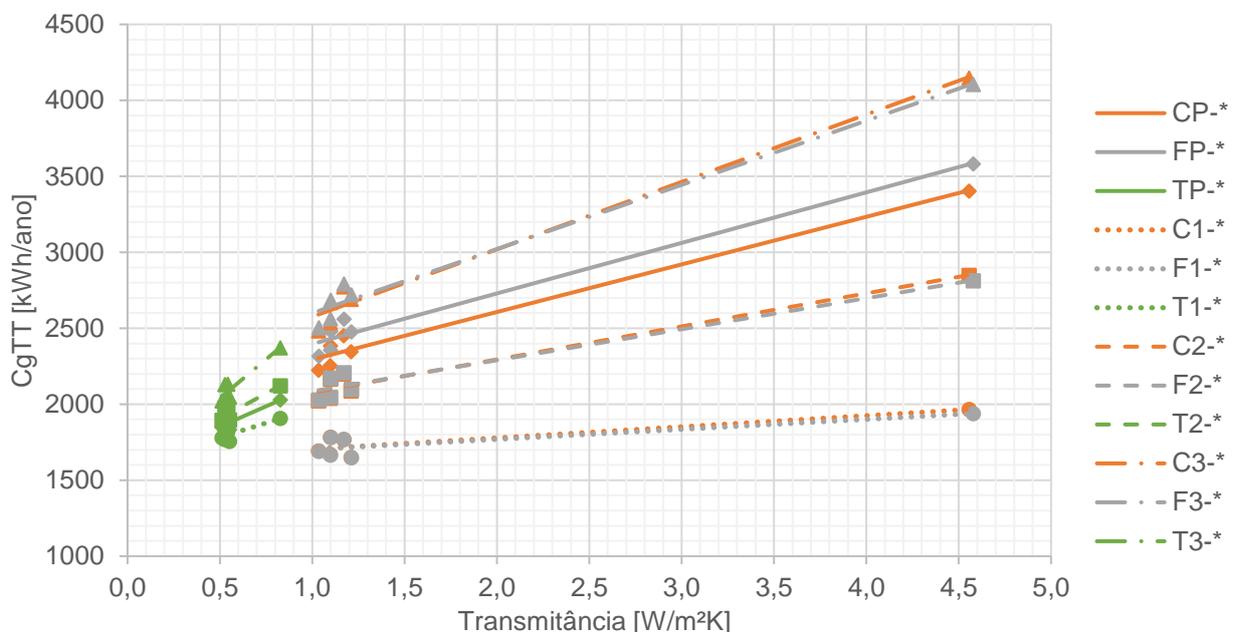
Fonte: Elaborado pela autora

No caso da análise da Tomax de cada modelo (**Figura 52 à Figura 55**), constata-se que quanto maior a transmitância, maior é a temperatura máxima operativa associada ao modelo. Os sistemas de cobertura compostos pela telha termoacústica (T) sofrem maior influência da variação da transmitância térmica, enquanto que os modelos com telha cerâmica ou de fibrocimento na cor branco neve (C1-* e F1-*, respectivamente) sofrem menor influência da variação dessa propriedade.

Em síntese, o aumento da transmitância térmica do forro, causa a diminuição das temperaturas operativas mínimas e a elevação das temperaturas operativas máximas. No primeiro caso ocorre o aumento da carga térmica de aquecimento, e no segundo ocorre o aumento da carga térmica de resfriamento. Dessa forma, eleva-se a CgTT necessária para manter o ambiente confortável.

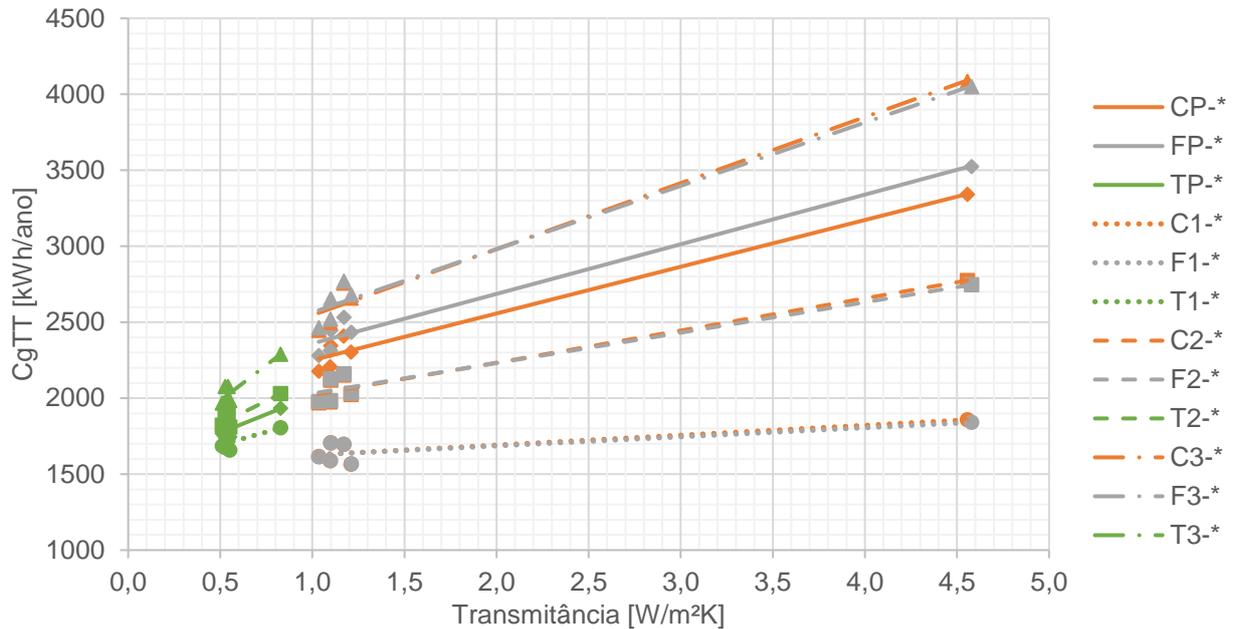
Conforme os resultados apresentados da relação da transmitância térmica com a CgTT dos modelos (**Figura 56 à Figura 59**), observa-se justamente o padrão descrito acima. Ao fixar o tipo de telha e a cor da cobertura, nota-se que os modelos sem forro (S) (maior transmitância térmica) apresentaram os maiores valores de CgTT, quando comparados aos modelos com outros forros (G, P, L, LG e LP).

Figura 56– Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Oeste / oposta



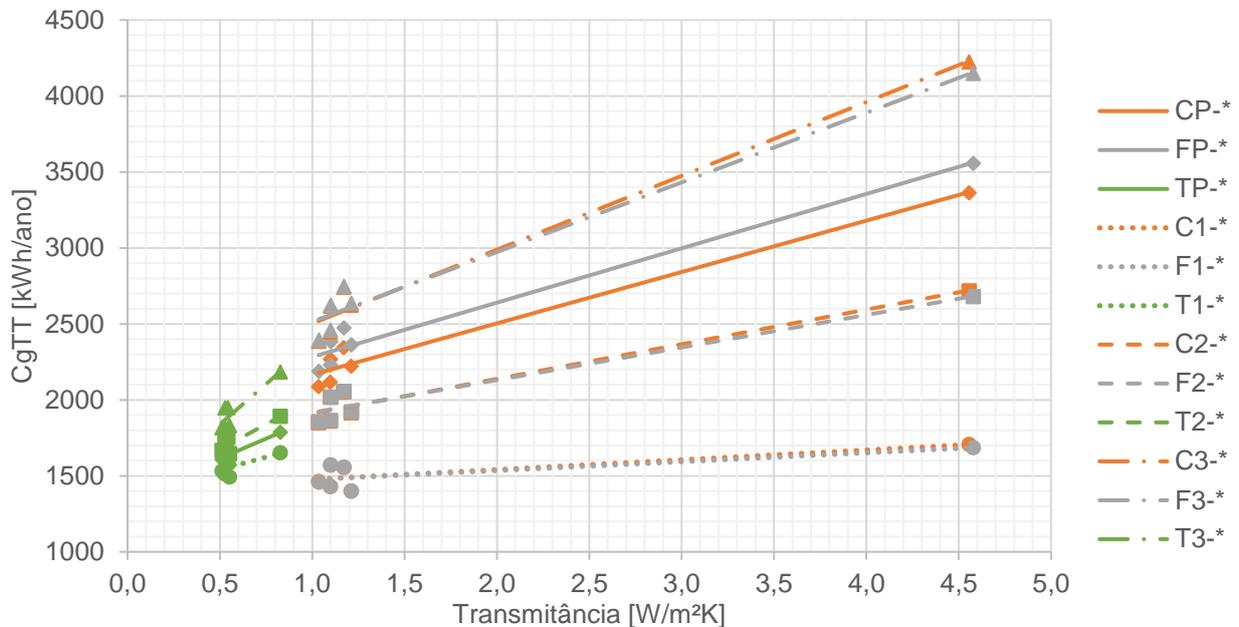
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 57 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Oeste / adjacente

