

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA KRAMEL

INÉRCIA TÉRMICA PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES NAS DIFERENTES
REGIÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2021

CAMILA KRAMEL

INÉRCIA TÉRMICA PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES NAS DIFERENTES
REGIÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ

Dissertação apresentada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de Ambiente Construído, da Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Carlos Fernandes

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

K89i Kramel, Camila
Inércia térmica para habitações unifamiliares nas diferentes regiões climáticas do estado do Paraná [recurso eletrônico] / Camila Kramel. – Curitiba, 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

Orientador: Leandro Carlos Fernandes.

1. Habitação - Aspectos sociais. 2. Isolamento térmico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Fernandes, Leandro Carlos. III. Título.

CDD: 693.832

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAMILA KRAMEL** intitulada: **INÉRCIA TÉRMICA PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES NAS DIFERENTES REGIÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ**, sob orientação do Prof. Dr. LEANDRO CARLOS FERNANDES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 01 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica

08/02/2021 11:30:25.0

LEANDRO CARLOS FERNANDES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

12/02/2021 15:54:35.0

EDUARDO GRALA DA CUNHA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS)

Assinatura Eletrônica

30/04/2021 01:19:08.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

08/02/2021 16:15:06.0

PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTAINE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

10/02/2021 15:17:43.0

MARCIO JOSÉ SORGATO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Carin e Florindo, pelo exemplo e incentivo ao longo do curso.

Ao Andrei e Diogo, pelo apoio, companheirismo e paciência.

Ao professor Leandro Carlos Fernandes, pela incrível orientação, ensinamentos, oportunidade e apoio ao longo do curso.

Ao grupo Antropo - Pesquisa em Arquitetura, da UFPR, pela ajuda e suporte na etapa de mapeamento geográfico.

Aos professores Aloísio Leoni Schmid, Eduardo Grala da Cunha, Marcio José Sorgato e Pedro Augusto Breda Fontão, que aceitaram a participar na banca examinadora.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPR e aos professores do Mestrado pelo profundo acolhimento e conhecimento adquirido.

Aos colegas do curso de Mestrado, pelas amizades formadas e experiências compartilhadas.

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma pesquisa sobre a influência do nível de inércia térmica no desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social nos diferentes climas no estado do Paraná. O objetivo principal da pesquisa foi mapear os níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) para habitações unifamiliares térreas nos climas do Paraná considerando o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE *Standard* 55. Com base nos dados de temperatura das localidades, foram produzidos mapas das amplitudes e dos NITRRs. Em seguida, de algumas cidades do Paraná, para realizar o mapeamento dos NITRRs, as localidades foram classificadas de acordo com suas amplitudes térmicas diárias e agrupadas em perfis climáticos de acordo com semelhanças em seus valores de amplitude. Os NITRRs calculados para cada perfil climático foram relacionados com os níveis de inércia térmica atingidos (NITs), estes últimos foram obtidos pelas temperaturas internas calculadas por simulações computacionais, utilizando o programa *EnergyPlus*. Por meio das simulações foi possível realizar a análise do desempenho das habitações unifamiliares com diversas configurações construtivas, possibilitando indicar quais configurações são adequadas para cada perfil climático. O mapeamento dos NITRRs mostrou que as demandas por inércia variam significativamente de uma região para a outra. Essa diferença indica necessidade de características distintas entre as construções para fins habitacionais, de uma região para a outra. As simulações permitiram relacionar os NITRRs com diferentes configurações de sistemas construtivos e indicaram que os fatores ventilação natural, infiltração e sombreamento da edificação apresentaram grande influência sobre os resultados. Como limitação da pesquisa, observou-se que o NIT de uma habitação permite estudos e análises precisos sobre sua envoltória construtiva, porém, a análise de desempenho baseada exclusivamente no NIT é incompleta visto que outras variáveis do ambiente externo influenciam nas trocas térmicas.

Palavras chaves: Inércia térmica. Conforto térmico. Desempenho térmico de edificações.

ABSTRACT

In this work is presented a study on the influence of the level of thermal inertia in single-family houses of social interest in the different climates of the state of Paraná. The main objective of this research involves mapping the levels of recommended relative thermal inertia (LRRTIs) of a ground house to the climates of Paraná considering the ASHRAE Standard 55 adaptive thermal comfort model. Based on the climate files of the cities of Paraná, to perform the mapping of LRRTIs, the cities were classified according to their daily thermal amplitudes and grouped into climate profiles according to similarities in their amplitude values. The LRRTIs calculated for each climate profile were related to the levels of thermal inertia reached (LTIs), the latter were obtained by the internal temperatures calculated by computer simulations using the EnergyPlus program. Through the simulations it was possible to carry out the analysis of the single-family houses with several constructive configurations, making it possible to indicate which configurations are suitable for each climatic profile. The mapping of LRRTIs showed that the demands for inertia vary significantly from one region to another, this difference indicates needs of distinct characteristics between buildings for housing purposes from one region to another. The simulations that allowed to relate the LRRTIs with different configurations of constructive systems indicated a great influence in the results by the natural ventilation delimitations and infiltration by the openings, as well as the shading in the building. The LTI of a building allows precise studies and analysis of its constructive envelope, but its isolated analysis for the thermal performance of a building becomes incomplete since other variables of the external environment influence the heat exchanges.

Keywords: Thermal inertia. Thermal comfort. Thermal performance of buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Conjunto habitacional para operários em Gamboa, Rio de Janeiro	24
Figura 2.2 - Conjunto habitacional Osvaldo Cruz	25
Figura 2.3 - Divisão do Estado em ER da COHAPAR.....	27
Figura 2.4 - Projeto Vila Maria Zélia (1919) e Projeto COHAB/SC (2001)	30
Figura 2.5 - Classificação bioclimática brasileira por Köppen-Geiger	49
Figura 2.6 - Classificação bioclimática para o Paraná por Köppen-Geiger	50
Figura 2.7 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	51
Figura 3.1 - Localização das estações meteorológicas.....	57
Figura 3.2 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 38	60
Figura 3.3 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 43	61
Figura 3.4 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 50	61
Figura 3.5 – Planta baixa do modelo geométrico	62
Figura 3.6 - Corte AA' da planta baixa do modelo geométrico	63
Figura 3.7 - Detalhe dos brises verticais nas fachadas leste e oeste.....	63
Figura 3.8 - Fachada sul do modelo simulado.....	64
Figura 3.9 - Fachada oeste do modelo simulado	64
Figura 3.10 - Representação do telhado do modelo a ser simulado	65
Figura 3.11 - Modelo geométrico – Vista fachada norte.....	65
Figura 3.12 - Modelo geométrico – Vista fachada sul	66
Figura 3.13 - Categorias das tipologias construtivas para análise	68
Figura 4.1 - Distribuição espacial das amplitudes térmicas diárias no percentil 99...81	
Figura 4.2 - Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRRs) para o percentil 99 quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 5°C.....	85
Figura 4.3 - Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRRs) para o percentil 99 quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 7°C.....	85
Figura A.1 - Distribuição espacial das amplitudes térmicas diárias no percentil 97,5 de ocorrência nas diferentes regiões do estado do Paraná	109
Figura A.2 - Distribuição espacial das amplitudes térmicas diárias no percentil 95 de ocorrência nas diferentes regiões do estado do Paraná	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Posse média e consumo médio de aparelhos de ar-condicionado pelos domicílios urbanos	21
Tabela 2.1 - Famílias sem moradia no estado do Paraná	26
Tabela 2.2 - Elementos construtivos mais utilizados no Brasil	28
Tabela 2.3 - Elementos construtivos mais utilizados no estado do Paraná.....	29
Tabela 2.4 - Votos das pessoas em relação a sensação térmica	32
Tabela 2.5 - Propriedades térmicas de alguns materiais	39
Tabela 2.6 - Recomendações de parâmetros físicos para paredes	47
Tabela 2.7 - Recomendações de parâmetros físicos para coberturas	47
Tabela 3.1 - Estações meteorológicas utilizadas no mapeamento das amplitudes térmicas diárias	58
Tabela 3.2 – Configurações construtivas baseadas nas construções paranaenses .	67
Tabela 3.3 – Configurações construtivas para análise do desempenho térmico de cada habitação	67
Tabela 3.4 - Configurações construtivas dos tipos de paredes	69
Tabela 3.5 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo das paredes	69
Tabela 3.6 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo da cobertura	70
Tabela 3.7 - Configurações construtivas piso em relação ao seu contato com solo .	70
Tabela 3.8 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados no modelo.....	71
Tabela 3.9 - Composição das construções	72
Tabela 3.10 - Cargas internas – Pessoas	73
Tabela 3.11 - Cargas Internas – Iluminação.....	74
Tabela 3.12 - Cargas internas – Equipamentos	74
Tabela 3.13 - <i>Schedules</i> do uso de equipamentos	76
Tabela 3.14 - <i>Schedule</i> de iluminação	77
Tabela 4.1 - Amplitudes térmicas diárias máximas e nos percentis 99, 97,5 e 95 para os municípios do Paraná.....	80
Tabela 4.2 - Perfis de amplitude térmicas diárias e os municípios neles classificados	83

Tabela 4.3 - Níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs)	
considerando amplitude térmica diária máxima interna de 5 °C	84
Tabela 4.4 - Níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs)	
considerando amplitude térmica diária máxima interna de 7 °C	84
Tabela 4.5 - Configurações construtivas dos tipos de paredes	90
Tabela 4.6 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo das paredes	
.....	91
Tabela 4.7 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo da cobertura	
.....	92
Tabela 4.8 - Configurações construtivas piso em relação ao seu contato com solo .	94
Tabela E.1 - Cenário 1 - Valores de NIT das configurações construtivas para o	
percentil 95 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR).....	115
Tabela E.7 - Cenário 3 - Valores de NIT das configurações construtivas para o	
percentil 95 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR).....	121

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - Déficit habitacional por região	19
Gráfico 1.2 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil..	21
Gráfico 2.1 - Produção de unidades habitacionais no estado do Paraná entre os anos 1950-1990	25
Gráfico 2.2 - Domicílios em assentamentos irregulares	28
Gráfico 2.3 - Conforto térmico relacionado ao Modelo Estático	34
Gráfico 2.4 - Temperaturas de conforto em relação à mudança de temperatura	35
Gráfico 2.5 - Limites aceitáveis de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente	35
Gráfico 2.6 - Exemplo de gráfico bioclimático elaborado pela metodologia de Olgyay	41
Gráfico 2.7 - Diagrama antropoclimático para análise do clima local	43
Gráfico 2.8 - Diferenças entre as 'temperaturas internas do ar estimadas' e as 'temperaturas operativas neutras' para Salvador	44
Gráfico 2.9 - Diagrama antropoclimático para análise da temperatura interna da habitação, considerando 90% de aceitabilidade	45
Gráfico 2.10 - Diferenças entre as 'temperaturas internas do ar estimadas' e as 'temperaturas operativas neutras' para Salvador	46
Gráfico 3.1 - <i>Schedule</i> de ocupação nos dias de semana	75
Gráfico 3.2 - <i>Schedule</i> de ocupação nos finais de semana	76
Gráfico 4.1 - Valores médios das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99, 97,5 e 95 nos diferentes Perfis.....	82
Gráfico 4.2 – Cenário 1: NITs das configurações construtivas para o percentil 99 ...	87
Gráfico 4.3 - Cenário 2: NITs das configurações construtivas para o percentil 99	87
Gráfico 4.4 - Cenário 3: NITs das configurações construtivas para o percentil 99	88
Gráfico 4.5 - NIT das configurações construtivas 1, 2, 3, 4 e 8	90
Gráfico 4.6 - NIT das configurações construtivas 2 e 8	91
Gráfico 4.7 - NIT das configurações construtivas 4, 7, 8 e 11	93
Gráfico 4.8 - NIT das configurações construtivas 4, 5, 6, 8, 9 e 10	94
Gráfico D.1 - Cenário 1: NITs das configurações construtivas para o percentil 97,5	112

Gráfico D.2 - Cenário 1: NIT das configurações construtivas para o percentil 95 ...	112
Gráfico G.1 – Cenário 2:Tipos de parede (Percentil 95)	130
Gráfico G.2 – Cenário 2:Tipos de parede (Percentil 97,5)	130
Gráfico G.3 – Cenário 2: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 95) .	131
Gráfico G.4 – Cenário 2: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 97,5)	131
Gráfico G.5 - Cenário 2: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 95)..	132
Gráfico G.6 - Cenário 2: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 97,5)	132
Gráfico H.4 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 95) ..	135

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA.....	17
1.2	HIPÓTESE	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos.....	18
1.4	JUSTIFICATIVA.....	18
1.5	ESTRUTURA DO TEXTO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL.....	23
2.1.1	Histórico das habitações sociais no Brasil.....	23
2.1.2	As habitações sociais no Paraná.....	25
2.1.3	Sistemas construtivos utilizados nas Habitações de Interesse Social	28
2.1.4	Os problemas das Habitações de Interesse Social no Brasil	29
2.2	DEMANDAS DO USUÁRIO QUANTO AO AMBIENTE TÉRMICO DAS HABITAÇÕES	31
2.2.1	Modelo estático.....	32
2.2.2	Modelo adaptativo	34
2.3	INÉRCIA TÉRMICA DAS EDIFICAÇÕES	36
2.3.1	Capacidade térmica.....	38
2.3.2	Isolamento térmico	39
2.4	PROJETO DE EDIFICAÇÕES ADEQUADAS AO CLIMA E ÀS DEMANDAS DOS USUÁRIOS.....	40
2.4.1	Cartas bioclimáticas aplicadas à edificação	40
2.4.2	Diagramas antropoclimáticos aplicados ao clima e à edificação	42
2.4.3	Normas brasileiras de desempenho térmico	46
2.5	CLIMAS NAS REGIÕES DE ESTUDO.....	48
2.6	ESTUDOS REALIZADOS ACERCA DO DESEMPENHO TÉRMICO EM HUIS 52	
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	56

3.1	MAPEAMENTO DOS NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA RELATIVOS RECOMENDADOS	57
3.1.1	Dados climáticos.....	57
3.1.2	Mapeamento das amplitudes térmicas diárias no estado do Paraná	59
3.1.3	Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) para as diferentes regiões paranaenses	59
3.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE INÉRCIA TÉRMICA ATINGIDO (NIT).....	60
3.2.1	Definição do modelo geométrico	60
3.2.2	Configurações construtivas	66
3.2.3	Cargas internas	72
3.2.4	Schedules.....	75
3.2.5	Faixa de conforto térmico adotada	77
3.2.6	Definição da taxa de ventilação.....	78
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1	MAPEAMENTO DOS NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA RELATIVOS RECOMENDADOS (NITRR).....	79
4.1.1	Mapeamento das amplitudes térmicas diárias.....	79
4.1.2	Classificação de perfis climáticos	81
4.1.3	Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativos recomendados	83
4.2	AVALIAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR	86
4.3	NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA ATINGIDOS.....	89
4.3.1	Tipos de paredes.....	89
4.3.2	Isolamento térmico resistivo das paredes.....	91
4.3.3	Isolamento térmico resistivo da cobertura	92
4.3.4	Contato com o solo.....	93
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICES	109
	APÊNDICE A.....	109
	APÊNDICE B.....	110
	APÊNDICE C	111
	APÊNDICE D	112
	APÊNDICE E.....	115

APÊNDICE F	124
APÊNDICE G	130
APÊNDICE H	134

.

1 INTRODUÇÃO

As grandes diferenças sociais e financeiras que permeiam a população são evidenciadas no contexto habitacional, principalmente a partir da Revolução Industrial, a qual permitiu uma acelerada urbanização, incompatível com os baixos salários recebidos pela população mais carente. Esse contexto explica a precariedade e, muitas vezes, insalubridade de habitações familiares, sendo cada vez mais notória em lugares que vivenciam uma alta desigualdade social (BONDUKI, 1994).

Assim, após a década de 1930, o Estado iniciou uma política habitacional no país, na qual o principal objetivo era desenvolver soluções para construções de baixo custo na periferia, onde a população de baixa renda estava instalada (BONDUKI, 1994). Não somente isso, como também o conceito de crescimento horizontal, que também foi abordado como solução para uma urbanização mais humana e de maior integração entre as classes sociais.

Apesar da preocupação Estatal em gerar programas de auxílio à moradia e de habitações sociais que abrangessem uma classe social mais baixa, essas construções tinham como característica o seu baixo custo (BONDUKI, 1994; RUBIN; BOLFE, 2014). A construção de grandes quantidades de habitações sem um estudo prévio de qualidade, conforto e locação resultaram em problemas e custos indesejados aos usuários dessas habitações, como, por exemplo, a necessidade de aparelhos condicionadores de ar para suprir um desejado conforto térmico que poderia ser atingido com estratégias passivas.

Uma arquitetura que leva em conta as condições climáticas de seu entorno juntamente com estudos de envoltória da edificação e desempenho energético convergem para uma construção mais confortável e eficiente, posto que uma das funções da arquitetura é oferecer condições que harmonizem com o conforto humano dentro de sua construção, independente das condições climáticas externas (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Assim, a eficiência energética implementada na construção civil é nada mais que um conjunto de estratégias que visam a redução de consumo energético e o melhor emprego de equipamentos, técnicas e materiais para a edificação. O desempenho térmico da habitação acaba sendo, portanto, uma consequência da implementação de ações de eficiência energética.