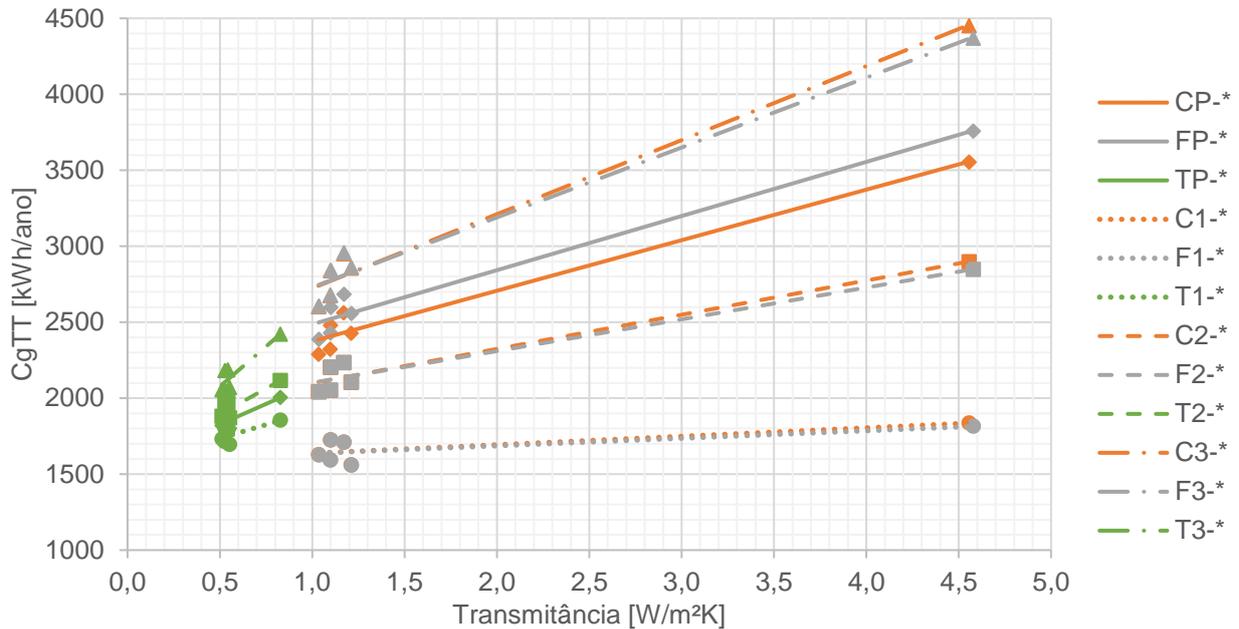
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 58 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Norte / oposta

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 59 – Influência da transmitância dos forros na CgTT – Exposição: Norte / adjacente

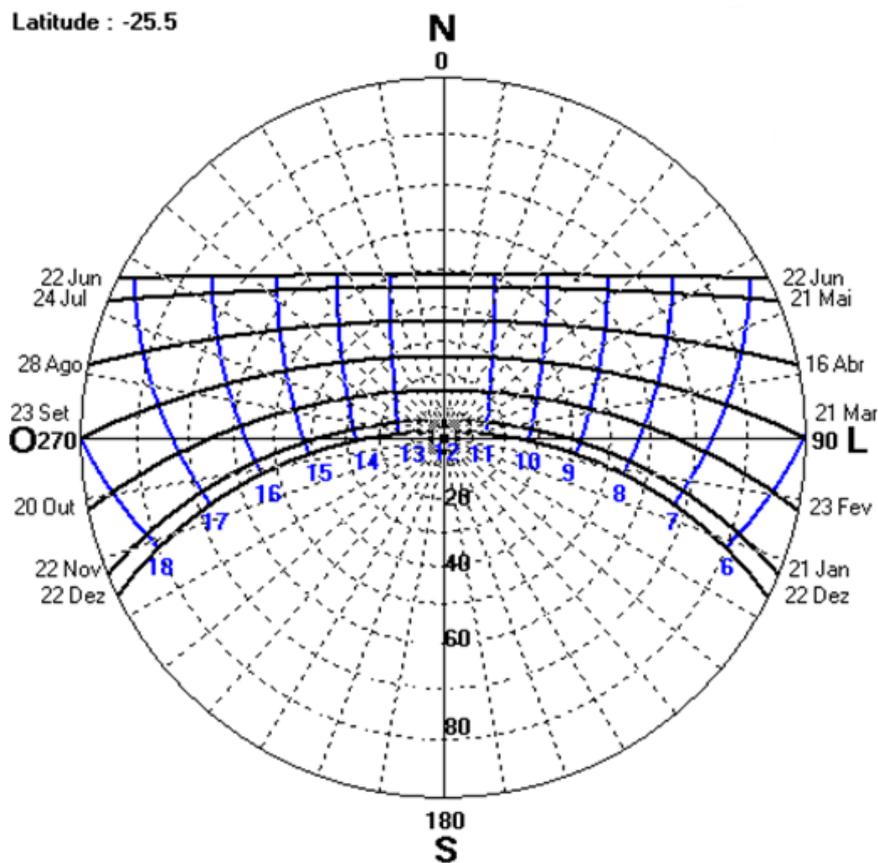
C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto
 * Forro variável

Fonte: Elaborado pela autora

4.6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR NOS MODELOS SIMULADOS

A análise da influência da orientação da janela ou das paredes expostas ao exterior, foi feita com o auxílio do programa SOL-AR, versão 6.2, de uso gratuito, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da UFSC. O programa permite obter a carta solar para uma latitude especificada. Foz do Iguaçu, PR, está localizada na latitude 25°32'49" Sul ou, em coordenadas geográficas decimais, -25.5469. A **Figura 60** representa a carta solar de Foz do Iguaçu, PR.

Figura 60 – Carta solar de Foz do Iguaçu, PR



Fonte: LABEEE, [201-?]

Analisando a carta solar, percebe-se que as fachadas orientadas ao norte quase não recebem radiação solar direta durante o solstício de verão, mas recebem radiação durante o solstício de inverno entre 06:40 e 17:20. As fachadas orientadas ao sul recebem radiação durante o solstício de verão nos períodos de 05:30 às 10:00 e de 14:00 às 18:30, e no solstício de inverno não recebem radiação solar direta. As fachadas orientadas ao leste recebem radiação no solstício de verão de 05:30 às 12:00, e no solstício de inverno de 06:40 às 12:00. As fachadas orientadas ao oeste recebem sol, durante o solstício de verão, das 12:00 às 18:30, e no solstício de inverno das 12:00 às 17:20. Entendendo essas informações, torna-se mais fácil analisar a influência da orientação do modelo no desempenho térmico.

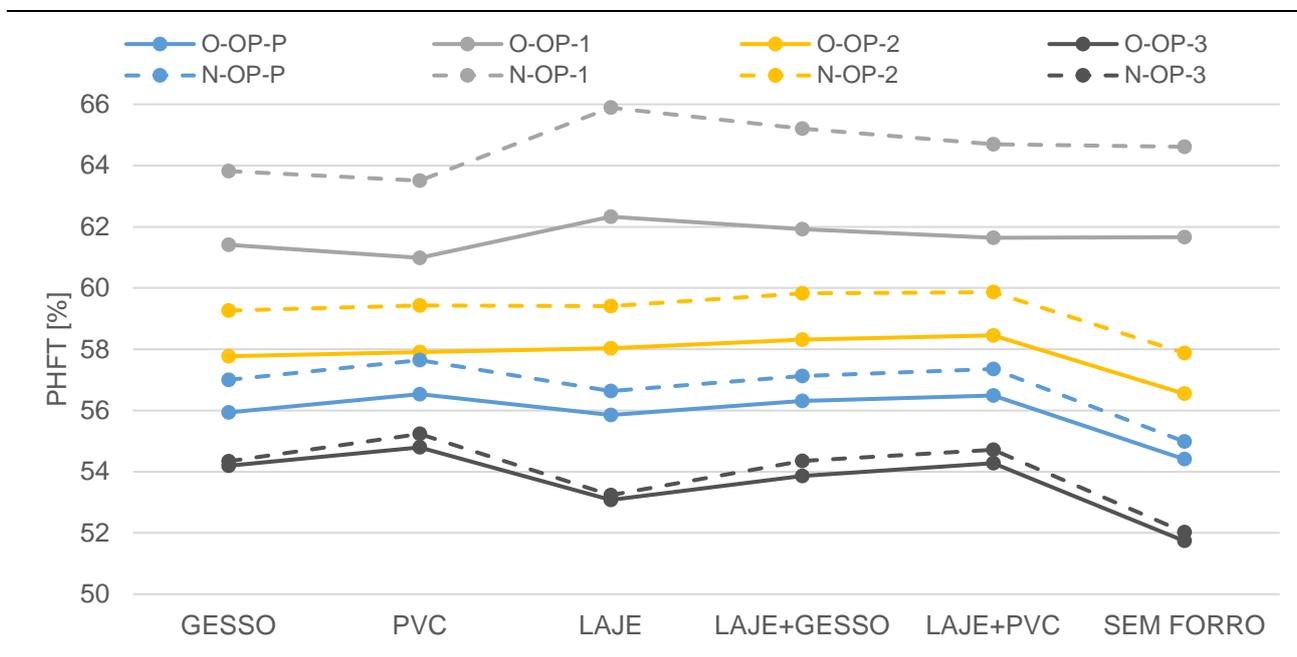
A orientação das janelas dos modelos varia entre norte e oeste, e a forma de exposição varia entre paredes opostas ou adjacentes expostas ao exterior. Assim, são quatro os arranjos de exposição ao sol:

- O-OP: Modelos com janelas orientadas ao oeste, com paredes opostas expostas ao sol, ou seja, paredes expostas: oeste e leste;

- O-AD: Modelos com janelas orientadas ao oeste, com paredes adjacentes expostas ao sol, ou seja, paredes expostas: oeste e norte;
- N-OP: Modelos com janelas orientadas ao norte, com paredes opostas expostas ao sol, ou seja, paredes expostas: norte e sul;
- N-AD: Modelos com janelas orientadas ao norte, com paredes adjacentes expostas ao sol, ou seja, paredes expostas: norte e leste.

A comparação foi feita entre os modelos com orientação solar O-OP e N-OP, O-AD e N-AD, O-OP e O-AD, e por fim, N-OP e N-AD.

Figura 61 – O-OP X N-OP - Telha cerâmica (C)



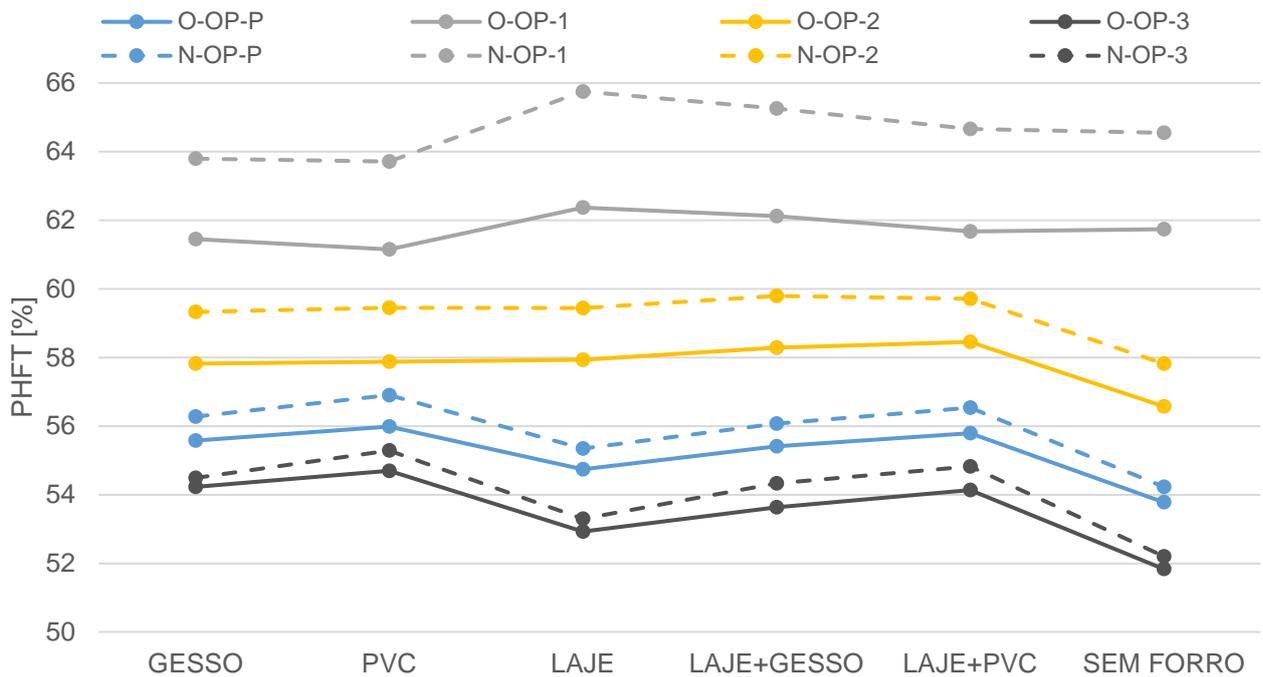
O = oeste; N = norte

OP = opostas; AD = adjacentes

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

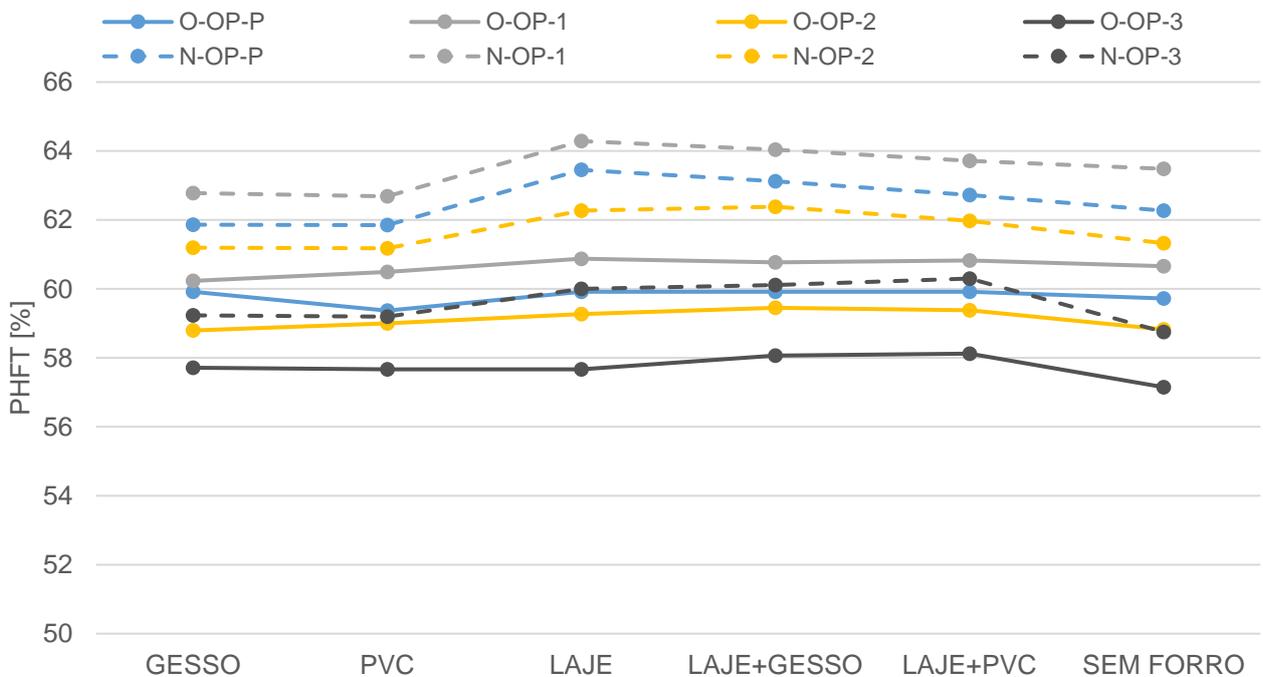
Figura 62 – O-OP X N-OP - Telha de fibrocimento (F)



O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 63 – O-OP X N-OP - Telha termoacústica (T)



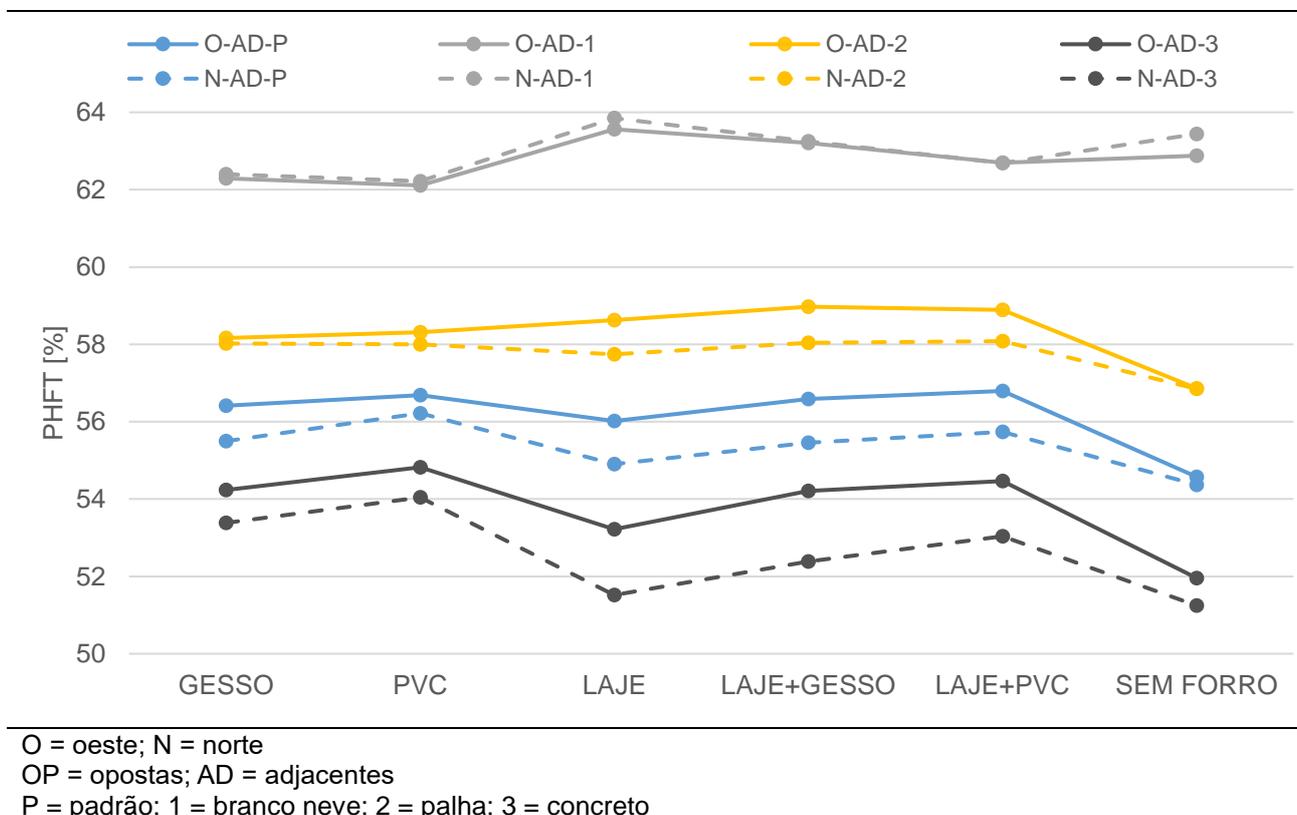
O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se que os modelos com janela orientada ao norte, com as paredes norte e sul expostas ao exterior (N-OP), apresentam resultados superiores de PHFT quando comparados com os modelos com janela orientada ao oeste (parede oeste e leste expostas) (O-OP) – **Figura 61** à 63. Isso ocorre, pois, as fachadas norte e sul recebem menor quantidade de radiação solar durante o solstício de verão, e a janela orientada ao norte evita a incidência solar direta.