As estratégias de eficiência energética podem abranger todo e qualquer tipo de habitação, dado que algumas ações não possuem custos e muitas ainda se pagam em pouco tempo da habitação. Simples escolhas como materiais utilizados na envoltória da construção, sombreamentos, estudo de ventilação cruzada, mudança de orientação da edificação, aproveitamento de massa térmica, captação de luz natural e análise dos ventos, são estratégias que minimizam o uso de tecnologias dispendiosas para melhorar o conforto térmico e lumínico (CECCHETTO et al., 2015).

Portanto, por meio de técnicas passivas de controle térmico, o foco desta pesquisa é analisar a utilização de inércia térmica e isolamento resistivo na envoltória de habitações, tendo como objeto de estudo as habitações unifamiliares de interesse social (HUIS) no estado do Paraná. Para isto, primeiramente foi realizado um estudo sobre o clima do Paraná em relação à amplitude térmica de cada cidade do estado que possui registro de dados climáticos, os resultados foram mapeados e assim foi criado um zoneamento climático baseado nos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) para cada cidade do estado.

Este zoneamento climático foi utilizado como base para a avaliação do nível de inércia térmica (NIT) da envoltória juntamente com a possibilidade de isolamento resistivo nas habitações; essa avaliação, que levou em conta o conforto térmico na habitação a partir do modelo adaptativo da ASHRAE *Standard* 55, foi realizada a partir de simulações por meio do *software EnergyPlus* e foram analisadas habitações com diferentes materiais construtivos. Os resultados desta pesquisa foram convertidos em sugestões construtivas para as habitações paranaenses.

1.1 PROBLEMA

Como forma de suprir o déficit habitacional brasileiro, o Governo Federal adotou programas sociais para facilitar a obtenção de moradias para uma classe social de baixa renda; com isso, iniciou-se um rápido processo de construção de maneira a mitigar os custos das edificações e, portanto, muitas dessas habitações são projetadas com as mesmas características em todo território brasileiro (INVIDIATA et al., 2016). Essa questão, que contraria a ideia de uma arquitetura projetada de forma regional adaptada a seu clima, diverge da concepção de conforto e desempenho térmico para a edificação.

Além da alta velocidade de implementação dessas construções e a semelhança entre si, recomendações construtivas específicas em busca de eficiência e conforto encontradas nas normas brasileiras NBR 15.220 e NBR 15.575 são questionáveis por conta de sua metodologia. Apesar de serem normas recentes, muitos estudos apontam incoerências em suas diretrizes (CHVATAL, 2014; BOGO, 2016).

Essas recomendações baseiam-se inicialmente na delimitação de zonas bioclimáticas no que abrange o território brasileiro, das quais foram estabelecidas conforme os desvios da zona de conforto, proposto por Givoni (1992). Porém, regiões com alta amplitude térmica anual e sazonal podem sofrer distorções em relação à classificação bioclimática delimitada pelas normas brasileiras (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012).

Estudos também apontam inconsistências referentes à transmitância térmica da envoltória do edifício usando as recomendações da NBR 15.575, não representando os reais impactos dessa propriedade térmica (CHVATAL, 2014). A transmitância e resistência térmica dos materiais empregados na edificação são de grande influência para a inércia térmica da edificação, que caracteriza a capacidade térmica da envoltória em trocar calor com o ambiente externo.

Portanto, a partir da problemática da qualidade das Habitações Unifamiliares de Interesse Social referente ao seu conforto e desempenho térmico, pergunta-se: considerando-se o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE *Standard 55*, quais os níveis de inércia térmica adequados para habitações unifamiliares térreas nos diferentes climas do estado do Paraná?

1.2 HIPÓTESE

Esta pesquisa adotou como hipótese que, para uma mesma edificação, o nível de inércia térmica (NIT) é o mesmo, independentemente da amplitude térmica diária externa, ainda que em climas diferentes. Conhecendo-se as amplitudes térmicas diárias e os respectivos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs), é possível indicar de antemão características construtivas adequadas para edificações, aumentando as chances de acerto para os projetistas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Considerando-se o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE *Standard* 55, esta pesquisa teve por objetivo identificar quais os níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRR) para habitações unifamiliares de interesse social nos diferentes climas do estado do Paraná.

1.3.2 Objetivos específicos

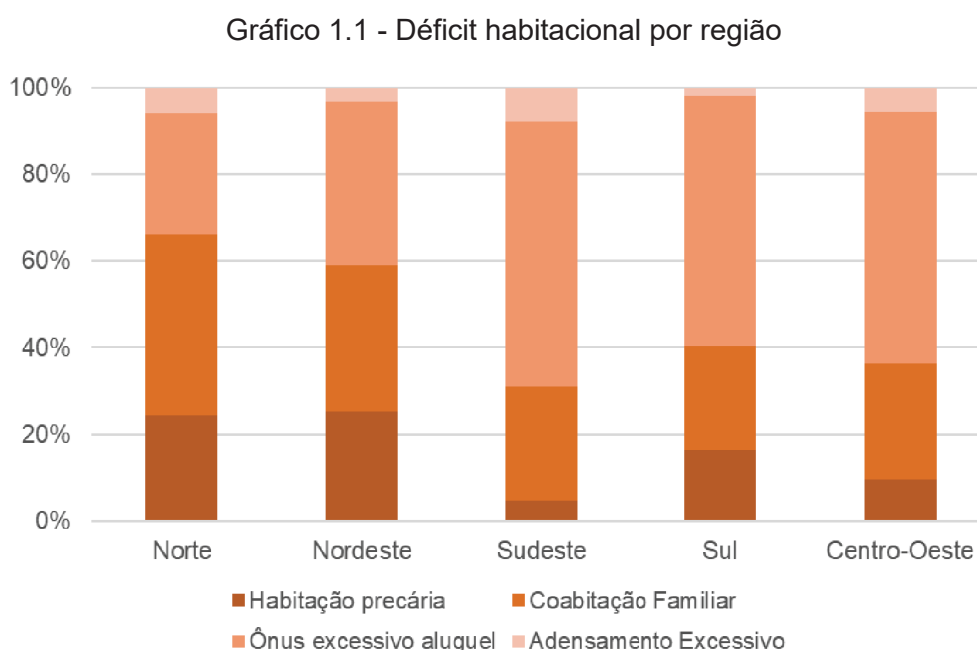
- Classificar as regiões paranaenses segundo as amplitudes térmicas diárias, agrupando-as em classes em função de semelhanças;
- Relacionar os níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRR) com os níveis de inércia térmica (NIT) de configurações de sistemas construtivos utilizados na indústria da construção civil paranaense, possibilitando indicar quais configurações são adequadas para cada região;

1.4 JUSTIFICATIVA

A finalidade de promover melhorias às habitações de interesse social advém do direito de uma moradia com qualidade e conforto oferecido para famílias de baixa renda e consequentemente de uma moradia que não exija um custo de vida mais elevado para suprir carências de conforto e desempenho. Para isso, soluções passivas são opções acessíveis e de menor custo, ao longo do tempo da habitação.

Atualmente, as habitações de interesse social desempenham uma função muito importante para preencher lacunas na problemática do déficit habitacional no Brasil. De acordo com dados da Fundação João Pinheiro (2018), em 2015 o déficit habitacional brasileiro estimado correspondeu a 6,355 milhões de domicílios, relacionando à quantidade de moradias particulares permanentes e improvisadas esse número corresponde a 9,3%.

Uma das composições desse cenário é representado nas áreas urbanas com um ônus excessivo de aluguel com mais de 50% do total do déficit habitacional, principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste; já nas áreas rurais o componente principal é a habitação precária, representando 14,8% com grande peso nas regiões Norte e Nordeste (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2018), como pode também ser visualizado no Gráfico 1.1, o qual revela as composições do déficit brasileiro por região.



Fonte: Dados gerados do IBGE (2018)

Mas não somente a quantidade de habitações é insuficiente para os cidadãos brasileiros, como também – para quem a tem – a qualidade de suas moradias. O déficit habitacional, além de se referir às carências habitacionais de uma população, também se refere às más condições das unidades habitacionais já existentes (GARCIA; CASTELO, 2006). Habitações inadequadas, segundo as definições da Fundação João Pinheiro (2018), são aquelas com aspectos de baixa infraestrutura,

adensamento excessivo, cobertura inadequada e ausência de unidade sanitária exclusiva ou em grande nível de insalubridade.

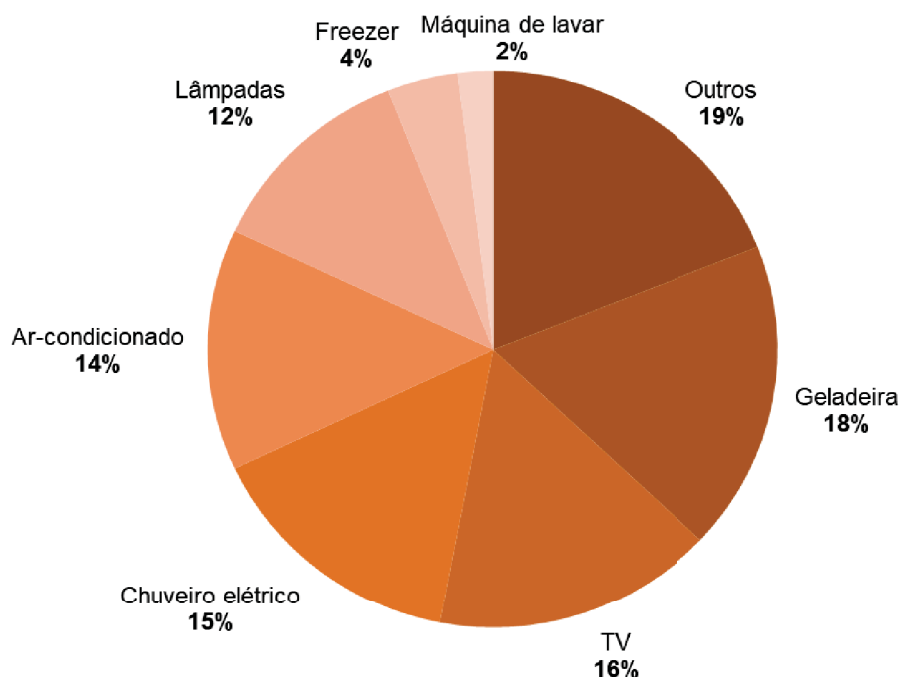
A qualidade da habitação está estritamente ligada à melhoria da qualidade de vida da população. Por mais que encontramos um grande nível de desigualdade social no país, as moradias necessitam de requisitos mínimos de construção e conservação (ALVES; CAVENAGHI, 2006). Junto a isso, a qualidade das moradias ainda está intimamente ligada às metas de desenvolvimento sustentável da ONU, na qual uma de suas metas condiz a “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” (ONU, 2019).

Qualidade e conforto são termos que se complementam em termos de habitação. O conforto está correlacionado com as sensações e sentidos dos usuários, em relação a luz, som, temperatura e acústica. Qualidade e conforto da habitação, estão, portanto, intrinsicamente inseridos no contexto projetual de moradias, devendo incluir as Habitações de Interesse Social.

Assim como o conforto relaciona-se com a percepção do ambiente, o desconforto está relacionado diretamente com o consumo energético para operá-lo; considerando que seus ocupantes utilizem equipamentos para torná-lo mais confortável (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009). Um exemplo seria a utilização de ar-condicionado em uma moradia, sendo que em algumas regiões a utilização de técnicas passivas como isolamento adequado e aumento de inércia térmica auxiliariam na temperatura interna do ambiente sem a necessidade da utilização do ar-condicionado.

Quando se aborda o tema de conforto térmico, o condicionamento do ambiente torna-se o equipamento mais discutido; no Brasil, segundo dados do EPE (2018), o aparelho de ar-condicionado consome cerca de 14% da energia elétrica somente no setor residencial, verificado pelo Gráfico 1.2.

Gráfico 1.2 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil



Fonte: Adaptado de EPE (2019)

Porém, o uso do ar-condicionado na classe residencial no Brasil é ainda relativamente pequeno, sendo 16,7% dos domicílios brasileiros com ar-condicionado (ELETROBRAS, 2019a). Entretanto, de acordo com estudos do Centro Clima (2019), a estimativa é que até o ano de 2050 57,2% da população possua aparelho de condicionamento de ar em suas residências, como visto na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Posse média e consumo médio de aparelhos de ar-condicionado pelos domicílios urbanos

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Posse média (%)	11	21	28,5	32,4	36,2	40	44,3	48,6	52,9	57,2
Consumo médio (kWh)	615	566	535	516	499	481	465	449	433	418

Fonte: Dados gerados do Centro Clima (2019)

Assim, nesse cenário, o conceito de melhorias nas habitações com soluções passivas para as condicionantes externas é extremamente necessário. Para as habitações de interesse social da qual a falta de projetos e estudos suficientes para a melhor operação da moradia sem a necessidade de equipamentos para manter seu conforto é de extrema importância; com isso, este trabalho pretende auxiliar os

estudos sobre a qualidade da habitação de interesse social e propor métodos construtivos – baseados na inércia térmica e isolamento – para um uso mais eficiente das moradias.

1.5 ESTRUTURA DO TEXTO

A fim de esclarecer os pontos da presente pesquisa, no Capítulo 1 consta uma análise da problemática e da justificativa do trabalho, juntamente com seus objetivos e sua contextualização no Programa de Pós-Graduação inserido.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura, abrangendo os temas de Habitação de Interesse Social, modelos de conforto térmico estático e adaptativo, propriedades térmicas relevantes no desempenho térmico da edificação e zoneamentos climáticos; relacionando estes assuntos a resultados e conceitos provenientes de outras pesquisas já realizadas até o momento.

O Capítulo 3 aborda o procedimento metodológico que foi empregado para realizar a pesquisa, contando com a definição especificada de cada fase que foi realizada para obter os resultados esperados. Este capítulo divide-se na definição de estratégia de pesquisa, protocolo de dados e método para analisar os dados.

O Capítulo 4 apresenta discussões acerca dos resultados gerados por cada fase da pesquisa. Este capítulo foi dividido em três subcapítulos conforme a sequência da metodologia deste trabalho: levantamento das amplitudes térmicas diárias e níveis de inércia térmica recomendados e análise das simulações.

O Capítulo 5, último capítulo deste trabalho, aborda as considerações finais dos estudos e análises realizados nesta pesquisa, aprofundando as conclusões sobre o objetivo principal e os objetivos específicos relacionados no Subcapítulo 1.3.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

2.1.1 Histórico das habitações sociais no Brasil

No Brasil, as políticas públicas que permitissem uma melhor qualidade de vida à população em condições precárias foram discutidas em temas como reforma urbana e programas de habitação social. Essa discussão se iniciou sobretudo a partir da década de 1930, quando o problema de moradia insalubre e crescimento não linear de habitações – que modificaram abruptamente o cenário urbano das grandes e médias cidades – necessitava, por consenso, de uma intervenção estatal (RUBIN; BOLFE, 2014).

Como até então a população rural era predominante no país, não se via uma grande preocupação com o planejamento das cidades e o seu crescimento, pois este era irrisório. Quando a urbanização começou a ganhar força e grandes movimentos – notoriamente após as primeiras décadas do século XX – a preocupação com seu crescimento foi notória; já que em apenas 60 anos os espaços urbanos receberam mais de 125 milhões de pessoas, e entre os anos de 1920 e 1940 a taxa de urbanização chegou a triplicar, chegando a 31,24%, contudo as estruturas das cidades não eram suficientes (MARICATO, 2000).

Os primeiros conjuntos habitacionais sociais começaram a ser construídos após a primeira discussão em 1931 relativa à preocupação do crescimento das cidades. Uma das primeiras unidades habitacionais destinadas a trabalhadores no país foi projetada pelos arquitetos Lúcio Costa e Gregori Warchavchik em Gamboa, Rio de Janeiro, como pode ser visualizada na Figura 2.1. De acordo com Almeida (2007), os arquitetos levaram em consideração: a topografia acidentada, economia de espaço e material e o aproveitamento das condições climáticas da região, aproveitando ao máximo iluminação e ventilação natural.

Figura 2.1 - Conjunto habitacional para operários em Gamboa, Rio de Janeiro



Fonte: Otoni (2019)

Porém, tratando-se de habitações sociais produzidas pelo Estado, uma de suas primeiras referências leva o nome de Conjunto Habitacional Prefeito Mendes de Moraes, conhecido como Pedregulho. Projetado pelo arquiteto Affonso Eduardo Reidy em 1947 sua função era habitar os funcionários públicos do Distrito Federal (ALMEIDA, 2007). Deste modo, a criação das habitações sociais e o movimento moderno na arquitetura começavam a caminhar juntamente, já que o modernismo tinha como pressuposto as edificações em série, padronizadas e pré-fabricadas, para atender assim as exigências nas cidades contemporâneas (BONDUKI, 1994).

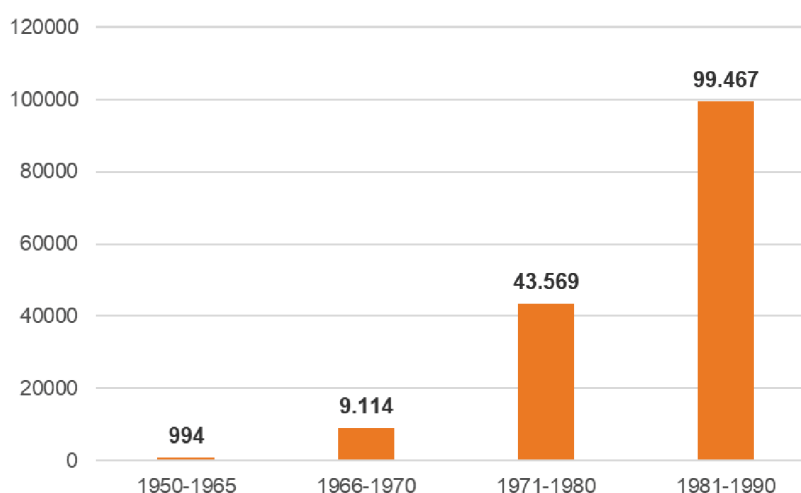
Em 2007 a fim de melhorar a infraestrutura das cidades, juntamente com ações de saneamento e habitação, criou-se o PAC – Programa de Aceleração do Crescimento; para a habitação brasileira foi um grande marco, já que só no ano de 2009, de acordo com a Caixa Econômica Federal (2012), foram investidos R\$ 41,8 bilhões dentro do PAC, sendo 83,9% desta quantia destinada às habitações.

Já em 2008 o Governo Federal juntamente com os estados, municípios e a iniciativa privada criou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), cuja intensão era construir um milhão de moradias (RUBIN e BOLFE, 2014). O PMCMV é voltado para famílias na faixa de 0 a 3 salários-mínimos, podendo os imóveis atingir subsídios de até 88% do valor do imóvel (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012).

2.1.2 As habitações sociais no Paraná

A história da habitação social no Paraná muito se assemelha à história da habitação brasileira, porém em alguns momentos destacou-se por programas de melhor qualidade, visto que o déficit habitacional paranaense é menor que é em muitos outros estados brasileiros. As primeiras intervenções habitacionais deram-se em 1950, e em 15 anos construíram-se 994 casas em 16 conjuntos habitacionais, estendendo-se para 99.467 habitações entre 1981 e 1990, como pode ser visualizado no Gráfico 2.1 (COHAPAR, 2012). A Figura 2.2 representa um dos primeiros conjuntos habitacionais no estado do Paraná, situado em Curitiba.

Gráfico 2.1 - Produção de unidades habitacionais no estado do Paraná entre os anos 1950-1990



Fonte: Dados gerados de COHAPAR (2012)

Figura 2.2 - Conjunto habitacional Osvaldo Cruz



Fonte: COHAPAR (2012)

Porém, apesar da grande evolução da construção das habitações no estado, é notório o grande déficit habitacional na região. Em 2005, um levantamento da COHAPAR mostrou que mais de 170 mil famílias estavam cadastradas para adquirir uma moradia, conforme realçado na Tabela 2.1, das quais famílias com lote são as que possuem lote, porém sem residência e famílias sem lote não possuem nem lote nem moradia.

Tabela 2.1 - Famílias sem moradia no estado do Paraná

RENDA FAMILIAR	QUANTIDADE DE FAMÍLIAS
Até 1 salário mínimo, com lote	1.141
Até 1 salário mínimo, sem lote	25.906
Entre 1 e 2 salários mínimos, com lote	1.641
Entre 1 e 2 salários mínimos, sem lote	57.649
Entre 2 e 3 salários mínimos, com lote	1.503
Entre 2 e 3 salários mínimos, sem lote	38.823
Entre 3 e 5 salários mínimos, com lote	1.680
Entre 3 e 5 salários mínimos, sem lote	32.851
Entre 5 e 10 salários mínimos, sem lote	1.204
Entre 5 e 10 salários mínimos, com lote	13.534
Acima de 10 salários mínimos, sem lote	237
Acima de 10 salários mínimos, com lote	1.548

Fonte: Dados retirados de COHAPAR (2012)

Não somente a falta de moradia é um número que preocupa na questão habitacional do estado, mas também a quantidade de moradias irregulares e precárias. A partir de uma pesquisa de campo realizada pelo Plano Estadual de Habitação de Interesse Social em 2010 (COHAPAR, 2012), as principais necessidades habitacionais no estado em meio urbano são as favelas, habitações degradadas, cortiços e loteamentos irregulares; já no meio rural as principais necessidades estão entre assentamentos, quilombolas, indígenas e pescadores.

A COHAPAR está atualmente dividida em ER (Escritórios Regionais) a fim de dividir o planejamento entre as mesorregiões do estado, como pode ser visualizada na Figura 2.3. Destes ERs, foi realizado um levantamento a fim de quantificar os domicílios em assentamentos irregulares, o resultado é obtido por meio do Gráfico

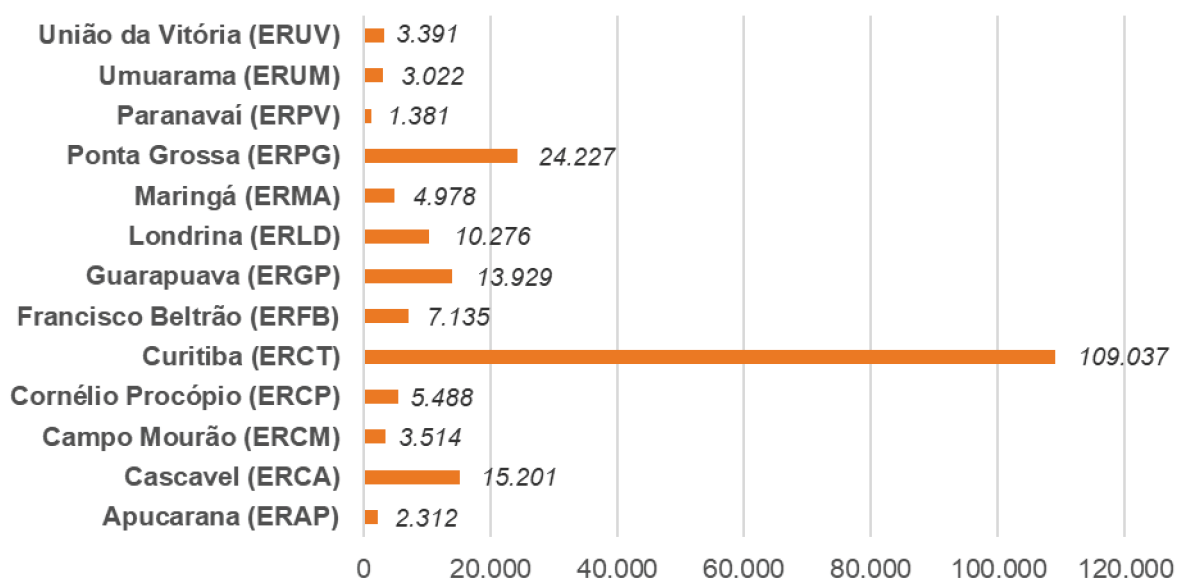
2.2; observa-se que a maior quantidade de irregularidades ocorre na mesorregião de Curitiba, por ser a região mais populosa e urbana, visto que é uma das maiores preocupações dos setores mais urbanizados.

Figura 2.3 - Divisão do Estado em ER da COHAPAR



Fonte: COHAPAR (2012)

Gráfico 2.2 - Domicílios em assentamentos irregulares



Fonte: Dados gerados do COHAPAR (2012)

2.1.3 Sistemas construtivos utilizados nas Habitações de Interesse Social

De acordo os últimos levantamentos do IBGE (2018) e ELETROBRAS (2019b), os elementos construtivos mais utilizados nas moradias unifamiliares brasileiras são parede de alvenaria com revestimento, telha de barro e piso de cerâmica, lajota ou pedra, conforme categorizados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Elementos construtivos mais utilizados no Brasil

Construção	Elementos construtivos	Porcentagem de uso no Brasil
Parede	Alvenaria com revestimento externo	82,83%
	Alvenaria sem revestimento externo	9,01%
	Madeira	4,7%
Telhado (material predominante)	Telha de barro	37,10%
	Somente laje de concreto	26,72%
	Telha de amianto	23,45%
Piso	Cerâmica, lajota ou pedra	77,10%
	Cimento	15,50%
	Madeira apropriada para construção	6,40%

Fonte: Dados retirados de IBGE (2018), ELETROBRAS (2019b)

Por conta de diferenças culturais e da disponibilidade de materiais, os elementos construtivos se diferem em cada região brasileira. Comparando com a média brasileira, no Paraná os elementos construtivos mudam em relação ao seu percentual de uso. A telha de barro, mais comumente usadas nas coberturas das construções do Brasil é usada em cerca de 31% das habitações paranaense, sendo a telha de amianto o material mais utilizado, com cerca de 42% de uso, conforme é visualizado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Elementos construtivos mais utilizados no estado do Paraná

Construção	Elementos construtivos	Porcentagem de uso no Paraná
Parede	Alvenaria com revestimento externo	81,92%
	Madeira	13,12%
	Alvenaria sem revestimento externo	4,64%
Telhado (material predominante)	Telha de amianto	42,40%
	Telha de barro	31,04%
	Somente laje de concreto	19,36%
Piso	Cerâmica, lajota ou pedra	79,70%
	Madeira apropriada para construção	14,00%
	Cimento	4,10%

Fonte: Dados retirados de IBGE (2018), ELETROBRAS (2019b)

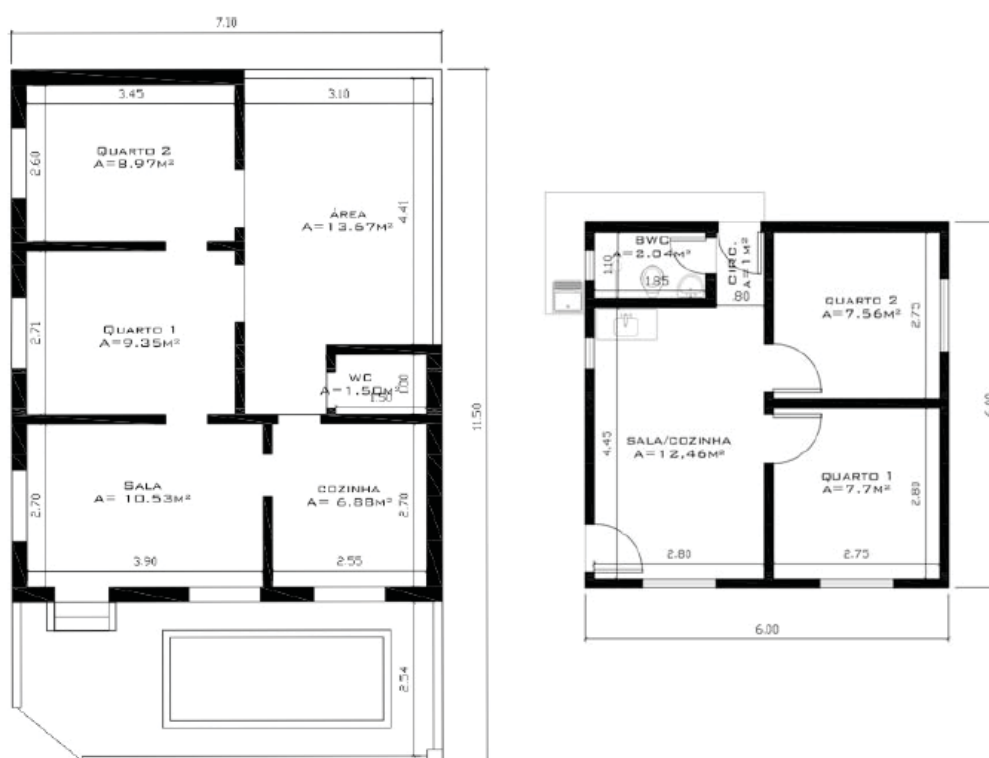
2.1.4 Os problemas das Habitações de Interesse Social no Brasil

A reprodução em massa das Habitações de Interesse Social sem levar em considerações os aspectos físicos, geográficos e climáticos é recorrente no âmbito nacional; essa prática demonstra a falta de interesse à qualidade da moradia do usuário e a despreocupação em relação ao conforto fornecido pelo ambiente construído.

Bonduki (1998) afirma que a partir da busca por diminuição dos custos e da crescente construção acelerada das habitações sociais trouxe às moradias populares um raso conteúdo oriundo de projetos de qualidade duvidosa, repetitivos e sem contextualização urbana; tornando assim construções à parte, desvinculadas com o ambiente que o circunda.

A diminuição dos espaços é visível ao longo dos anos de implementação de habitações sociais. Conforme mostra a Figura 2.4 e discutido por Palermo et al. (2007), os espaços, com o passar dos anos, além de diminuir alguns se conjugaram, como por exemplo a sala e a cozinha. Antes formadas por dois cômodos separados, de 10 e 6 m² respectivamente, o projeto da COHAB de 2001 representa com um espaço só de cerca de 12 m². Assim como os quartos que também sofreram com a diminuição das áreas de um modo geral.

Figura 2.4 - Projeto Vila Maria Zélia (1919) e Projeto COHAB/SC (2001)



Fonte: Bonduki (1998) e COHAB/SC – Acervo de projetos *apud* Palermo et al. (2007)

O rigor dimensional é prioridade para uma moradia a fim de garantir sua funcionalidade. O superdimensionamento de um ambiente cria espaços sem utilização, além de constituir um mal investimento; já o subdimensionamento inviabiliza o ambiente, comprometendo os cômodos e as disposições dos mobiliários (PALERMO et al., 2007).

Outra crítica pertinente ao programa de habitação social implementado no país por meio do PMCMV – do qual mantém a maior parte de provisão habitacional –segundo Krause, Neto e Balbim (2013), é a solução única focada à construção de

novas moradias por meio de empreiteiras, sendo que a reforma até é possível, mas inexpressiva na execução.

Conforme analisado por Cardoso, Aragão e Araujo (2011), o PMCMV também promove, por meio do afastamento da localização de seus lotes, uma periferação de suas moradias no meio urbano; isto decorre pela limitação da oferta de terra nos centros das cidades juntamente com a falta de políticas de controle e especulação, que em decorrência a isso aumentam-se os preços de acordo com sua demanda.

A qualidade arquitetônica, que vai ao encontro das ideias de conforto em uma habitação, também é um tema muito discutido nos projetos de habitação social inseridos no PMCMV. Cardoso e Aragão (2013) ressaltam ainda outras críticas à política habitacional instalada, como a ausência de enfrentamento do problema fundiário, excessivo privilégio ao setor privado, grande escala dos empreendimentos, desigualdade na distribuição de recursos e a descontinuidade em relação aos programas habitacionais anteriores.

Contudo, apesar da política nacional levar em conta principalmente seus números de produção de moradia e não sua qualidade, é importante ressaltar que em experiências internacionais de políticas públicas de habitação é usual a diversidade de soluções de acordo com as diferentes necessidades familiares (CARDOSO; ARAGÃO; ARAUJO, 2011). As habitações deveriam, portanto, levar em conta aspectos sociais e humanos particulares a uma região e família para oferecer mínimas condições de conforto para os moradores.

2.2 DEMANDAS DO USUÁRIO QUANTO AO AMBIENTE TÉRMICO DAS HABITAÇÕES

A Arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A Arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. (FROTA; SCHIFFER, 2001)

Conforme descrito na ASHRAE (2017), o conforto térmico é afetado principalmente por seis variáveis, separados em duas categorias: pessoais e ambientais. Os fatores pessoais que alteram o conforto térmico são a taxa

metabólica e o nível de isolamento térmico devido às roupas que a pessoa venha a usar. Os fatores ambientais que influenciam no conforto são a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade e a umidade do ar.

Como existem variações pessoais em relação à satisfação fisiológica e psicológica, é difícil atingir uma temperatura ideal que satisfaça a todos usuários em um determinado espaço. Por conta desta difícil determinação de uma temperatura de conforto, estudos foram realizados a fim de chegar a uma faixa de temperaturas que atenda o maior número de pessoas de um ambiente resultando a dois métodos de obtenção de conforto: modelo estático e modelo adaptativo.

2.2.1 Modelo estático

O Modelo Estático foi desenvolvido pelo pesquisador Povl Ole Fanger, professor dinamarquês, que concluiu seu método de conforto térmico em 1970. Seu estudo engloba dois índices para a determinação do conforto térmico: PMV e PPD.

O PMV (voto médio predito) representa um valor médio de sensação térmica de um número de pessoas em uma escala que varia entre -3 e 3, conforme mostra a Tabela 2.4. Este valor foi obtido a partir de uma análise estatística com pessoas em câmaras climatizadas, testando diversas condições climáticas (FANGER, 1970).