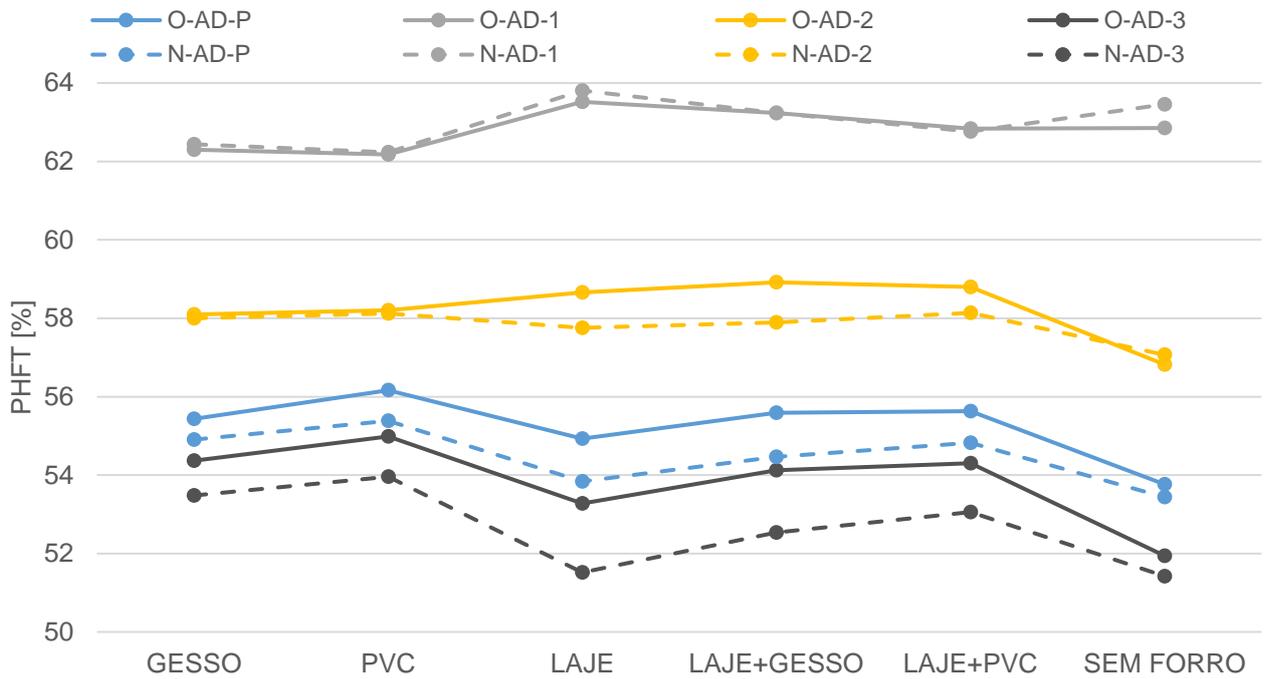
Além disso, os modelos com telha termoacústica (T) nas cores padrão (P), branco neve (1) e palha (2), e paredes norte e sul expostas (N-OP), apresentaram resultados superiores de PHFT, quando comparados com o melhor resultado de PHFT da outra orientação (O-OP). Pode-se explicar esse comportamento por meio da transmitância térmica. Os modelos orientados ao oeste (O-OP) absorvem mais radiação solar durante o dia pelas paredes e janela, no entanto, analisando a cobertura, a telha termoacústica (T) possui baixa transmitância térmica, dificultando a liberação de calor durante a noite. Enquanto que os modelos orientados ao norte (N-OP) recebem menor quantidade de calor nas paredes e janela durante o dia, diminuindo os ganhos térmicos do APP.

Figura 64 – O-AD X N-AD - Telha cerâmica (C)



Fonte: Elaborado pela autora

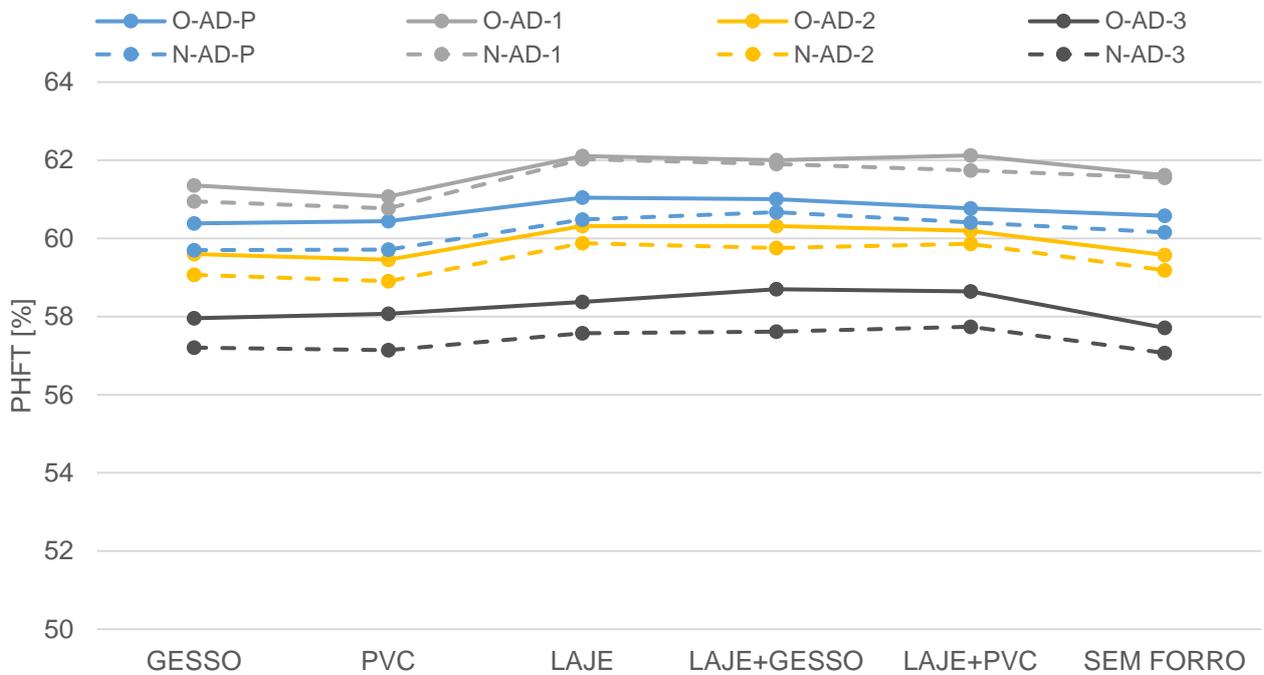
Figura 65 – O-AD X N-AD - Telha de fibrocimento (F)



O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 66 – O-AD X N-AD - Telha termoacústica (T)

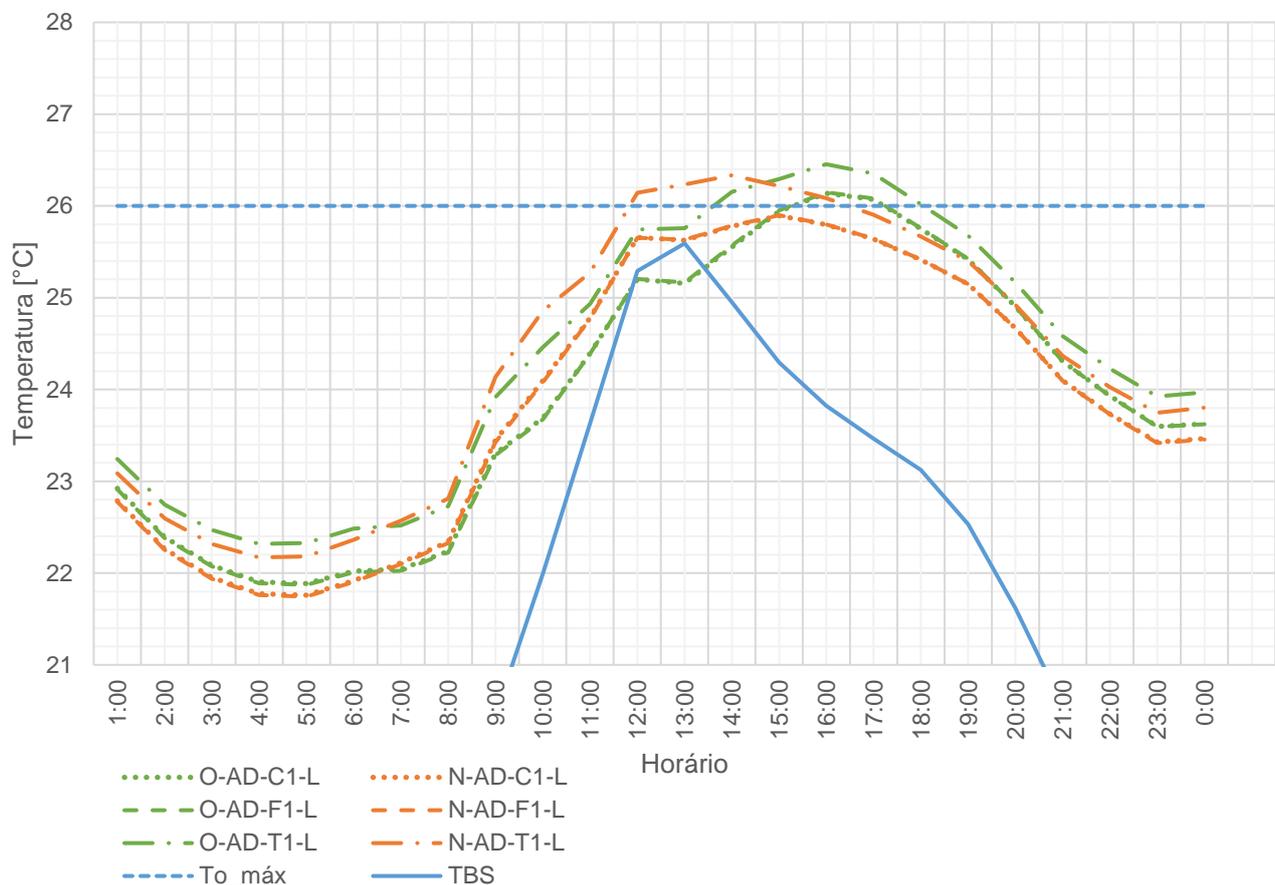


O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se que os modelos com janela orientada ao oeste, com as paredes oeste e norte expostas ao exterior (O-AD), apresentam resultados superiores de PHFT, quando comparados com os modelos com janela orientada ao norte (paredes expostas: norte e leste) (N-AD), exceto nos modelos com telha cerâmica (C) ou de fibrocimento (F), na cor branco neve (1), para os quais a janela orientada ao norte (N-AD) apresentou resultados superiores de desempenho térmico – **Figura 64** à **66**. Para entender esses resultados, é necessário analisar as temperaturas operativas dos modelos no solstício de verão (22 de dezembro) (**Figura 67** e **Figura 68**), data na qual a incidência de raios solares é maior no Hemisfério Sul.