Tabela 2.4 - Votos das pessoas em relação a sensação térmica

-3	muito frio
-2	frio
-1	levemente frio
0	neutro
+1	levemente quente
+2	quente
+3	muito quente

Fonte: Adaptado de Fanger (1970)

O PMV é calculado por meio do balanço térmico das equações abaixo, representadas por uma forma simplificada e por uma forma mais desenvolvida, nas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028)L \quad (1)$$

$$\begin{aligned} PMV = & (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) \\ & - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 (M - W) - p_a] - 0,42 [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \} \end{aligned} \quad (2)$$

Onde:

M = taxa metabólica (W/m²);

L = carga térmica atuante no corpo;

W = trabalho mecânico (W/m²);

p_a = pressão parcial do valor da água (Pa);

t_a = temperatura do ar (°C);

f_{cl} = razão entre área superficial do corpo vestido pela área do corpo nu;

t_{cl} = temperatura superficial das roupas (°C);

t_r = temperatura radiante média (°C);

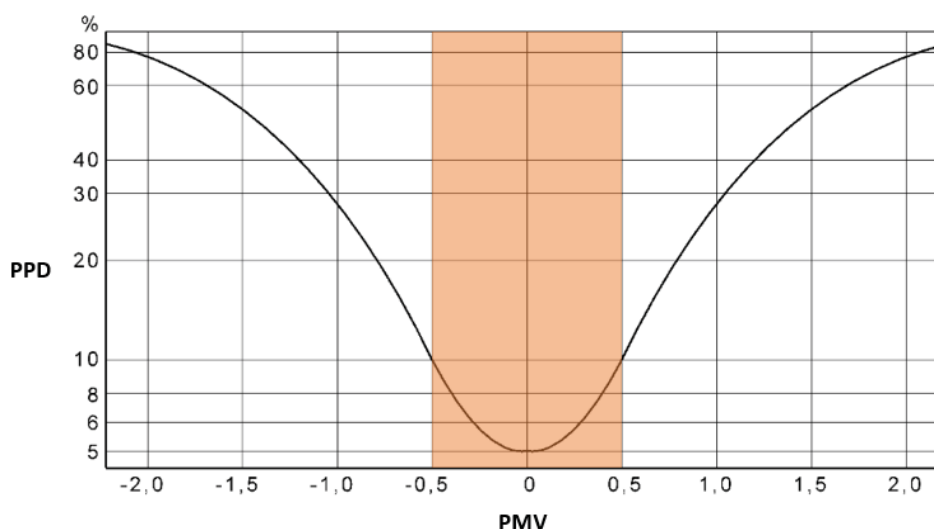
h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção (W/(m² °C));

Já o PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) representa a quantidade de pessoas insatisfeitas em um ambiente, sendo essa insatisfação relacionada ao voto de conforto. Este índice pode ser calculado utilizando a Equação 3.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-[0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]} \quad (3)$$

A partir dos conceitos de PMV e PPD, é possível analisar o índice de conforto estudado por Fanger por meio do Gráfico 2.3; neste gráfico é possível verificar a relação entre o PPD (eixo vertical) e o PMV (eixo horizontal). Para obtenção de no máximo 10% de pessoas insatisfeitas termicamente (PPD), a faixa de conforto está delimitada no valor de PMV entre -0,5 e 0,5.

Gráfico 2.3 - Conforto térmico relacionado ao Modelo Estático



Fonte: Adaptado de ASHRAE (2017)

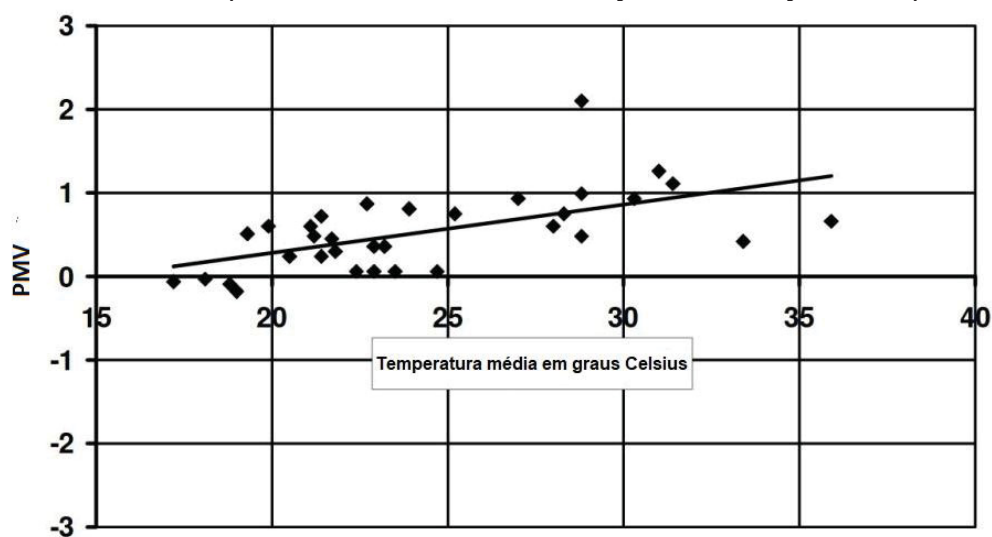
2.2.2 Modelo adaptativo

O Modelo Adaptativo foi desenvolvido por Michael Humphreys em 1976, e sua teoria é baseada na adaptação de temperatura que as pessoas têm em relação à estação e a temperatura que essas pessoas estão acostumadas. A partir de desconfortos em relação à temperatura do ambiente, os usuários reagem de forma a restaurar e adaptar sua faixa de conforto.

O Modelo de Humphreys leva em conta não somente características físicas, mas também características sociais, demográficas, de faixa etária, contexto da edificação, clima e expectativas. De Dear, Brager e Cooper (1997) afirmam que a adaptação ao clima interno possui, de um modo geral, três componentes: comportamentais, fisiológicos e psicológicos. O componente comportamental abrange os ajustes que podem ser feitos por meio de vestimenta, atividade do usuário e também ajustes do próprio ambiente, como fechar e abrir janelas. O componente fisiológico é relacionado a relações genéticas e o componente psicológico relaciona-se com percepções sensoriais dos usuários.

Humphreys elaborou o Gráfico 2.4 sobre a variação do voto médio de conforto térmico das pessoas (PMV) em relação à temperatura interna média, em que cada ponto é o valor médio de uma pesquisa de conforto, e a linha representa o aumento da temperatura de conforto conforme a temperatura interna aumenta, confirmando assim sua teoria.

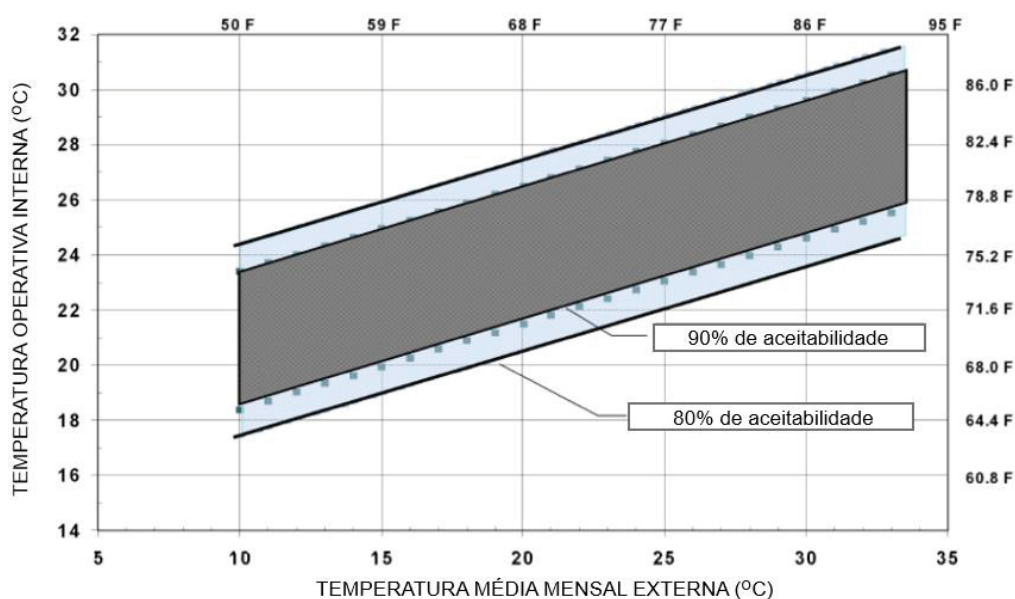
Gráfico 2.4 - Temperaturas de conforto em relação à mudança de temperatura



Fonte: Adaptado de Humphreys (1976) *apud* Nicol e Humphreys (2002)

Assim, a partir dos estudos de Humphreys, a ASHRAE 55 (2017) apresentou um método para obtenção de conforto térmico no ambiente construído conforme o Gráfico 2.5, do qual é apresentado dos limites de conforto, 80 e 90% de aceitabilidade de conforto em relação à mudança de temperatura externa.

Gráfico 2.5 - Limites aceitáveis de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente



Fonte: Adaptado de ASHARE (2017)

2.3 INÉRCIA TÉRMICA DAS EDIFICAÇÕES

A inércia térmica é a capacidade do material de resistir a mudanças de temperaturas; portanto, materiais de alta inércia térmica resistem mais às amplitudes térmicas do clima local (LabEEE, 2019).

Pode-se falar da inércia: dos (a) materiais, dos (b) componentes construtivos e das (c) edificações. Quando se trata da inércia térmica das edificações, vários são os fatores que influem nessa característica. Dentre estes fatores, destacam-se e são especialmente importantes nesta pesquisa:

- A capacidade térmica, propiciada por elementos internos e pelo envelope externo;
- E o isolamento térmico propiciado pelo envelope da edificação.

A inércia térmica, bem como outras técnicas passivas, é utilizada nas construções a fim de proporcionar as condições térmicas favoráveis ao ambiente interno há muitos anos, principalmente em regiões com alta amplitude térmica. A geometria das construções era pensada como forma principal de proporcionar conforto ao usuário; esta característica é muito visível em edifícios antigos que possuem componentes espessos e com alta capacidade térmica (BRITO, 2015).

A inércia térmica está altamente relacionada com o comportamento térmico da edificação, relacionada principalmente com o amortecimento e o atraso da onda de calor, em relação ao aquecimento e resfriamento da envoltória (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Este amortecimento térmico é descrito por Rivero (1986) como a razão entre as amplitudes das temperaturas superficiais das faces interna e externa da edificação, como mostra a Equação 4, onde maior o valor de μ maior o valor de oscilação térmica. Segundo Dornelles (2004), no processo de transmissão de calor, nem todo calor que chega à face externa chegará à face interna, pois parte do calor será absorvido pelo próprio material da envoltória.

$$\mu = \frac{A_{int}}{A_{ext}} \quad (4)$$

Onde:

μ = coeficiente de amortecimento;

A_{int} = amplitude interna (°C);

A_{ext} = amplitude externa (°C);

O fluxo de temperaturas entre o ambiente interno e o ambiente externo de uma edificação é determinado pela envoltória da construção, seu material e consequentemente sua inércia térmica. À medida que a temperatura externa aumenta, a temperatura interna tende a aumentar igualmente, porém esse fluxo de temperatura poderá ocorrer de forma mais rápida ou mais lenta de acordo com as propriedades térmicas que compõe os materiais da edificação.

As características climáticas de um local refletem significativamente nas trocas térmicas da edificação, devendo ser levadas em consideração na escolha dos componentes construtivos da habitação.

Rivero (1986) afirma que essas trocas térmicas confirmam a eficácia da inércia térmica que não se reduzem ao período de apenas 24 horas. Após dias consecutivos de temperaturas altas, se a temperatura cai de forma abrupta o interior do ambiente ainda demora alguns dias para a temperatura interna se nivelar à temperatura externa; este fenômeno é chamado de inércia global do edifício.

E por esse motivo, da variabilidade de temperatura, o objetivo da inércia térmica é significativo quando há grandes flutuações entre as temperaturas internas e externas em relação ao ambiente construído. Quando esta flutuabilidade é uma característica marcante do local, a inércia térmica apresenta uma solução simples e eficaz frente aos problemas térmicos enfrentados na habitação (KOENIGSBERGER et al., 1977).

Neste estudo, a inércia térmica é referenciada pelo NIT (nível de inércia térmica), do qual é um indicador da capacidade da edificação de resistir à flutuação das temperaturas externas (FERNANDES, 2020). Em outras palavras, é um indicador da capacidade da edificação de reduzir a flutuação (amplitude) das temperaturas internas em comparação com a flutuação (amplitude) das temperaturas externas. O NIT pode ser expresso pela Equação 5.

$$NIT = \left(\frac{\Delta T_{ex}}{\Delta T_{in}} \right) - 1 \quad (5)$$

Onde:

ΔT_{ex} = amplitude da temperatura externa;

ΔT_{in} = amplitude da temperatura interna;

É possível analisar o NIT dentro dos parâmetros de conforto térmico do modelo adaptativo, essa métrica é referenciada nesta pesquisa como NITRR, ou nível de inércia térmica relativo recomendado (FERNANDES, 2020). Para o modelo adaptativo para construções naturalmente ventiladas descrito na ASHRAE (2017) e aceitabilidade de até 90% dos usuários é utilizada a amplitude térmica interna de 5°C, enquanto a amplitude térmica de 7°C está relacionada à aceitabilidade de até 80% dos usuários, conforme Equação 6.

$$NITRR = \left(\frac{\Delta T_{ex}}{\Delta T_{conf}} \right) - 1 \quad (6)$$

Onde:

ΔT_{ex} = amplitude da temperatura externa;

ΔT_{conf} = temperatura de conforto: 5°C para aceitabilidade de 90% dos usuários e 7°C para aceitabilidade de 80% dos usuários;

2.3.1 Capacidade térmica

Alguns autores utilizam o termo capacidade térmica (ou “massa térmica”) para designar a habilidade dos materiais em armazenar uma certa quantidade de energia térmica e assim diminuir a velocidade da transferência de calor entre o ambiente interno e externo da edificação (KALOGIROU; FLORIDES; TASSOU, 2002); segundo os autores, a utilização da massa térmica, quando viável, resulta em três importantes características para a habitação:

1. Reduz a necessidade de utilização de aparelhos condicionadores de ar;
2. O tempo de resposta da temperatura interna modera as flutuações térmicas no ambiente;
3. Transfere os picos de energia por conta do armazenamento de energia da massa térmica.

Kalogirou, Florides e Tassou (2002) relacionam a massa térmica com a difusividade do material. A difusividade possui unidade equivalente a m²/s, ou seja, expressa a velocidade em que a energia térmica avança por área do material construtivo da edificação; ou seja, a difusividade e a massa térmica são inversamente proporcionais.

2.3.2 Isolamento térmico

O isolamento térmico em edificações tem a função de reduzir as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, a fim de proporcionar menores flutuações de temperatura para o usuário e consequentemente, maior conforto térmico.

São três os tipos de isolamento térmico: resistivo, reflexivo e capacitivo (ZÖLD; SZOKOLAY, 1997).

2.3.2.1 Isolamento térmico resistivo

O isolamento resistivo é o mais comumente conhecido, sua função é evitar a convecção do calor, que depende principalmente da condutividade e viscosidade do fluido contido nos vazios do material isolante, bem como do tamanho dos vazios e das diferenças de temperatura; são conhecidos por seu alto desempenho. Ex.: fibra de vidro, lãs minerais, vermiculita, poliestireno expandido (ROAF; FUENTES; THOMAS-REES, 2006).

Os isolamentos, segundo Fenilli (2008), têm diversas finalidades para a edificação, como conforto térmico, proteção de estruturas, conservação e economia de energia. De acordo com Torreira (1980), um bom isolante térmico resistivo deve possuir as seguintes características: baixa condutividade térmica, alto calor específico, baixa massa específica, estabilidade química e física, boa resistência mecânica, facilidade para sua aplicação, baixa difusividade térmica e economia. Na Tabela 2.5 estão descritas as propriedades térmicas de alguns isolantes resistivos.

Tabela 2.5 - Propriedades térmicas de alguns materiais

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade térmica (W/m.K)
<i>Espuma rígida de poliuretano</i>	30-40	0,030
<i>Poliestireno expandido moldado</i>	15-35	0,040
<i>Lã de vidro</i>	10-100	0,045
<i>Lã de rocha</i>	20-200	0,045

Fonte: ABNT (2003)

2.3.2.2 *Isolamento térmico refletivo*

O isolamento térmico refletivo deve ser empregado quando a ideia é prevenir a transferência de energia térmica por radiação (ZÖLD; SZOKOLAY, 1997).

O uso de materiais reflexivos na envolvente do edifício é uma das formas mais eficientes de reduzir os aumentos das temperaturas internas devido à incidência de radiação solar (DORNELLES et al., 2011). Dentre os artifícios para obtenção de isolamento resistivo então as tintas brancas e os revestimentos aluminizados.

De acordo com Synnefa et al. (2007), para condições solares de pico (cerca de 1000 W/m^2) para uma superfície isolada e sob uma condição de vento fraco, a temperatura de uma superfície preta com refletância solar de 0,05 é cerca de 50°C mais alta que a temperatura do ar ambiente. Para uma superfície branca com refletância solar de 0,8 o aumento de temperatura é de cerca de 10°C .

2.3.2.3 *Isolamento térmico capacitivo*

O isolamento capacitivo é obtido, em regimes com oscilação periódica de temperaturas, aplicando-se materiais pesados nas paredes externas, os quais absorverão e acumularão energia, resultando em isolamento térmico (ZÖLD; SZOKOLAY, 1997).

O fluxo de calor depende da condutividade do material onde o calor será conduzido, portanto, construções pesadas são exemplos de isolamento capacitivo.

2.4 PROJETO DE EDIFICAÇÕES ADEQUADAS AO CLIMA E ÀS DEMANDAS DOS USUÁRIOS

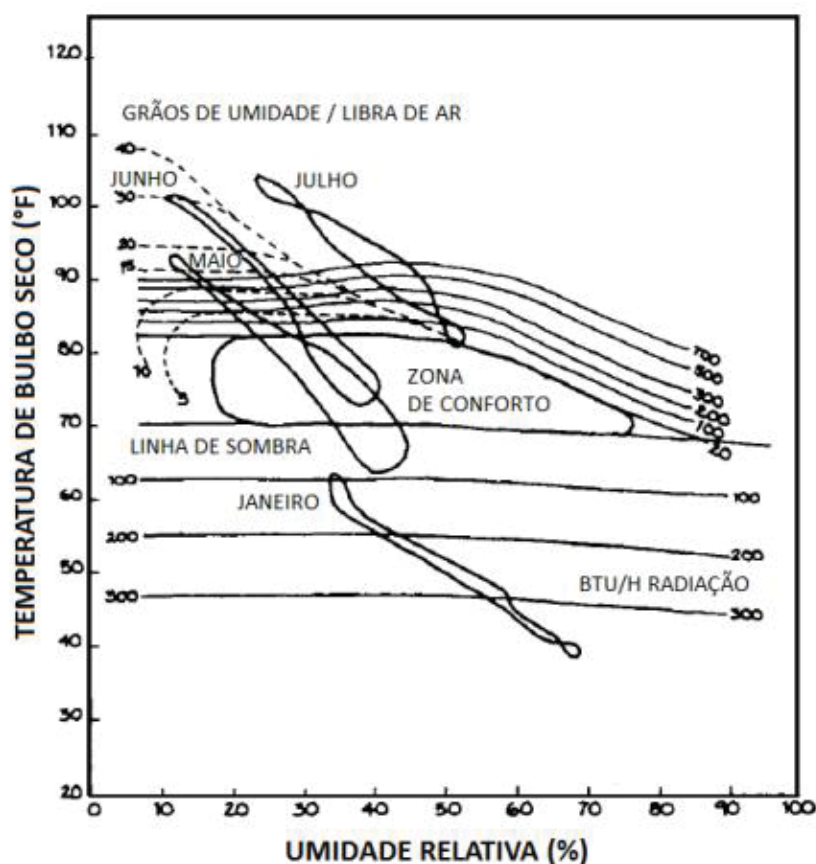
2.4.1 Cartas bioclimáticas aplicadas à edificação

A aplicação dos estudos de conforto térmico no projeto da edificação possui diversos métodos baseados em cartas bioclimáticas; os principais métodos utilizados pertencem a Olgyay (1963), Givoni (1992) e Szokolay (1987).

A carta bioclimática de Olgyay (1963) tem como objetivo determinar estratégias de adaptação da construção ao clima local, levando em conta dados do

clima externo. O Gráfico 2.6, desenvolvido por Olgyay, indica a zona de conforto no centro e os elementos ao seu redor compõe medidas de correção para o conforto. Os diversos gráficos elaborados por Olgyay leva em conta a vestimenta e atividade exercida pelo usuário e a zona que integra a região estudada.

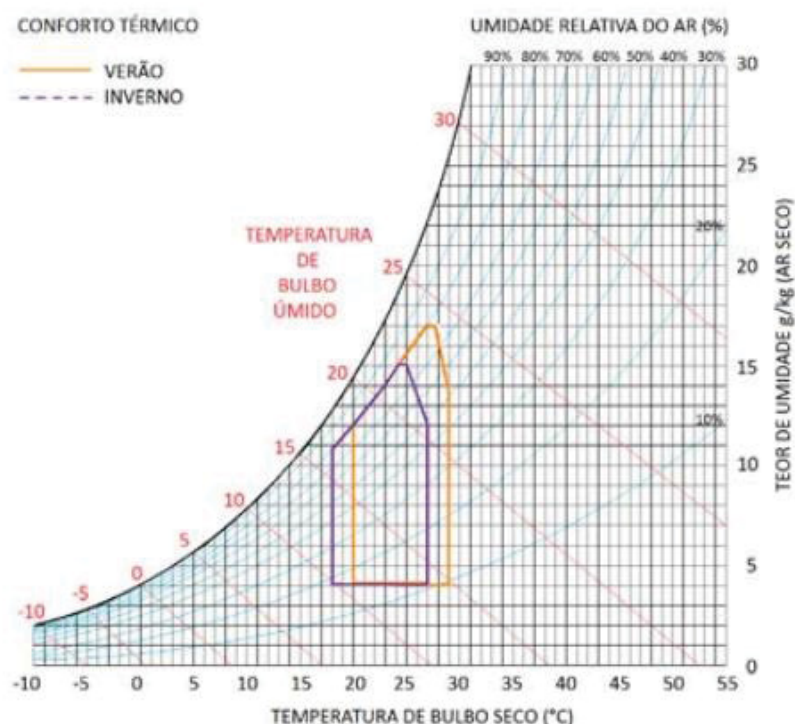
Gráfico 2.6 - Exemplo de gráfico bioclimático elaborado pela metodologia de Olgyay



Fonte: Schmid (2015)

Já a carta de Givoni (1992), que foi desenvolvida para corrigir as limitações de Olgyay (1963), é baseada nas temperaturas internas da edificação e é apresentada sobre uma carta psicométrica tradicional. O sistema de Givoni também se diferencia pela carta de Olgyay por basear-se nas temperaturas internas da edificação, enquanto o diagrama de Olgyay é aplicável apenas para as condições externas. O Gráfico 2.7 apresenta os limites de conforto térmico para determinadas condições, baseado no diagrama bioclimático do edifício, desenvolvido por Givoni.

Gráfico 2.7 – Contornos para o conforto térmico nas condições de ar parado, clima temperado e quente



Fonte: Schmid (2015)

Szokolay (1987) desenvolveu, também a partir da carta psicrométrica, sua faixa de conforto térmico; esta depende apenas das temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio da região da qual se pretende aplicar o estudo de conforto. O autor afirma que a neutralidade térmica – quando os usuários não sentem nem frio nem calor – é dada pela temperatura média da região.

2.4.2 Diagramas antropoclimáticos aplicados ao clima e à edificação

Fernandes (2020) elaborou diagramas com o objetivo de serem utilizados como apoio para projetos de pequenas edificações e, portanto, orientar o projetista para soluções que reduzam o impacto no desconforto térmico. Os diagramas definidos como antropoclimáticos são divididos em dois tipos: diagrama para análise do clima e diagrama para análise dos dados de temperaturas simuladas no interior da edificação.

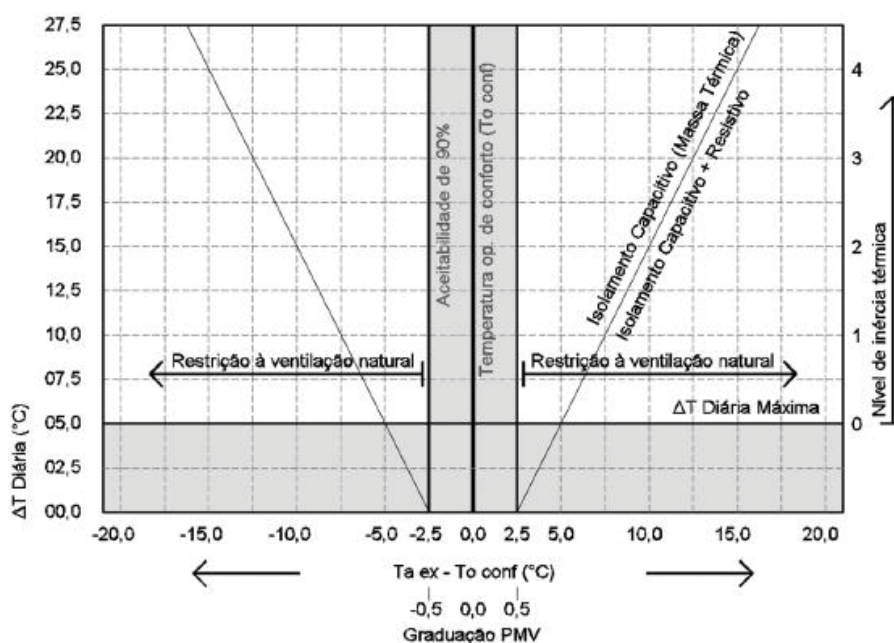
A definição da faixa de conforto térmico destes diagramas foi delimitada por Fernandes (2020) conforme o modelo adaptativo para construções naturalmente ventiladas descrito na ASHRAE (2017).

2.4.2.1 Diagrama para análise dos dados do clima

O diagrama antropoclimático para análise do clima para aceitabilidade de 90% dos usuários é representado pelo Gráfico 2.7, a partir dele é possível identificar as orientações que são dadas, como o nível de inércia térmica recomendado, restrição à ventilação natural e o uso de isolantes térmicos (FERNANDES, 2020). Depois de plotados os dados no gráfico, é possível analisar a localização dos dados e avaliá-los pelas orientações:

- Se os dados se encontram na faixa central estão dentro da faixa de conforto térmico;
- Se as temperaturas se concentram dentro das linhas diagonais e fora da faixa de conforto é recomendado o isolamento capacitivo;
- Se as temperaturas se concentram fora das linhas diagonais é recomendado o isolamento capacitivo e resistivo;
- Se os dados plotados se encontram mais periféricos, a restrição à ventilação natural é maior;
- Os níveis de inércia térmica recomendados estão representados pela lateral vertical à direita do gráfico, quanto mais superior os dados se encontram maior o nível de inércia térmica recomendado.

Gráfico 2.7 - Diagrama antropoclimático para análise do clima local

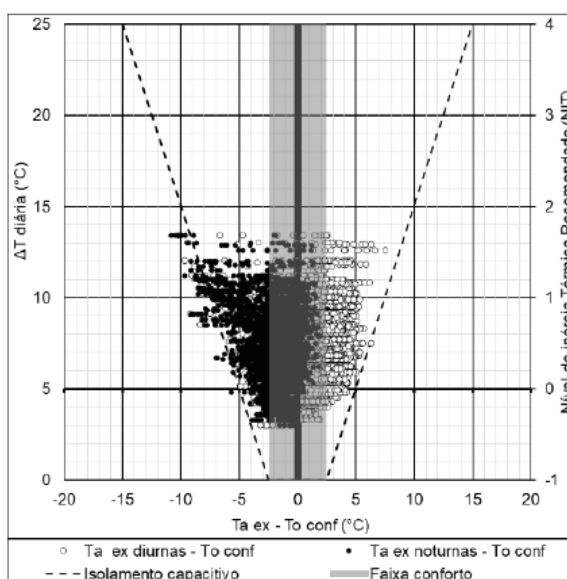


Fonte: Fernandes (2020)

Os dados de entrada necessários para realizar a plotagem do diagrama são as temperaturas externas do ar, a partir delas outras variáveis são calculadas, como: temperaturas médias diárias, amplitude térmica diária e temperaturas operativas neutras (FERNANDES, 2020).

Após a entrada de dados e a plotagem dos dados processados, é possível analisar as soluções construtivas para a edificação, como no Gráfico 2.8, do qual é exemplificado o caso de Salvador.

Gráfico 2.8 - Diferenças entre as 'temperaturas internas do ar estimadas' e as 'temperaturas operativas neutras' para Salvador



Fonte: Fernandes (2020)

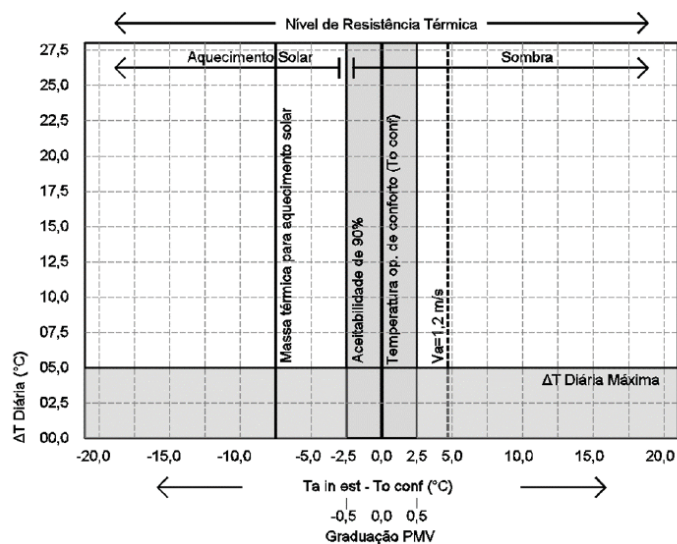
Neste exemplo de Salvador, é visível que as temperaturas externas tendem a se concentrar sobre faixa de conforto, porém grande parte ainda fora do recomendado; e um nível maior de inércia térmica na edificação é indicado para que o conforto térmico no interior da habitação seja de fato atingido.

2.4.2.2 Diagrama para análise dos dados do ambiente interno simulado

O diagrama antropoclimático para análise das temperaturas internas ocorre após as diretrizes obtidas do diagrama do clima e a aplicação destas na edificação. Para este diagrama é necessária a simulação das temperaturas internas da edificação; o autor, Fernandes (2020), simula por meio do método preditivo, porém também é possível realizar as simulações por um *software* apropriado para tal função.

A estrutura do diagrama é dividida por algumas zonas: no centro é possível visualizar a faixa de temperatura operativa de conforto no ambiente; na parte superior há indicações da necessidade de aquecimento solar ou sombreamento se as temperaturas estiverem fora da faixa de conforto, sendo à esquerda a representação do limite de massa térmica para o aquecimento e à direita o limite da velocidade de ar (FERNANDES, 2020). O Gráfico 2.9 ilustra o diagrama antropoclimático para 90% de aceitabilidade de horas de conforto para análise das temperaturas internas da edificação após simulação.

Gráfico 2.9 - Diagrama antropoclimático para análise da temperatura interna da habitação, considerando 90% de aceitabilidade



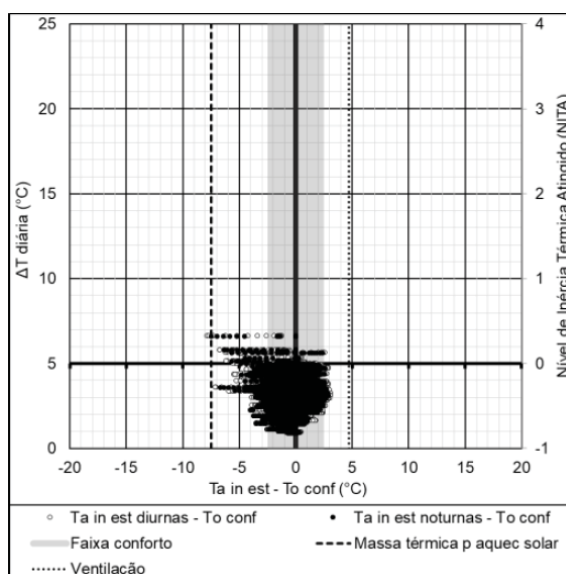
Fonte: Fernandes (2020)

Após os dados plotados é possível analisá-los conforme a localização dos pontos:

- Os dados que se encontram na faixa ao centro estão dentro das faixas de conforto;
- Os dados fora da faixa de conforto e à esquerda da linha que indica massa térmica para aquecimento é indicada essa técnica de conforto;
- Quanto mais periféricos os dados, maior o nível de resistência térmica indicada para a edificação;
- Os dados que se encontram à esquerda da indicação de aquecimento solar, é indicada esta técnica para obtenção de conforto;
- Os dados à direita da indicação de sombra e fora da faixa de conforto possui esta indicação para solução de conforto térmico na edificação;

Como exemplo para a cidade de Salvador, a plotagem no diagrama é representada pelo Gráfico 2.10, das quais são apresentadas as temperaturas internas estimadas diurnas ($T_{a \text{ in est diurnas}}$) e as temperaturas internas estimadas noturnas ($T_{a \text{ in est noturnas}}$), relacionadas ao nível de inércia térmica atingido (NITA) e à amplitude térmica diária. Por meio do diagrama é possível analisar uma concentração de pontos sobre a faixa de conforto, após as alterações feitas na edificação.

Gráfico 2.10 - Diferenças entre as 'temperaturas internas do ar estimadas' e as 'temperaturas operativas neutras' para Salvador



Fonte: Fernandes (2020)

2.4.3 Normas brasileiras de desempenho térmico

As normas de desempenho térmico vigentes no Brasil são as normas NBR 15.575 (ABNT, 2013) e 15.220 (ABNT, 2003). A primeira a ser elaborada foi a NBR 15.220, publicada em 2003 e focando na avaliação de habitações unifamiliares de até três pavimentos; nesta norma encontra-se também o zoneamento bioclimático por meio do diagrama de Givoni (1992). Essa norma recomenda a utilização de diferentes tipos de envoltória para cada uma das oito zonas bioclimáticas, baseando-se nas propriedades físicas dos materiais, além da recomendação de possíveis sombreamentos e aberturas para ventilação natural.

Em 2008 foi publicada a primeira versão NBR 15.575 com o intuito de estudar as edificações de até cinco pavimentos, mas em 2013 foi revisada ampliando seu conceito para o desempenho de edificações, abrangendo não somente o

desempenho térmico como também outros parâmetros. A NBR 15.575, assim como a NBR 15.220, recomenda a utilização de envoltórias para a edificação utilizando parâmetros físicos. As Tabela 2.6 e Tabela 2.7 expõem os parâmetros físicos necessários para parede e cobertura, respectivamente, para atingir o desempenho térmico da habitação.