Figura 67 – Temperaturas operativas O-AD X N-AD ($\alpha=0,102$)



O = oeste; N = norte

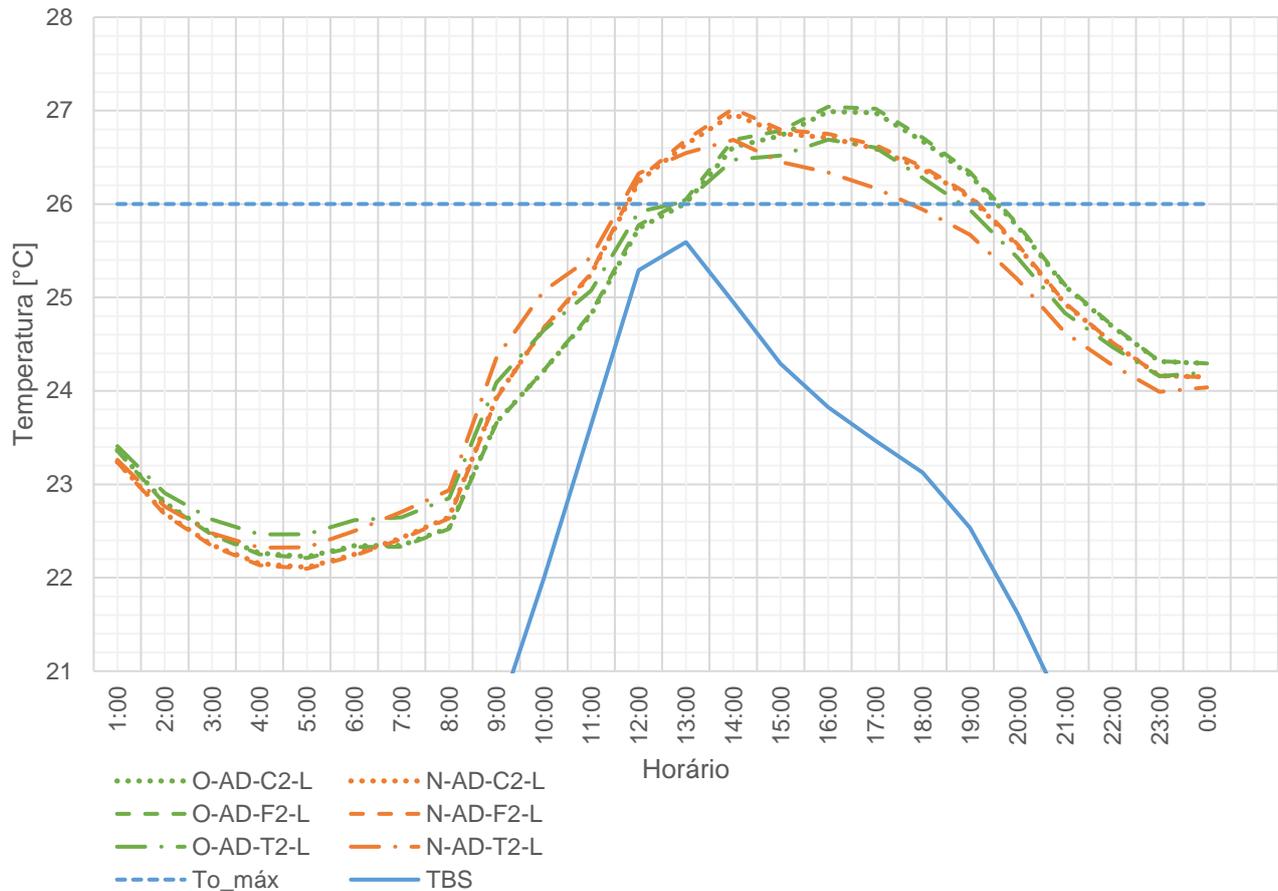
OP = opostas; AD = adjacentes

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 68 – Temperaturas operativas O-AD X N-AD ($\alpha=0,367$)

O = oeste; N = norte

OP = opostas; AD = adjacentes

C = cerâmica; F = fibrocimento; T = termoacústica

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

G = gesso; P = PVC; L = laje; LG = laje com gesso; LP = laje com PVC; S = sem forro

Fonte: Elaborado pela autora

Os modelos com janelas orientadas ao norte (N-AD), recebem radiação solar na parede leste na parte da manhã, e os modelos com janelas orientadas ao oeste (O-AD) recebem radiação solar na parede oeste na parte da tarde. Assim, os modelos orientados ao norte (N-AD) atingem as temperaturas operativas máximas antes dos modelos orientados ao oeste (O-AD).

Além disso, os modelos orientados ao norte (N-AD) resfriam de forma mais lenta do que os modelos orientados ao oeste (O-AD), pode-se notar isso observando os gráficos logo após a temperatura operativa máxima atingida por cada modelo. Nos modelos orientados ao norte (N-AD) a inclinação do gráfico é menor do que nos modelos orientados ao oeste (O-AD). Isso ocorre, pois, apesar dos modelos orientados ao norte (N-AD) pararem de receber radiação solar direta nas paredes mais cedo, e começarem a liberar calor antes do que os modelos orientados ao oeste (O-AD), o ambiente externo continua com altas

temperaturas, dificultando as trocas de calor com o exterior e tornando a liberação de calor lenta.

Nos modelos com telha cerâmica (C) ou de fibrocimento (F), na cor branco neve (1), os modelos orientados ao norte (N-AD) apresentaram temperaturas operativas máximas inferiores às temperaturas operativas máximas dos modelos orientados ao oeste (O-AD), nesse caso, a absorvância das telhas diminui os ganhos térmicos pela cobertura para os dois modelos, porém, a janela orientada ao oeste é um agravante no aumento das temperaturas operativas máximas dos modelos orientados ao oeste (O-AD).

Dessa forma, os modelos orientados ao oeste (O-AD) apresentam resultados de PHFT superiores aos observados nos modelos orientados ao norte (N-AD), conforme **Figura 64** à **66**, exceto para as telhas cerâmica (C) e de fibrocimento (F) na cor branco neve (1), para as quais os modelos orientados ao norte (N-AD) apresentaram resultados superiores de PHFT, quando comparados aos modelos na outra orientação (O-AD).

Figura 69 – O-OP X O-AD - Telha cerâmica (C)

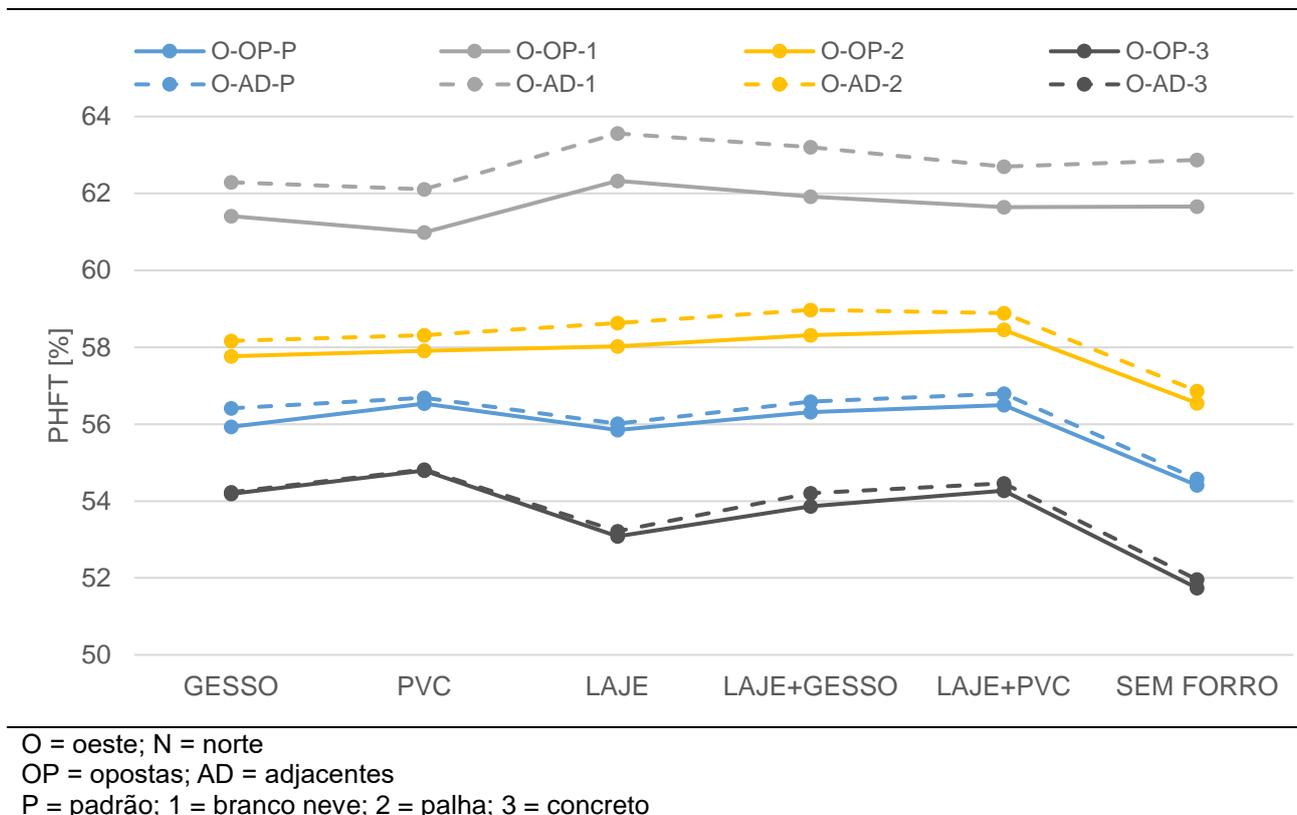
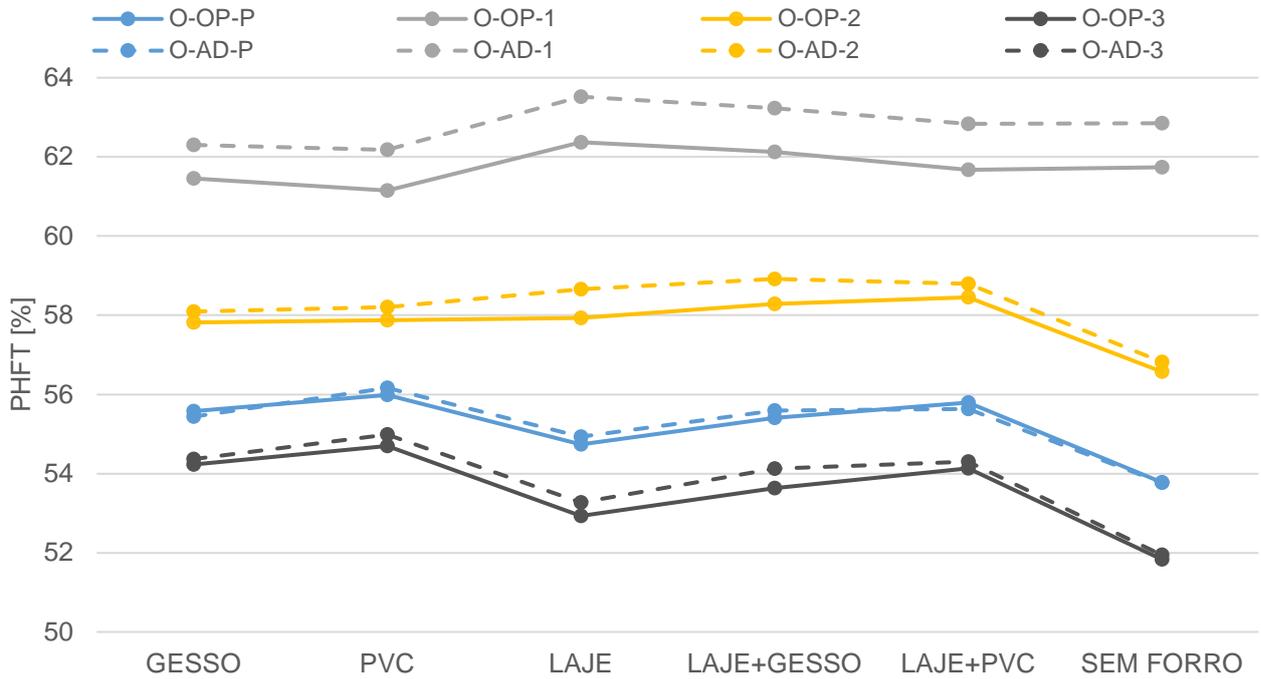


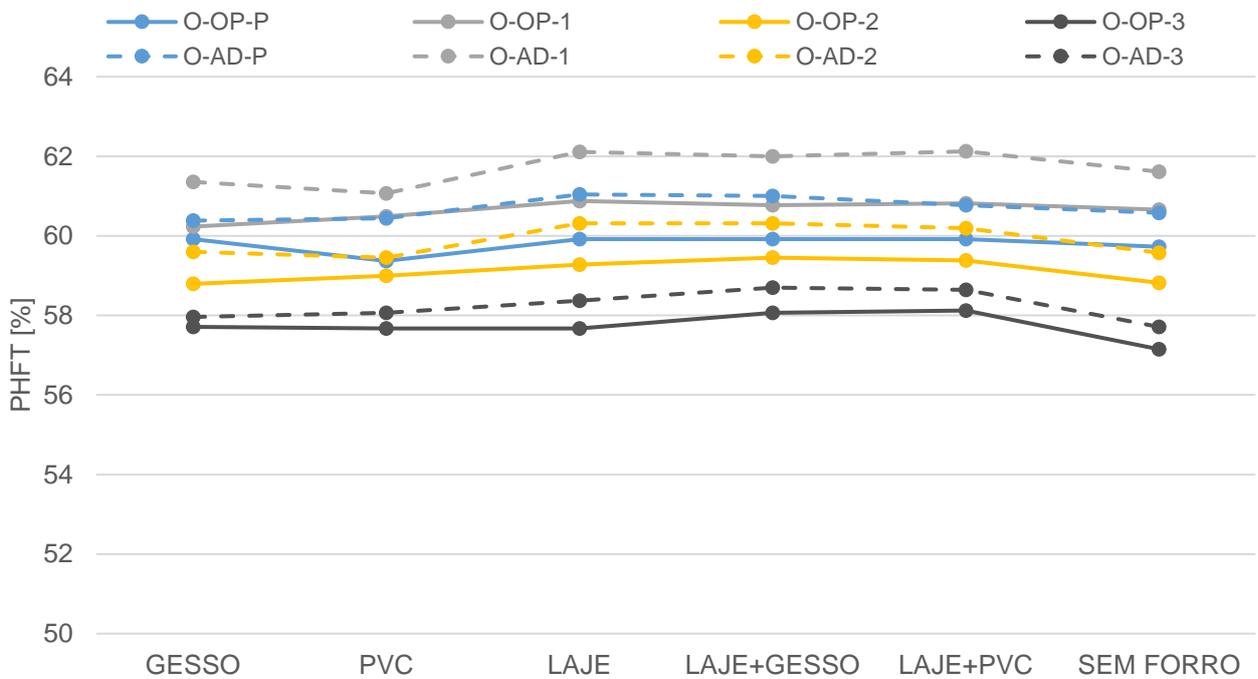
Figura 70 – O-OP X O-AD - Telha de fibrocimento (F)



O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 71 – O-OP X O-AD - Telha termoacústica (T)



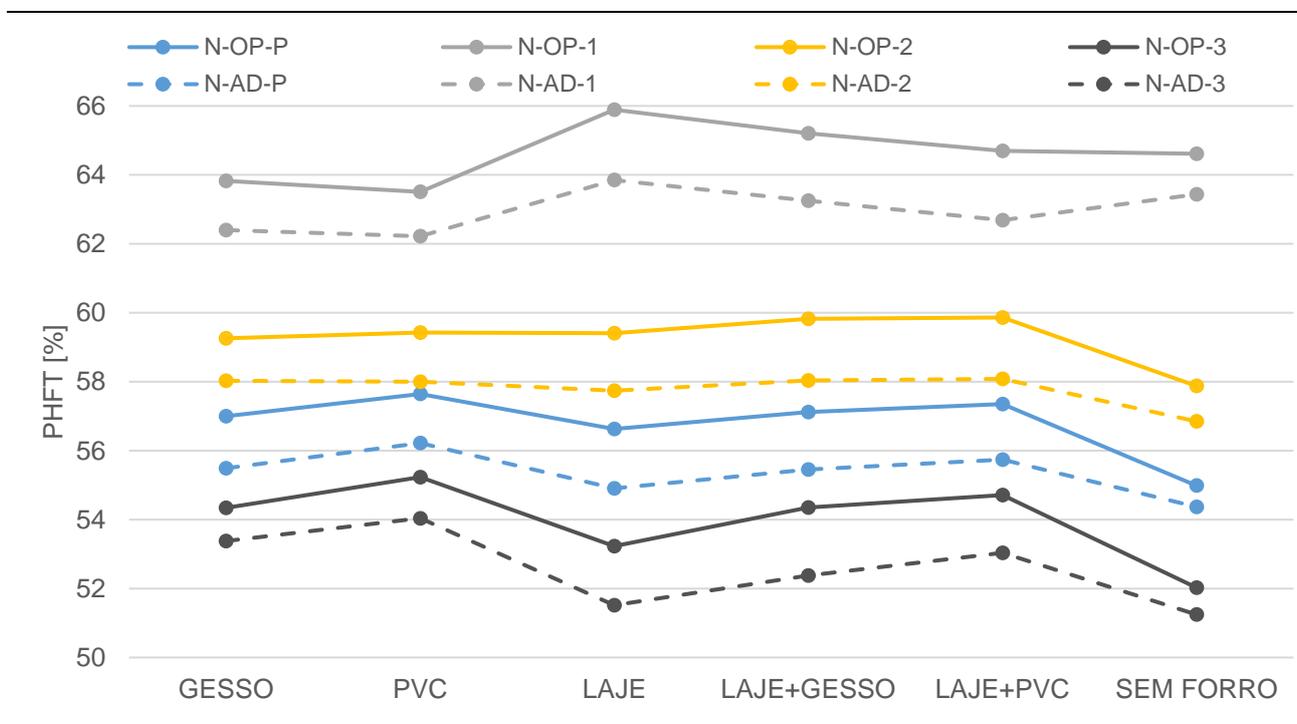
O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Pode-se observar que os modelos com janela orientada ao oeste, com as paredes oeste e norte expostas ao exterior (O-AD), apresentaram resultados superiores de desempenho térmico, quando comparados com os modelos com janela orientada ao oeste (parede oeste e leste expostas) (O-OP) – **Figura 69 à 71**.

As fachadas leste e oeste recebem maior quantidade de radiação solar durante o verão, enquanto que as fachadas norte e sul sofrem menor incidência. Assim, os modelos com exposição das paredes leste e oeste (O-OP) absorvem uma quantidade maior de calor, quando comparados com os modelos que possuem as paredes oeste e norte expostas (O-AD), elevando as temperaturas internas, e diminuindo o PHFT.