Tabela 2.6 - Recomendações de parâmetros físicos para paredes

		ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
NBR 15.220	Transmitância térmica (W/m²K)	≤ 3,0		≤ 3,6	≤ 2,2	≤ 3,6	≤ 2,2		≤ 3,6
	Atraso térmico (h)	≤ 4,3		≤ 4,3	≥ 6,5	≤ 4,3	≥ 6,5		≤ 4,3
	Fator solar (%)	≤ 5,0		≤ 4,0	≤ 3,5	≤ 4,0	≤ 3,5		≤ 4,0
	Absortância solar	≤ 0,4		≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,3	≤ 0,4		≤ 0,3
NBR 15.575	Transmitância térmica (W/m²K)	≤ 2,5		≤ 3,7 para absortância ≤0,6					
	< 2,5 para absortância > 0,6								
	Capacidade térmica (kJ/m²K)	≥ 130							-

Fonte: Adaptado de ABNT (2003, 2013)

Tabela 2.7 - Recomendações de parâmetros físicos para coberturas

		ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
NBR 15.220	Transmitância térmica (W/m ² K)	≤ 2,0							≤ 2,3FT
	Atraso térmico (h)	≤ 3,3						≥ 6,5	≤ 3,3
	Fator solar (%)	≤ 6,5							
	Absortância solar	≤ 0,8							≤ 0,7
NBR 15.575	Transmitância térmica (W/m ² K)	≤ 2,3		≤ 2,3 para absortância ≤ 0,6				≤ 2,3FT ² para absortância ≤ 0,4	
				< 1,5 para absortância > 0,6				> 1,5FT ² para absortância > 0,4	

- Considerando $FT = 1,17 - 1,07h^{-1,04}$

Fonte: Adaptado de ABNT (2003, 2013)

Como é possível avaliar pelas Tabelas 2.6 e 2.7, os valores dos parâmetros não são coincidentes entre as normas. Além do mais, alguns estudos já analisaram o desempenho de edificações utilizando estes parâmetros e suas conclusões não foram satisfatórias. Matos (2007) estudou os parâmetros para Florianópolis e concluiu que os índices de atraso térmico por ele estabelecidos para obtenção de desempenho térmico estão invertidos com as recomendações da norma. Ferreira, Souza e Assis (2017) estudaram e compararam o efeito da utilização das normas com simulações, os autores estabeleceram a falta de consenso entre alguns pontos; em algumas zonas bioclimáticas, por exemplo a zona 7, o método de simulação apontou recomendações de coberturas leves e isolantes, enquanto a norma estabelece coberturas pesadas.

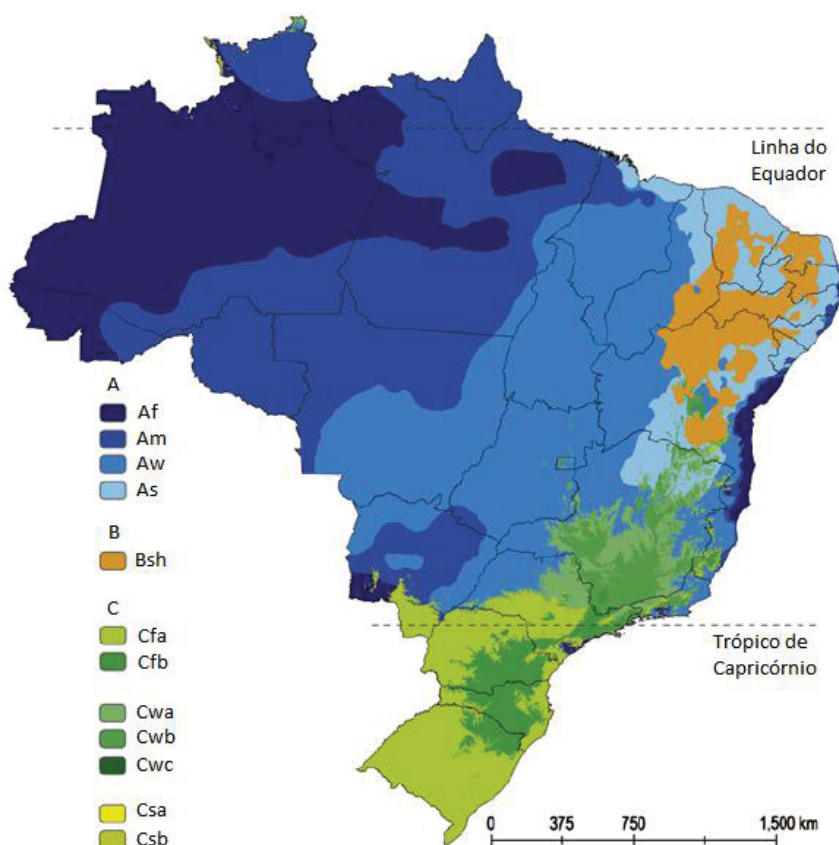
2.5 CLIMAS NAS REGIÕES DE ESTUDO

A classificação climática mais amplamente utilizada para definição de tipos de clima é a classificação de Köppen-Geiger; a classificação de Köppen foi publicada pela primeira vez em 1901 e foi baseada na vegetação dos diferentes territórios analisados, sendo revisada e aperfeiçoada em 1936 por Geiger (SILVA, 1994).

Na análise de Köppen para elaboração da classificação climática, a temperatura e a chuva são protagonistas na determinação da cobertura vegetal, portanto Köppen caracterizou-os quantitativamente. As delimitações dos climas também foram selecionadas a fim de delimitar as vegetações entre os territórios (SERRA, 1975).

Na classificação de Köppen-Geiger, as regiões são divididas em cinco grandes grupos, são eles: grupo A (tropical), grupo B (seco), grupo C (temperado), grupo D (continental), grupo E (polar). Os grupos que abrangem o território brasileiro são o grupo A, B e C, como pode ser visualizado na Figura 2.5 (ALVARES et al., 2013).

Figura 2.5 - Classificação bioclimática brasileira por Köppen-Geiger



Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2013)

O grupo A – que representa a maior área do território brasileiro – é definido por altas temperaturas, contendo média acima de 18°C ao longo do ano com chuvas significativas, também contém subcategorias; são elas:

- Af (clima equatorial);
- Am (clima monçônico);
- Aw ou As (clima savânico).

O grupo B é delimitado por baixa precipitação ao longo do ano, comum em algumas áreas do nordeste brasileiro, sendo subdividido em:

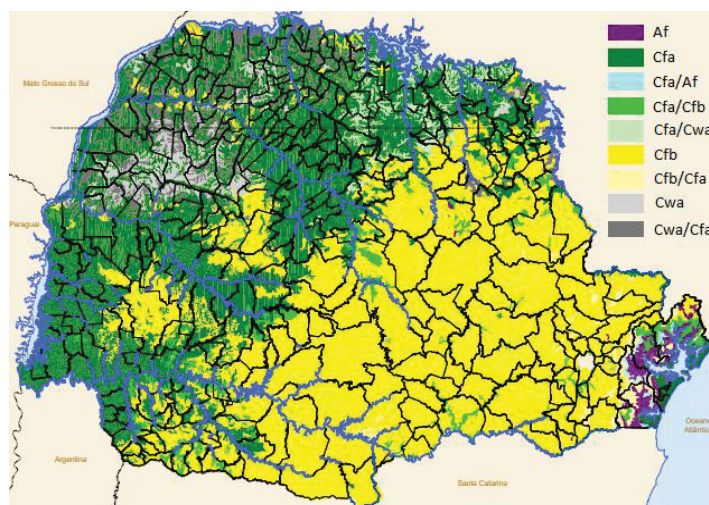
- BWh (clima desértico quente);
- BWk (clima desértico frio);
- BSh (clima semiárido quente);
- BSk (clima semiárido frio).

O grupo C é definido por temperaturas amenas ao longo do ano, com temperatura média do mês mais frio entre – 3 °C e 18 °C; está mais presente na região sul do país, possuindo subcategorias, sendo elas:

- Cfa (clima subtropical úmido);
- Cfb (clima oceânico temperado);
- Cfc (clima oceânico subpolar);
- Cwa (clima subtropical úmido);
- Cwb (clima subtropical de altitude);
- Cwc (clima subtropical frio de altitude);
- Csa (clima mediterrâneo de verão quente);
- Csb (clima mediterrâneo de verão fresco);
- Csc (clima mediterrâneo de verão frio).

Segundo dados do Instituto de terras, cartografia e geociências do Paraná - ITCG (2019), o Paraná abrange muitos climas em seu território, totalizando nove climas; em maior abrangência estão classificados os climas Cfa e Cfb com alguns pontos, como pode ser visualizado na Figura 2.6.

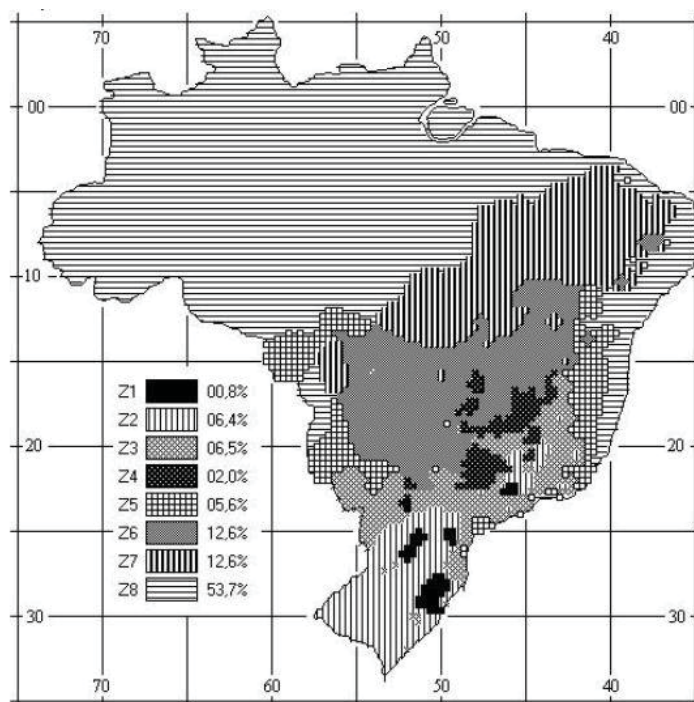
Figura 2.6 - Classificação bioclimática para o estado do Paraná por Köppen-Geiger



Fonte: Adaptado de ITCG (2019)

Porém, a norma brasileira 15.220 (ABNT, 2003) divide o zoneamento climático brasileiro, de forma mais simplificada, em oito grupos. Na Figura 2.7 é possível identificar os grupos bioclimáticos que compõe o estado do Paraná, são eles: Z1, Z2, Z3 e Z5; com maior abrangência da Z2 e alguns pontos relacionados à Z1, Z3 e à Z5.

Figura 2.7 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2003)

Entretanto, a fim de estudar o comportamento térmico de HUIS no estado do Paraná, a necessidade de um estudo de clima mais detalhado para análise térmica de edificações surgiu para validação de resultados mais concretos. As zonas utilizadas no zoneamento bioclimático brasileiro são referentes a regiões com semelhanças climáticas, considerando temperaturas máximas, mínimas e umidade relativa do ar. Porém, uma análise climática mais específica referente a estas variáveis é viável para uma possível caracterização do clima.

Como neste trabalho serão desenvolvidas análises de níveis adequados de inércia térmica para o estado do Paraná, é de suma importância a amplitude térmica no local analisado e a temperatura interna da edificação; portanto, será formulado um zoneamento climático local a partir dos pontos de fluatubilidade da temperatura interna da habitação.

2.6 ESTUDOS REALIZADOS ACERCA DO DESEMPENHO TÉRMICO EM HUIS

Apesar de recente, muitas pesquisas acerca do comportamento térmico em edificações já foram realizadas no Brasil a fim de discutir a qualidade e a construção das habitações brasileiras. As primeiras pesquisas analisaram o desempenho térmico de coberturas de edificações. Lamberts (1983) desenvolveu uma metodologia para estudar o desempenho térmico de coberturas com ático, elaborando um modelo matemático e testando para três tipos diferentes de coberturas. Oliveira (1984) estudou de forma experimental o comportamento térmico de algumas alternativas de coberturas em cimento-amianto, considerando o período de verão em Porto Alegre.

Já um dos primeiros estudos relacionando o desempenho térmico da edificação com todos seus componentes foi o trabalho de Akutsu e Vittorino (1997) do qual, utilizando um estudo de caso em uma edificação em São Paulo, foram consideradas condições térmicas relativas ao clima, da inércia da edificação e dos ocupantes para assim avaliar o desempenho térmico do objeto em estudo. Portanto, as primeiras conclusões de um estudo brasileiro relativas ao desempenho térmico de edificações englobaram a importância de sombreamentos em janelas e principalmente a necessidade de próximos estudos relacionados ao tema em função da carência de pesquisas.

A partir dos estudos citados, o tema de desempenho termoenergético começou a ter mais notoriedade na academia brasileira e outras pesquisas começaram a surgir. Barbosa (1997) através de sua tese intitulada “Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares” foi um dos primeiros estudiosos sobre a aplicação do tema de desempenho térmico em HUIS. Utilizando sua pesquisa, Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para avaliação do desempenho térmico em edificações unifamiliares a partir de dados das Companhias de Habitação Popular (COHAB).

Barbosa (1997) primeiramente estudou a composição das construções realizadas pela COHAB e a partir de um levantamento selecionou cinco habitações na cidade de Londrina com características semelhantes, mas que tivessem diferenças notórias em relação aos seus componentes de vedação. Os critérios para avaliar o desempenho térmico das habitações contou com simulações

computacionais que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa, para que assim a autora confirmasse as condições de conforto da população local, estabelecendo um limite de horas anuais de desconforto relacionados à realidade econômica e cultural da região. A partir do limite de desconforto térmico, Barbosa (1997) parametrizou o desempenho térmico em relação da transmitância e absortividade das paredes e coberturas, sombreamentos e ventilação.

Além dos levantamentos em campo e das simulações realizadas – que posteriormente seriam base para uma avaliação por desempenho – a autora também propôs uma avaliação por prescrição, baseada esta forma é mais rápida, mecânica e dependendo mais imprecisa, e, conforme a autora, ela é recomendada a quem não possui ferramentas de simulação.

Dentro do escopo das habitações unifamiliares, pesquisas acerca do desempenho térmico exercido por essas construções foram ganhando volume ao longo dos anos. Pereira (2009) estudou a influência da envoltória no desempenho térmico de habitações unifamiliares, considerando ventilação natural e a ocupação dos usuários. A autora utilizou como objeto de estudo um edifício real do qual foram feitas medições e posteriormente simulações baseadas na mesma edificação para assim calibrar seu modelo geométrico. A partir dos resultados foi concluído que as propriedades térmicas da envoltória de fato exercem grande influência na edificação, inclusive quando ventilada naturalmente, sendo que o modelo não ventilado obteve resultados mais satisfatório de conforto. A influência mais relevante no desempenho do modelo foi relacionada à capacidade térmica da envoltória, tendo a transmitância térmica fraca influência em seus resultados.

Marques (2013) contribuiu com as pesquisas de desempenho térmico em habitações de interesse social analisando a influência da transmitância térmica da envoltória e de parâmetros como ventilação natural e inércia térmica. Sua pesquisa foi realizada para o clima da cidade de São Carlos, São Paulo, e a partir da seleção de uma tipologia unifamiliar térrea para ser utilizada como modelo geométrico das simulações. A partir de seus resultados, a autora conclui que para o clima estudado os melhores valores de desempenho térmico estão associados à baixa transmitância das paredes e coberturas. Marques (2013) também conclui que existe uma dificuldade para estabelecer os limites de transmitância sem considerar outros parâmetros existentes na construção, ou seja, o resultado é mais visível em uma análise conjunta dos fatores que influenciam no desempenho da habitação.

Krüger (2003) também colaborou para as pesquisas brasileiras de desempenho térmico, porém utilizando material construtivo alternativo. O autor avaliou o desempenho de um protótipo habitacional construído com blocos ISOPET, uma combinação de isopor e garrafas plásticas. De acordo com o autor, a partir da medição das temperaturas internas, os resultados indicam que as temperaturas de desconforto diminuíram com a inserção do material alternativo, tampouco como as temperaturas de pico que sofreram amortecimento.

Fernandes et al. (2015) utilizaram uma metodologia alternativa para a avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social: equações preditivas. Segundo os autores, essas equações preditivas obtidas por análise de regressão estimam as temperaturas internas diárias mínimas, médias e máximas. O experimento foi realizado em Curitiba em célula teste, e seus resultados mostraram-se positivos, com pequenas diferenças relacionadas às temperaturas medidas.

No que tange pesquisas relacionadas ao conforto térmico, muitas destas relacionam e questionam as normas de desempenho brasileiras: NBR 15.220 e NBR 15.575. Ferreira, Souza e Assis (2015) compararam o desempenho térmico de envoltórias recomendadas por normas de desempenho térmico; esta análise foi feita realizando simulações em oito cidades brasileiras representando cada zona bioclimática. Os autores também apontaram pontos equivocados nas normas, como por exemplo os valores limites de propriedades térmicas que diferem entre as próprias normas para uma mesma zona.