Figura 72 – N-OP X N-AD - Telha cerâmica (C)



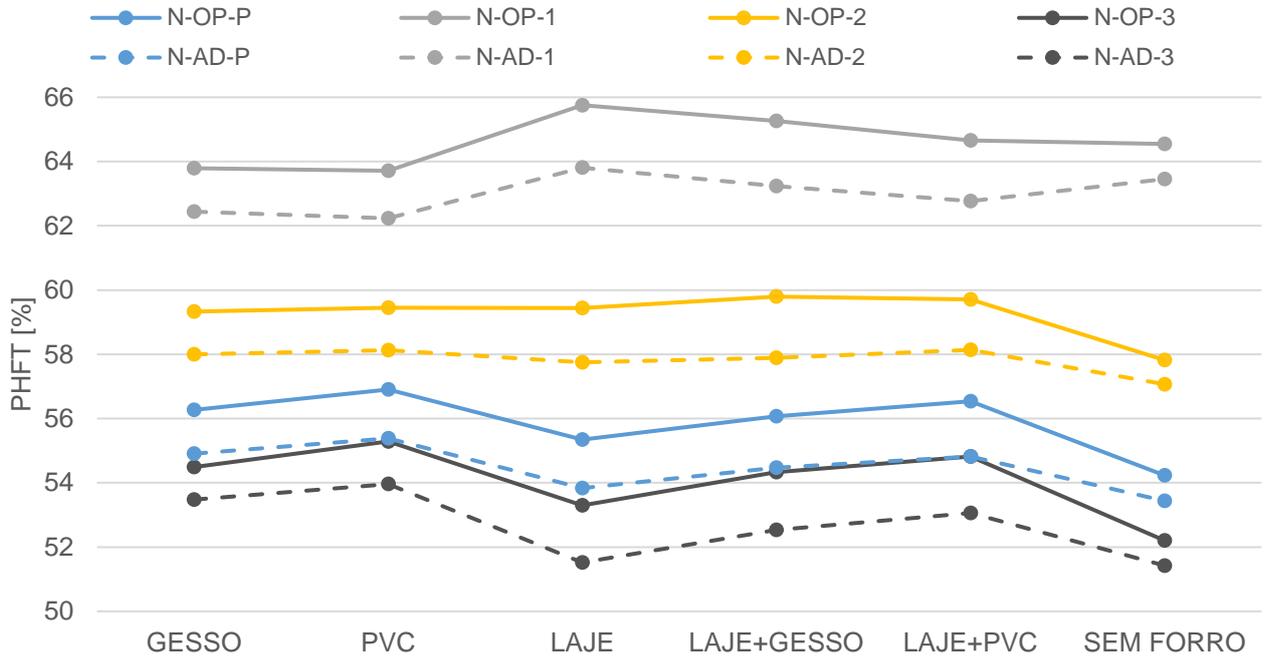
O = oeste; N = norte

OP = opostas; AD = adjacentes

P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

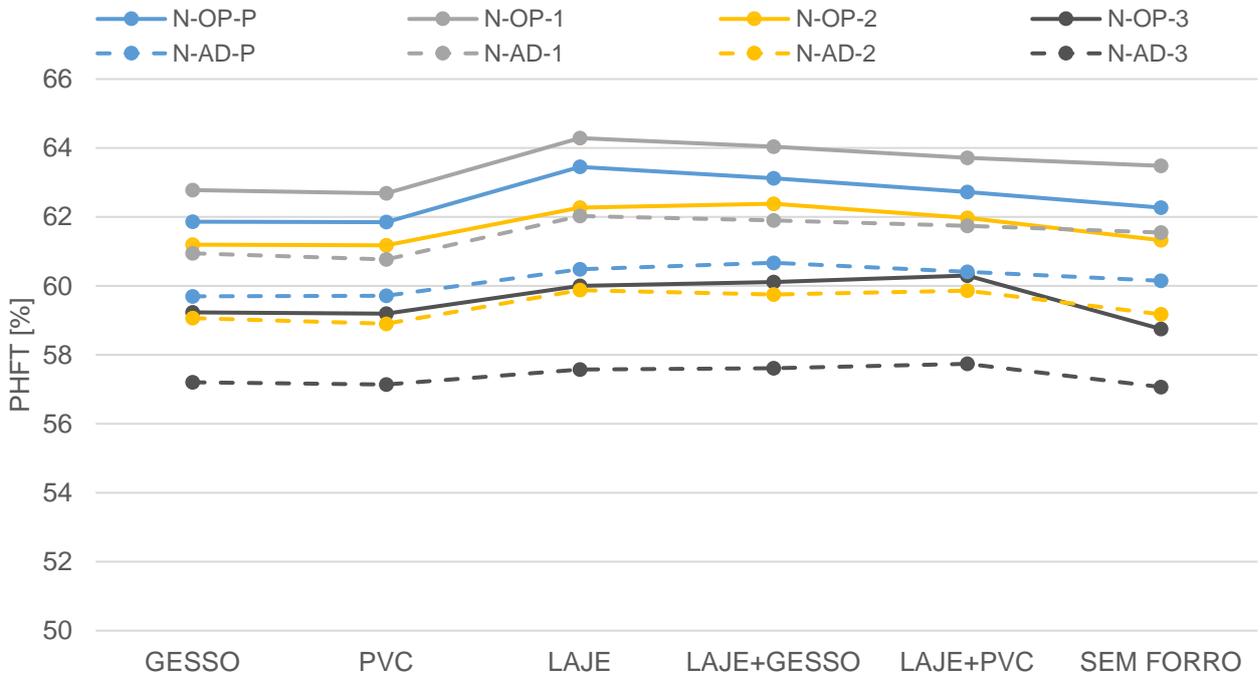
Figura 73 – N-OP X N-AD - Telha de fibrocimento (F)



O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 74 – N-OP X N-AD - Telha termoacústica (T)



O = oeste; N = norte
 OP = opostas; AD = adjacentes
 P = padrão; 1 = branco neve; 2 = palha; 3 = concreto

Fonte: Elaborado pela autora

Pode-se observar que os modelos com janela orientada ao norte, com as paredes norte e sul expostas ao exterior (N-OP), apresentam resultados superiores de desempenho térmico, quando comparados com os modelos com janela orientada ao norte (parede norte e leste expostas) (N-AD) – **Figura 72 à 74**.

Como dito anteriormente, as fachadas leste e oeste recebem maior quantidade de radiação solar do que as fachadas norte e sul. Sendo assim, o modelo com exposição da parede leste (N-AD) absorve maior quantidade de calor do que o modelo com a parede sul exposta (N-OP), conseqüentemente as temperaturas operativas máximas aumentam, diminuindo o PHFT do modelo.

4.7 COBERTURAS INDICADAS PARA AMBIENTES MULTIFUNCIONAIS EM FOZ DO IGUAÇU, PR

Após a análise dos resultados, deve-se esclarecer que os modelos com os maiores valores de PHFT nem sempre estão associados a resultados de temperaturas operativas máxima e mínima dentro dos limites indicados, não atingindo, nesse caso, o nível mínimo de desempenho térmico recomendado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). Assim, a apresentação, nesta seção, dos sistemas de coberturas mais adequados para Foz do Iguaçu-PR, é feita considerando os critérios de desempenho térmico determinados pela norma.

Diante da análise dos resultados, observa-se que os tipos de coberturas que mais influenciam nas condições de conforto térmico para o caso de ambientes multifuncionais, localizados em Foz do Iguaçu-PR, atingindo o nível superior de desempenho, são: telha cerâmica na cor branco neve, com laje (N-AD-C1-L); telha de fibrocimento na cor branco neve, com laje (N-AD-F1-L); e telha de fibrocimento na cor branco neve, com laje e gesso (N-AD-F1-LG), todos com janelas orientadas ao norte, e paredes norte e leste expostas à radiação solar.

Em segundo lugar, os modelos com as coberturas que atingiram o nível intermediário de desempenho térmico, são compostas por: telha cerâmica na cor branco neve, com laje (N-OP-C1-L); telha cerâmica na cor branco neve, com laje e gesso (N-OP-C1-LG); telha de fibrocimento na cor branco neve, com laje (N-OP-F1-L); e telha de fibrocimento na cor branco neve, com laje e gesso (N-OP-F1-LG), todos com janelas orientadas ao norte, com paredes norte e sul expostas à radiação solar; e, por fim, telha cerâmica na cor branco neve, com laje e gesso (N-AD-C1-LG), com janela orientada ao

norte (paredes norte e leste expostas à radiação solar). O resumo das indicações para aplicação, em ambientes multifuncionais em Foz do Iguaçu, está na **Tabela 35**.

Tabela 35 – Resumo das indicações para aplicação no clima de Foz do Iguaçu

Tipo de Telha	Forro	Cor das Telhas			
		P–Padrão	1–Branco neve	2–Palha	3–Concreto
C–Cerâmica	G – Gesso		-	-	
	P – PVC		-	-	
	L – Laje	+	+++ ¹	+	+
	LG – Laje com gesso	+	++ ²	+	+
	LP – Laje com PVC	+	+	+	+
	S – Sem forro	-	-	-	-
F–Fibrocimento	G – Gesso		-	-	-
	P – PVC		-	-	
	L – Laje	+	+++ ¹	+	+
	LG – Laje com gesso	+	+++ ¹	+	+
	LP – Laje com PVC	+	+	+	+
	S – Sem forro	-	-	-	-
T–Termoacústica	G – Gesso	+	+	+	+
	P – PVC	+	+	+	+
	L – Laje	+	+	+	+
	LG – Laje com gesso	+	+	+	+
	LP – Laje com PVC	+	+	+	+
	S – Sem forro	+	+	+	+

+++ Indicação com o melhor desempenho térmico;

++ Indicação com desempenho térmico intermediário;

+ Indicação com desempenho térmico mínimo;

- Não indicado;

¹ Indicado na orientação N-AD;

² Indicado na orientação N-OP ou N-AD;

Orientação da janela: N = norte;

Exposição das paredes: AD = adjacentes, OP = opostas.

Fonte: Elaborado pela autora

Esses modelos atingiram os níveis de desempenho intermediário e superior por uma combinação de características. Primeiramente, eles possuem valores de absorvância muito baixos para o telhado e estão com as janelas orientadas ao norte, reduzindo a absorção de radiação solar pela cobertura e pela janela, aumentando o PHFT do APP. Além disso, as coberturas com esses materiais (telha cerâmica (C) ou de

fibrocimento (F), combinada com laje (L) ou laje e gesso (LG)) possuem valores altos de capacidade térmica, aumentando as temperaturas operativas mínimas (Tomín) e diminuindo as temperaturas operativas máximas (Tomáx).

Além disso, todos os sistemas de coberturas compostos por laje (L) e suas combinações (laje e gesso (LG), ou laje e PVC (LP)), ou por telhas termoacústicas (T), atingiram o nível mínimo de desempenho térmico recomendado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), sendo também indicados para aplicação em ambientes multifuncionais em Foz do Iguaçu-PR. Por outro lado, não é indicada a aplicação de coberturas com telha cerâmica ou de fibrocimento sem forro (C*-S e F*-S, respectivamente).

4.8 RECOMENDAÇÕES DA NBR 15575-5 PARA O SISTEMA DE COBERTURA E OS DESEMPENHOS TÉRMICOS ATINGIDOS PELOS MODELOS

Esses resultados confirmam que os valores de referência de transmitância térmica (**Tabela 4**), recomendados pela NBR 15575-5 (ABNT, 2021b), são bons indicativos de atendimento do desempenho térmico mínimo. Não foram seguidas as indicações nos modelos com telha cerâmica ou de fibrocimento sem forro ($U = 4,56\text{W/m}^2\text{K}$, e $U = 4,58\text{W/m}^2\text{K}$, respectivamente), resultando em modelos com desempenho térmico abaixo do desempenho mínimo.