A inércia térmica, outra questão abordada pelos autores, também se contradiz entre as normas de desempenho; a NBR 15.575 define um valor mínimo para a capacidade térmica de paredes, já a NBR 15.220 aborda o tema restringindo o valor do atraso térmico para um valor máximo em paredes leves e um valor mínimo para paredes pesadas, não abordando assim de forma equivalente o mesmo tema presente em ambas as normas. A partir das simulações, os autores compararam os resultados obtidos com as recomendações das normas de desempenho com as recomendações das planilhas de Mahoney, e em geral as recomendações de Mahoney apresentaram-se mais apropriadas, e em muitos casos as temperaturas internas do ar mostraram-se mais baixas que as simuladas pelas normas.

Brito et al. (2012) e Chvatal (2014) também contribuíram com pesquisas relacionando as incoerências da NBR 15.575 para avaliação e contribuindo com sugestões. Brito et al. (2012) avaliaram o método simplificado da avaliação de

desempenho – presente na atual NBR 15.575 – que apresenta valores limites para as propriedades térmicas da edificação, sem considerar o projeto em questão. Este método, segundo os autores, mostrou-se limitado, principalmente em relação à transmitância térmica. Chvatal (2014) também questiona as avaliações de desempenho do método simplificado da NBR 15.575. A autora indica que o procedimento não representa de forma correta os impactos da transmitância e da absorptância da envoltória da edificação, levando a classificações de desempenho equivocadas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho compreende a realização de um zoneamento climático baseado na amplitude térmica do clima e do nível de inércia térmica recomendado de cada cidade paranaense, além de um estudo do desempenho térmico da envoltória de uma HUIS mediante a análise da inércia térmica da construção. Portanto, o método deste trabalho é embasado principalmente em duas etapas. A primeira consiste no cálculo do nível de inércia térmica relativa recomendado (NITRR) para as cidades do Paraná juntamente com o desenvolvimento de mapas com tais informações, e a segunda etapa consiste no cálculo do nível de inércia térmica atingido (NIT) através de simulações computacionais. Os detalhes de cada etapa estão descritos abaixo.

1. **Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativo recomendados (NITRRs):** nesta fase é realizado o levantamento dos dados climáticos nas cidades do Paraná para mapear as amplitudes térmicas ao longo do território paranaense e também para desenvolver os mapas com os níveis de inércia recomendados para cada cidade paranaense (são levantados dados climáticos também de cidades de outros estados que se aproximam do Paraná, para realizar interpolação dos dados);
2. **Simulação computacional para cálculo dos níveis de inércia térmica atingidos (NITs):** é a partir das simulações computacionais que serão obtidos os valores de temperatura interna das habitações para então obter os níveis de inércia térmica atingidos de cada habitação nas cidades do estado do Paraná. Para o desenvolvimento das simulações é necessária a definição do modelo geométrico da habitação a ser estudada e dados de entrada no software como: configurações construtivas do modelo, cargas internas de equipamentos, ocupação e iluminação, *schedules* de operação e a definição do modo de ventilação a ser simulado.

Os procedimentos e dados utilizados em cada etapa descrita acima são descritos nos subcapítulos sequenciais. O método para análise dos dados gerados por simulação, na etapa 2, considera as amplitudes térmicas diárias externas e

internas nos percentis 99, 97,5 e 95 e compara os resultados com seus respectivos valores de NITRRs.

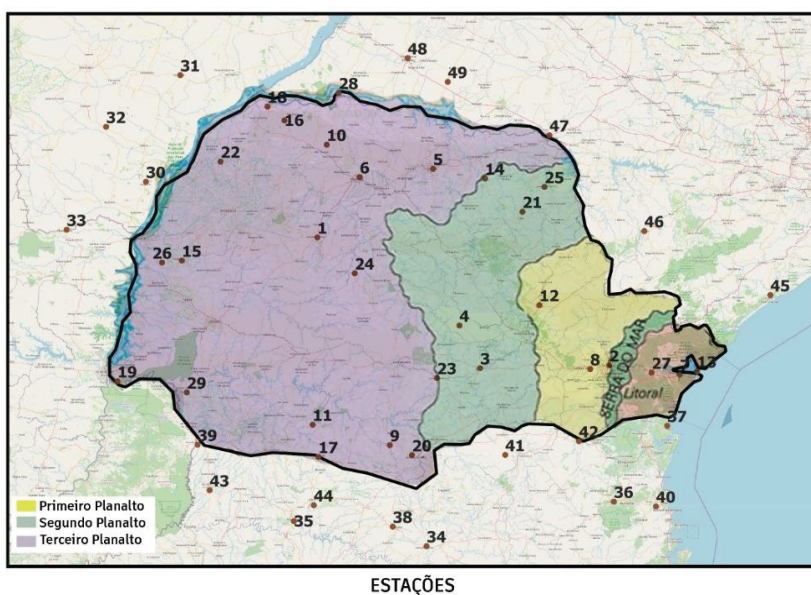
Os percentis são utilizados na estatística descritiva para medir amostras e isolar aparições numéricas extremas de acordo com seu grau correspondente. Se utilizado um percentil de valor 95, a amostra estatística é dividida em cem partes cada uma com uma percentagem de dados aproximadamente igual, e apenas são avaliados os valores abaixo de 95% dos dados.

3.1 MAPEAMENTO DOS NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA RELATIVOS RECOMENDADOS

3.1.1 Dados climáticos

Os dados climáticos utilizados para o estudo de zoneamento foram fornecidos pelo INMET (2020), IAPAR (2020) e Agri tempo (2020). Para realizar o mapeamento das amplitudes térmicas máximas no Estado do Paraná também foram utilizados os dados de estados adjacentes, como Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. As estações meteorológicas utilizadas nesta pesquisa estão localizadas na Figura 3.1 e Tabela 3.1.

Figura 3.1 - Localização das estações meteorológicas



Fonte: A autora (2020)

Tabela 3.1 - Estações meteorológicas utilizadas no mapeamento das amplitudes térmicas diárias

	MUNICÍPIO	ESTADO	FONTE	Nº ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
1	Campo Mourão	PR	INMET	83783	-24,0500	-52,3600	616,40
2	Curitiba	PR	INMET	83842	-25,4300	-49,2600	923,50
3	Irati	PR	INMET	83836	-25,4600	-50,6300	836,95
4	Ivaí	PR	INMET	83811	-25,0000	-50,8500	808,00
5	Londrina	PR	INMET	83766	-23,3100	-51,1300	566,00
7	Maringá	PR	INMET	83767	-23,4000	-51,9100	542,00
7	Paranaguá	PR	INMET	83844	-25,5300	-48,5100	4,50
8	Lapa	PR	IAPAR	2549091	-25,4700	-49,4600	910,00
9	Palmas	PR	IAPAR	2651043	-26,2900	-51,5900	1100,00
10	Paranavaí	PR	IAPAR	2352017	-23,0500	-52,2600	480,00
11	Pato Branco	PR	IAPAR	2652035	-26,0700	-52,4100	700,00
12	Castro	PR	EMBRAPA/INMET	9000668	-24,7800	-50,0000	424,00
13	Ilha do Mel	PR	EMBRAPA/INMET	9000106	-25,4945	-48,3259	4,00
14	Nova Fátima	PR	EMBRAPA/INMET	9000517	-23,4152	-50,5778	663,00
15	Palotina	PR	EMBRAPA/INMET	9000660	-24,3000	-53,8000	316,00
16	Terra Rica	PR	EMBRAPA/INMET	9012974	-22,7877	-52,7100	463,00
17	Clelândia	PR	EMBRAPA/INMET	9000270	-26,4172	-52,3488	966,00
18	Diamante do Norte	PR	EMBRAPA/INMET	9000450	-22,6394	-52,8901	368,00
19	Foz do Iguaçu	PR	EMBRAPA/INMET	9000306	-25,6017	-54,4842	237,00
20	General Carneiro	PR	EMBRAPA/INMET	9000407	-26,3986	-51,3544	1007,00
21	Ibaiti	PR	EMBRAPA/INMET	9000547	-23,7731	-50,1806	694,00
22	Icaraíma	PR	EMBRAPA/INMET	9000561	-23,2325	-53,3895	241,00
23	Inácio Martins	PR	EMBRAPA/INMET	9000554	-25,5658	-51,0894	1171,00
24	Iretama	PR	EMBRAPA/INMET	9000647	-24,4373	-51,9631	661,00
25	Joaquim Távora	PR	EMBRAPA/INMET	9000269	-23,5053	-49,9464	517,00
26	Marechal Cândido Ron.	PR	EMBRAPA/INMET	9000317	-24,3209	-54,0111	333,00
27	Morretes	PR	EMBRAPA/INMET	9000346	-25,5090	-48,8087	53,00
28	Paranapoema	PR	EMBRAPA/INMET	9000631	-22,4917	-52,1344	355,00
29	Planalto	PR	EMBRAPA/INMET	9000316	-25,7217	-53,7481	399,00
30	Itaquirai	MS	EMBRAPA/INMET	9000257	-23,4494	-54,1817	337,00
31	Ivinhema	MS	EMBRAPA/INMET	9000289	-22,3000	-53,8166	362,00
32	Juti	MS	EMBRAPA/INMET	9000619	-22,8572	-54,6056	376,00
33	Sete Quedas	MS	EMBRAPA/INMET	9000319	-23,9669	-55,0242	397,00
34	Campos Novos	SC	INMET	83887	-27,3800	-51,2000	946,67
35	Chapecó	SC	INMET	83883	-27,1100	-52,6100	679,01
36	Indaial	SC	INMET	83872	-26,9000	-49,2100	86,13
37	Itapoá	SC	EMBRAPA/INMET	9000310	-26,0813	-48,6417	6,00
38	Joaçaba	SC	EMBRAPA/INMET	9000305	-27,1693	-51,5590	767,00
39	Dionísio Cerqueira	SC	EMBRAPA/INMET	9000272	-26,2864	-53,6328	810,00
40	Itajaí	SC	EMBRAPA/INMET	9000524	-26,9508	-48,7619	9,00
41	Major Vieira	SC	EMBRAPA/INMET	9000431	-26,3961	-50,3633	795,00
42	Rio Negrinho	SC	EMBRAPA/INMET	9000413	-26,2485	-49,5806	857,00
43	São Miguel do Oeste	SC	EMBRAPA/INMET	9000343	-26,7769	-53,5045	656,00
44	Xanxerê	SC	EMBRAPA/INMET	9000304	-26,9388	-52,3982	883,00
45	Iguape	SP	EMBRAPA/INMET	9000209	-24,6717	-47,5461	3,00
46	Itapeva	SP	EMBRAPA/INMET	9000430	-23,9814	-48,8853	742,00
47	Ourinhos	SP	EMBRAPA/INMET	9000508	-22,9486	-49,8942	444,00
48	Presidente Prudente	SP	EMBRAPA/INMET	9000420	-22,1166	-51,4000	412,00
49	Rancharia	SP	EMBRAPA/INMET	9000357	-22,3725	-50,9742	398,00

Fonte: A autora (2020)

3.1.2 Mapeamento das amplitudes térmicas diárias no estado do Paraná

O mapeamento das amplitudes térmicas diárias foi realizado a partir dos dados das 49 estações meteorológicas citadas na Tabela 3.1, no subcapítulo “Dados climáticos”. Após o levantamento das amplitudes térmicas diárias de cada estação, iniciou-se o desenvolvimento dos mapas, e para essa realização aplicou-se o método de interpolação geoestatística denominado krigagem ordinária, para visualizar a distribuição do fenômeno em nível espacial. Os *softwares* utilizados neste processo foram o Golden Surfer 13 e o QGIS 3, dos quais são importantes meios de visualização e informação geográfica.

Os municípios que possuíam grande semelhança em suas amplitudes térmicas diárias foram agrupados em perfis climáticos de forma a simplificar as análises térmicas a serem realizadas pelas simulações.

O mapeamento das amplitudes térmicas no estado do Paraná foi realizado para os percentis 99, 97,5 e 95; os mapas encontram-se no Capítulo 4.1.1 “Mapeamento das amplitudes térmicas diárias.”.

3.1.3 Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) para as diferentes regiões paranaenses

Nesta fase da pesquisa foram calculados os níveis de inércia térmica relativos recomendados para as cidades paranaenses a serem analisadas. O cálculo dos níveis de inércia seguiu o método de cálculo descrito no Capítulo 2.3 “Inércia térmica das edificações” e foram calculados os valores dos NITRRs para cada cidade paranaense com valores de referência para 80 e 90% de aceitabilidade dos usuários. Os mapas dos NITRRs nas cidades do Paraná encontram-se no Capítulo 4.1.3 intitulado “Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativos recomendados”.

3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE INÉRCIA TÉRMICA ATINGIDO (NIT)

3.2.1 Definição do modelo geométrico

A unidade de análise desta pesquisa é uma Habitação Unifamiliar de Interesse Social térrea e isolada. Por meio de simulação, serão aplicados e estudados diferentes níveis de inércia e isolamento térmico a fim de estabelecer recomendações para projetistas em função do clima.

Atualmente, no Paraná, as HUIS mais construídas pertencem à modalidade do Programa Morar Bem Paraná (MBP) do Governo Estadual, gerido pela COHAPAR e em parceria com os municípios (COHAPAR, 2019). O Programa se destina a promover moradias para a população de baixa renda no meio urbano e rural, implementar políticas de regularização fundiária e regularizar ocupações urbanas e reassentar famílias (GOVERNO E CIDADÃO, 2019).

As tipologias de construções mais realizadas do Programa Morar Bem no meio urbano são MBP 38, MBP 43, MBP 47 e MBP 50, que possuem 38m², 43m², 47m² e 50m², respectivamente (COHAPAR, 2019). Nas Figuras Figura 3.2, Figura 3.3 e Figura 3.4 são mostradas as plantas de algumas tipologias adotadas pelo Programa; a disposição dos cômodos são muito semelhantes entre si, com a ideia de cozinha, sala de jantar e estar compartilhadas.

Figura 3.2 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 38



Fonte: COHAPAR (2019)

Figura 3.3 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 43



Fonte: COHAPAR (2019)

Figura 3.4 - Planta baixa e ilustração da tipologia MBP 50



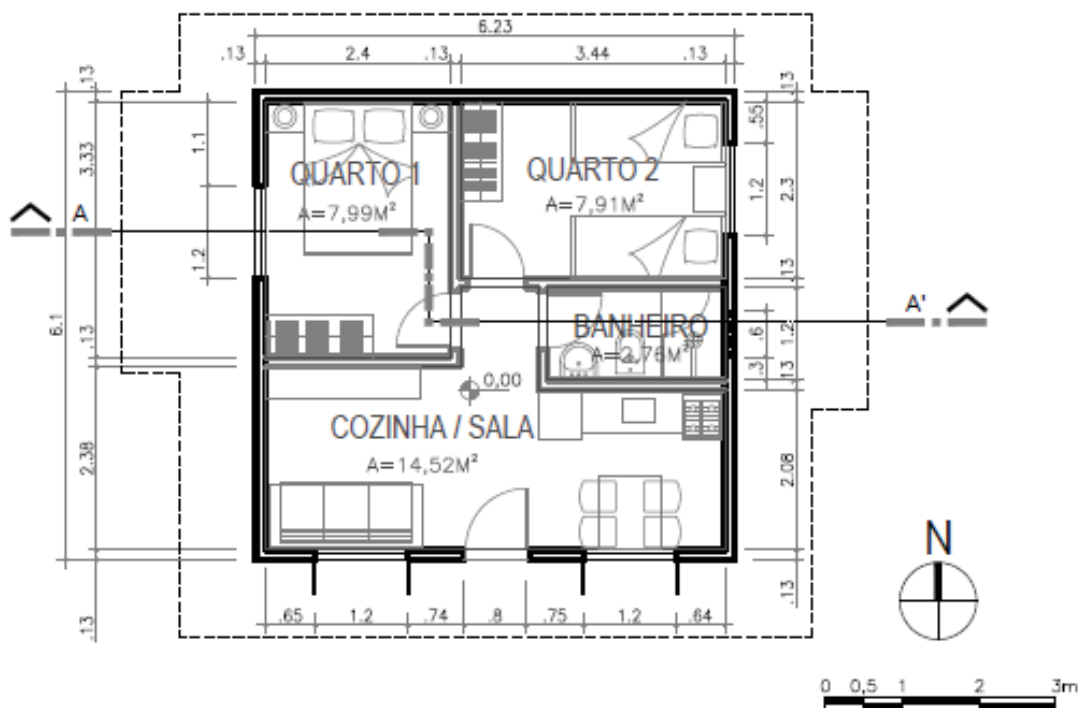
Fonte: COHAPAR (2019)

Neste trabalho, portanto, foi definida como referência para modelagem geométrica da simulação a tipologia MBP 38, tomando como parâmetro o trabalho desenvolvido por Invidiata et al. (2016), onde os autores analisaram o desempenho termoenergético de HUIS em algumas Zonas Bioclimáticas, sendo uma delas a Zona Bioclimática 1, pertencente a capital paranaense Curitiba. Invidiata et al. (2016) analisaram e modelaram a tipologia MBP 38 utilizando o método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

A Figura 3.5 apresenta a planta baixa do projeto desenvolvido com base na tipologia MBP 38 fornecida pela COHAPAR (2019). O projeto apresenta dois quartos

(quarto 1 com $7,99 \text{ m}^2$, e o quarto 2 com $7,91 \text{ m}^2$), um banheiro, com $2,76 \text{ m}^2$, e uma cozinha com sala de estar e jantar conjugadas em $14,52 \text{ m}^2$. O pé direito da habitação é de $2,60 \text{ m}$.