Na maioria dos modelos com telha cerâmica ou de fibrocimento, combinados com gesso ou PVC ($U < 1,2\text{W/m}^2\text{K}$ para todos os modelos), o desempenho mínimo também não foi atendido, apesar das propriedades térmicas dos modelos atenderem aos valores de referência indicados na NBR 15575-5 (ABNT, 2021b). Nota-se que esses modelos estão associados aos menores valores de capacidades térmicas, sendo um indicativo de que essa propriedade é importante para determinar o atendimento ou não do nível mínimo de desempenho térmico.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho parte do questionamento da influência do sistema de cobertura no desempenho térmico e energético de um ambiente multifuncional, em uma habitação unifamiliar na cidade de Foz do Iguaçu-PR. Considerando que ambientes confortáveis termicamente aumentam o rendimento do indivíduo no desenvolvimento de suas atividades, é necessário ter cautela ao definir o sistema de cobertura, responsável por 80% do ganho térmico em tipologias térreas.

A análise do desempenho térmico dos modelos foi realizada com base na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), por meio de simulações computacionais com o programa *EnergyPlus*. Foram simulados sistemas de coberturas com variação de cores (cor padrão de cada telha, branco neve, palha e concreto), telhas (cerâmica, de fibrocimento e termoacústica), forros (gesso, PVC, laje, laje com gesso, laje com PVC e sem forro), e paredes expostas ao sol.

Conforme os resultados apresentados, quanto maior a absorvância da cor analisada, menor é o desempenho térmico do modelo. Os modelos com os maiores valores de transmitância térmica apresentaram os menores resultados de PHFT (Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa) ao elevar a absorvância, nesses casos a absorção da radiação solar é muito alta, e por possuírem alta transmitância térmica a maior parte desse calor é transmitido para o interior do APP (Ambiente de Permanência Prolongada).

No caso da telha termoacústica, nota-se menor influência da variação da absorvância sobre os resultados de PHFT. Pode-se explicar esse comportamento pela alta resistência térmica associada à telha termoacústica, que diminui a transferência térmica por condução nos sistemas compostos por essa telha.

Para o menor valor de absorvância, percebe-se que sistemas de cobertura com transmitâncias térmicas mais elevadas possuem PHFT maior do que os sistemas com altas resistências térmicas, nesse caso, coberturas com valores altos de resistência térmica podem dificultar a liberação de calor do APP durante a noite, elevando a temperatura interna e diminuindo o PHFT.

Em relação à variação das telhas, quanto maior a transmitância térmica, menores são os valores de PHFT associados, exceto para os modelos simulados com as telhas na cor branco neve, onde quanto maior a transmitância, maior é o PHFT. Entende-se que esses comportamentos ocorrem, pois, quanto maior a transmitância, maior é a

transferência de calor para o interior do APP durante o dia. No caso dos sistemas de cobertura compostos por telhas na cor branco neve, a absorvência dessa cor reflete a maior parte do calor durante o dia, além disso, a alta transmitância térmica auxilia na liberação de calor durante a noite.

Enquanto que, no caso dos modelos com altos valores de transmitância térmica e absorvência, ocorre a elevada absorção de radiação solar, e elevada transferência de calor para o interior do APP durante o dia. Durante a noite, apesar da alta transmitância térmica auxiliar na liberação de calor para o exterior, o elevado ganho térmico durante o dia torna a liberação de calor insuficiente.

Assim, nos modelos simulados com as cores padrão, palha e concreto, a telha termoacústica (menor transmitância térmica) apresenta os maiores valores de PHFT, enquanto que os modelos simulados com a telha cerâmica e de fibrocimento (maiores transmitâncias térmicas) apresentam os menores valores de PHFT.

Os resultados observados ao comparar o desempenho térmico de diferentes forros são semelhantes aos padrões observados na variação de telhas. Conforme os resultados apresentados para a variação de forros, nota-se que quanto maior é a transmitância térmica, menor é o PHFT, exceto para os modelos com telhas na cor branco neve, nos quais a variação de transmitância não alterou o PHFT de forma significativa.

Os modelos sem forro (maior transmitância térmica) apresentaram os menores resultados de PHFT; os outros modelos de forros (gesso, PVC, laje, laje com gesso e laje com PVC) possuem transmitâncias térmicas semelhantes e apresentaram resultados próximos para PHFT. Além disso, nota-se que os modelos com janela orientada ao norte, com as paredes norte e sul ou norte e leste expostas ao exterior, apresentaram resultados superiores de desempenho térmico, quando comparados com os modelos orientados de outras formas.

Todos os modelos com laje, laje e gesso ou laje e PVC, bem como todos os modelos simulados com telha termoacústica atingiram o desempenho mínimo requerido pela norma. Nas simulações com telha cerâmica ou de fibrocimento sem forro, nenhum dos modelos atingiu o desempenho mínimo.

Na análise da influência da cobertura no desempenho térmico de uma unidade habitacional, realizada por ALVES (2022), os melhores resultados foram associados aos sistemas de coberturas com telha termoacústica e com laje. Confirmando que a aplicação de laje e de telha termoacústica nas coberturas resulta em bom

desempenho térmico, e indicando que independente de analisar uma unidade habitacional ou célula, os resultados possuem recomendações semelhantes.

Além disso, os modelos com janela orientada ao norte, e paredes norte e sul ou norte e leste expostas à radiação solar, com telha cerâmica ou de fibrocimento na cor branco neve, combinadas com laje ou laje e gesso, atingiram os melhores desempenhos térmicos, sendo portanto, os modelos mais recomendados para Foz do Iguaçu-PR.

Deve-se esclarecer que o programa utilizado para realizar as simulações computacionais não considera a porosidade das telhas, característica que permite a absorção de água e mantém a telha úmida, durante o período noturno e no início do dia. A evaporação da umidade presente nas telhas consome parte da energia térmica que chegaria ao interior do APP, auxiliando no controle de temperaturas internas (TEIXEIRA, 2022).

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se analisar um maior número de materiais, especificamente em termos de telhas, forros e lajes, com propriedades térmicas distintas, de forma a obter uma maior base de dados, que confirmem as tendências observadas. Esses dados, poderiam possibilitar o desenvolvimento de um modelo matemático, relacionando as propriedades térmicas dos materiais e o desempenho térmico observado nos modelos.

Outra possibilidade seria o acompanhamento por meio de medições *in loco* de tipologias, com emprego de diferentes tipos de telhas, de forma a analisar o que ocorre em relação às temperaturas internas.

Poderia ser realizada também uma análise da temperatura interna e do consumo energético da mesma célula, de forma a verificar o que ocorre com o uso dos diferentes tipos de cobertura ao longo do ano.

Além disso, poderia ser desenvolvida uma análise de viabilidade econômica, comparando os custos dos sistemas de cobertura analisados, com a economia de energia elétrica gerada por eles, e apresentar os modelos mais viáveis energética e economicamente, para aplicação no clima de Foz do Iguaçu-PR.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, L. da S. **Influência da Cobertura no Desempenho Térmico de uma Tipologia Habitacional em Foz do Iguaçu-PR**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura). Foz do Iguaçu: UNILA, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/7005>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Método de cálculo (ISSO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021a.
- ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas. Rio de Janeiro, 2021b.
- ABNT. **TR 15575-1-1**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1-1: Base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro, 2021c.
- DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. Campinas, SP: [s.n.], 2008. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.429167>
- DORNELLES, K. A. **Biblioteca de absortância de telhas**: base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios. São Carlos: IAU/USP, 2021. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/571>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Nota Técnica EPE 030/2018, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano Base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

EPE. **Balço Energético Nacional 2022**: Ano Base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

FOZ DO IGUAÇU. **Código de Obras e Edificações do Município de Foz do Iguaçu**: Lei complementar nº 3, data: 16 de julho de 1991. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-foz-do-iguacu-pr>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE), UFSC. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_CompontesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LABEEE. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa EnergyPlus – versão 9.0.1**. Florianópolis: LabEEE, 2019. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_GroundDomain_E%2Bversao9.0.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LABEEE. **SOL-AR**. Versão 6.2. [S.l.]: LabEEE, [201-?]. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/software/analysis-sol-ar>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LAMBERTS, R. et al. **Sustentabilidade nas Edificações**: Contexto Internacional e Algumas Referências Brasileiras na Área. Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

LAWRIE, L. K., CRAWLEY, D. B. 2019. **Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx) – Dados climáticos do Brasil**. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.

MARTINS, K. H. **Análise do Desempenho Térmico e Energético de Painéis CLT Nacionais para o Clima de Foz do Iguaçu-PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia

- Civil). Foz do Iguaçu: UNILA, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/6861>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- MASCARÓ, J. L. **O Custo das Decisões Arquitetônicas**. 5ª ed. Porto Alegre: MASQUATRO EDITORA, 2010.
- MELO, A. P., LAMBERTS, R. **Análise da influência do desempenho térmico dos fechamentos opacos através do balanço térmico**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Fortaleza: ENTAC, 2008.
- MICHELS, C. Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes. Florianópolis: UFSC, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Caren%20Michels.pdf. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- RORIZ, M. et al. **Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto**. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal: ENCAC, 2009.
- SACHT, H. M. et al. Análise de Conforto Urbano do Marco das Três Fronteiras em Foz do Iguaçu – PR. ACE: **Architecture, City and Environment**, 15(43), 8295. UPC Barcelona, Espanha, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.43.8295>.
- SAMPAIO, C. A. de P. et al. Temperaturas Superficiais de Telhas e sua Relação com o Ambiente Térmico. **Eng. Agríc.**. Jaboticabal, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200003>
- TEIXEIRA, P. S. **Análise da eficiência termoenergética de sistemas de coberturas para o clima subtropical úmido de edificações residenciais em Foz do Iguaçu, Paraná**. Foz do Iguaçu: UNILA, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/6902>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.