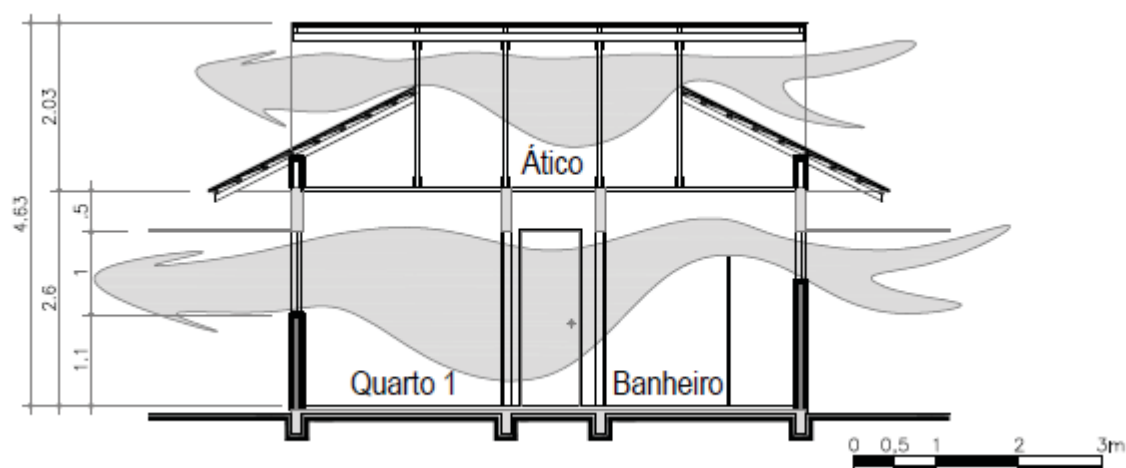
Figura 3.5 – Planta baixa do modelo geométrico



Fonte: A autora (2020) baseada na tipologia MBP38

O modelo para simulação foi baseado na tipologia MBP 38, porém, apresenta algumas alterações em relação a sua referência. Como a base desta pesquisa é a análise da envoltória da habitação por meio do seu nível de inércia térmica de uma habitação que poderia ser construída em qualquer local – dentro das limitações do clima –, foram consideradas mínimas as interferências pela radiação solar, e para tal foram projetados brises com máximos bloqueios nas janelas. Também foi projetada uma cobertura que permite a ventilação cruzada, diminuindo o ganho de calor pela cobertura. O corte AA' do modelo é representado pela Figura 3.6.

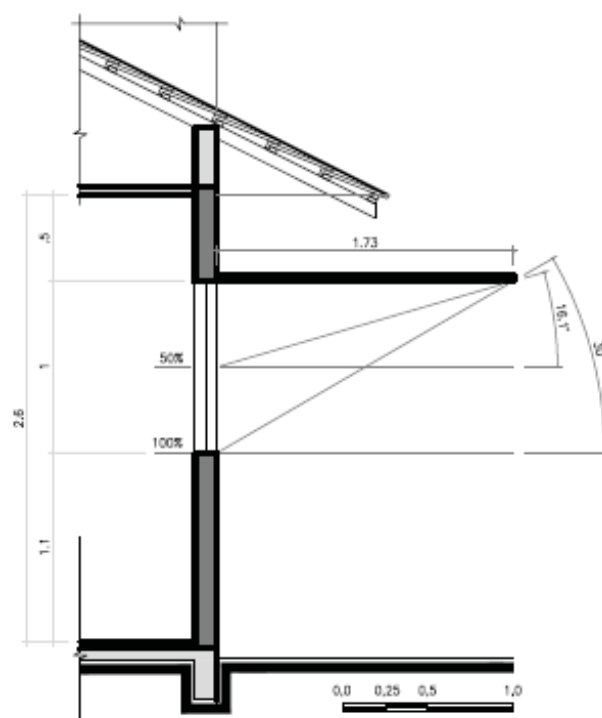
Figura 3.6 - Corte AA' da planta baixa do modelo geométrico



Fonte: A autora (2019) baseada na tipologia MBP38

Os brises projetados para diminuir a incidência de radiação solar direta nas aberturas e também o ganho de calor por radiação obtiveram medidas baseadas na carta solar da latitude média do estado do Paraná. Para as fachadas leste e oeste, os brises que possuem melhor eficiência são os brises horizontais, representados na Figura 3.7; considerando latitude de 25,4°S, para esta habitação a medida ideal para bloqueio de radiação é de 1,73m, da qual foram consideradas janelas com altura de 1m.

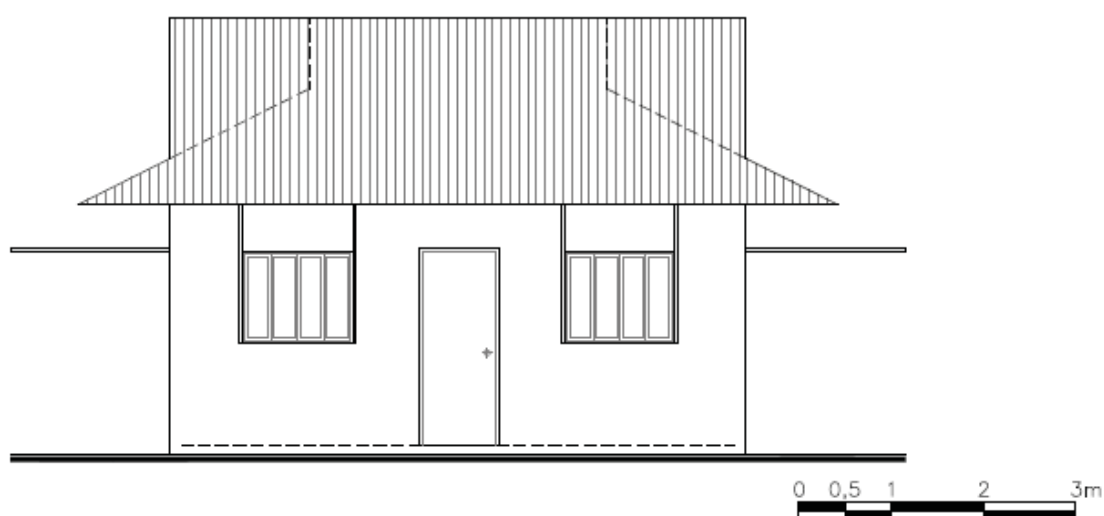
Figura 3.7 - Detalhe dos brises verticais nas fachadas leste e oeste



Fonte: A autora (2020)

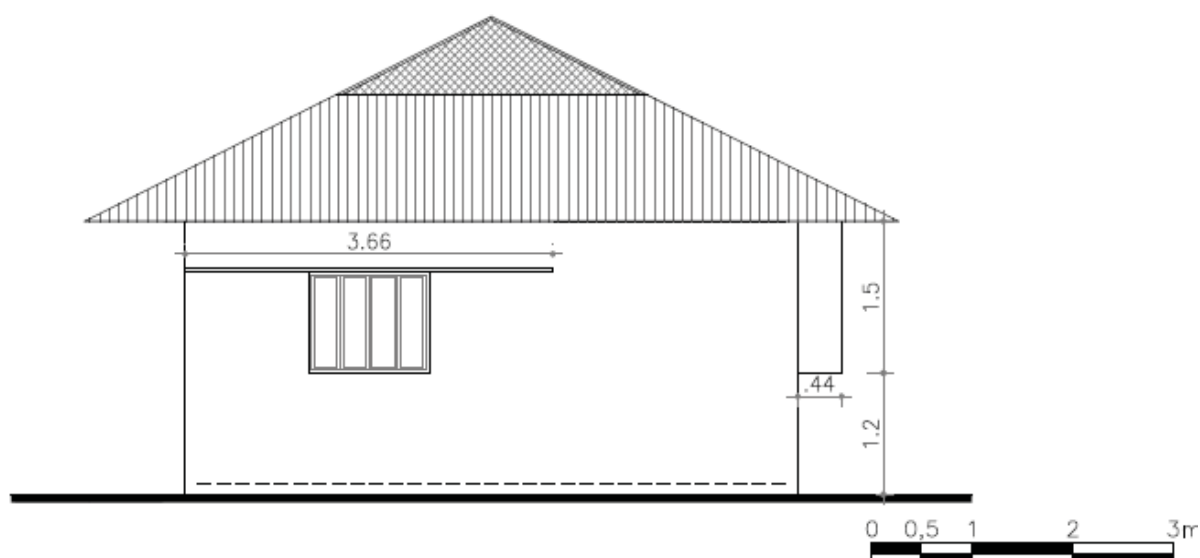
As fachadas sul e oeste estão representadas pelas Figuras Figura 3.8 e Figura 3.9, respectivamente, e a representação do telhado é dada pela Figura 3.10. É possível através das imagens visualizar a implementação dos brises na habitação, bem como o esquema do telhado para permitir a ventilação cruzada. A orientação da habitação foi escolhida como sul para o ambiente com a Sala e a Cozinha, para evitar a incidência solar no maior ambiente da residência, bem como possibilitar que não tenha nenhuma janela na face norte, a fim de evitar ganhos de calor por radiação direta.

Figura 3.8 - Fachada sul do modelo simulado



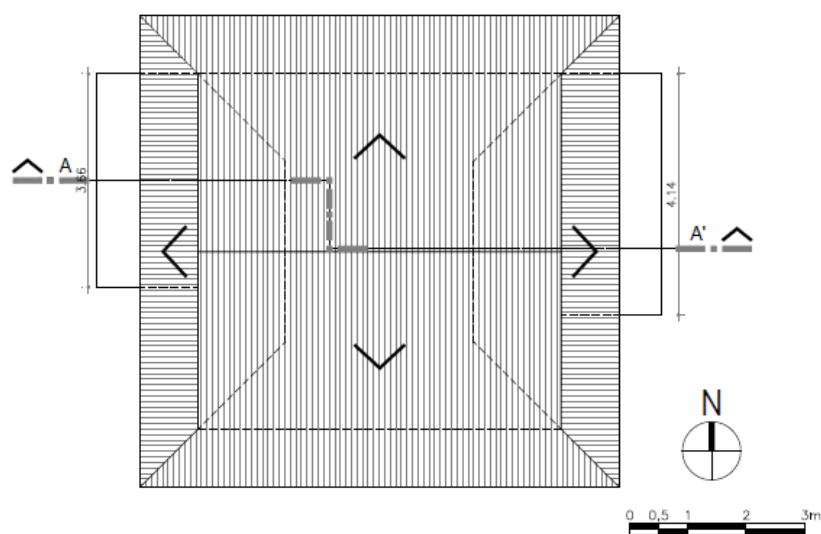
Fonte: A autora (2020)

Figura 3.9 - Fachada oeste do modelo simulado



Fonte: A autora (2020)

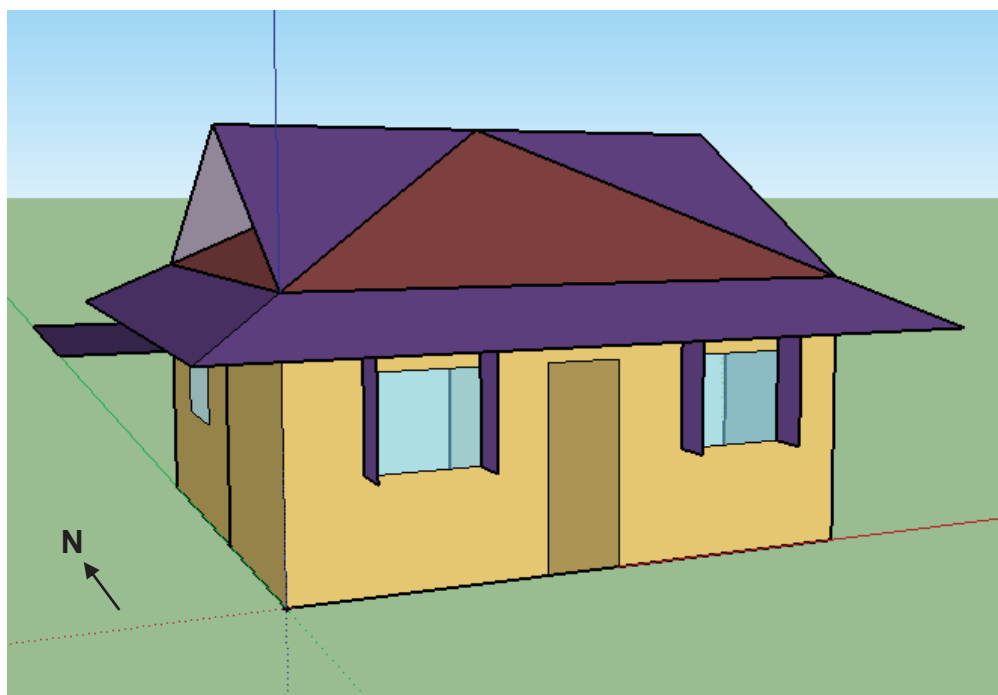
Figura 3.10 - Representação do telhado do modelo a ser simulado



Fonte: A autora (2020)

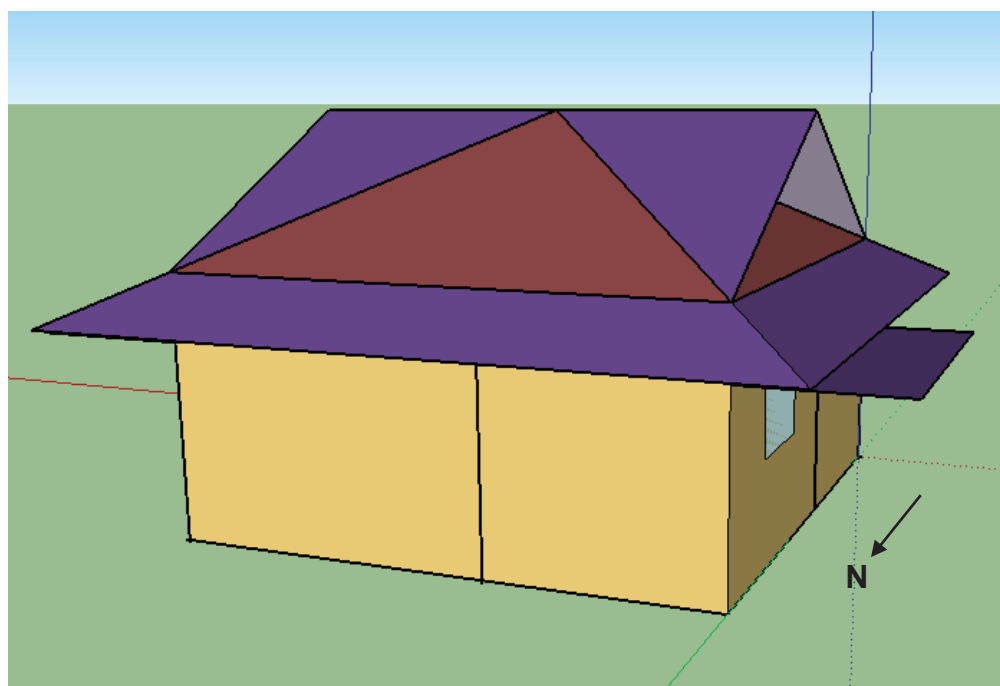
Para realizar a modelagem geométrica, foi utilizado o *plugin* do *OpenStudio* no *software SketchUp*, com este *plugin* é possível criar parâmetros compatíveis com o *EnergyPlus* para assim exportar o modelo e realizar as simulações necessárias; as Figura 3.11 e Figura 3.12 - Modelo geométrico – Vista fachada sul ilustram o modelo geométrico da habitação.

Figura 3.11 - Modelo geométrico – Vista fachada norte



Fonte: A autora (2020)

Figura 3.12 - Modelo geométrico – Vista fachada sul



Fonte: A autora (2020)

Para fins de simplificação do estudo, o sombreamento externo à habitação devido a outras edificações ou componentes urbanísticos não foi considerado, já que não se trata de um modelo específico de uma localidade. Porém, para reduzir o ganho de calor por radiação, modelaram-se os brises na habitação.

3.2.2 Configurações construtivas

A fim de estudar e analisar o desempenho térmico das habitações no estado do Paraná em relação ao nível de inércia térmica, foram analisadas várias configurações construtivas mantendo o mesmo modelo geométrico. Os componentes construtivos dessas habitações foram baseados na Tabela 2.2 no Subcapítulo 2.1.3 “Sistemas construtivos utilizados nas Habitações de Interesse Social”.

Portanto, foram realizadas combinações entre os materiais mais utilizados no Paraná, separando as tipologias entre construções leves e pesadas, como mostra a Tabela 3.2 – Configurações construtivas baseadas nas construções paranaenses

Tabela 3.2 – Configurações construtivas baseadas nas construções paranaenses

	Parede	Telhado	Piso
Configuração 1	Madeira	Forro madeira + Telha barro	Madeira
Configuração 2	Alvenaria com revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
Configuração 3	Alvenaria sem revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

Com base nas configurações originais, foram propostas novas configurações para testes visando obter maiores diferenças em termos de massa térmica de uma configuração para a outra. Procurando comparar os resultados de diferentes sistemas construtivos quanto ao nível de inércia térmica, foram simuladas e analisadas configurações conforme a lista apresentada na Tabela 3.3.

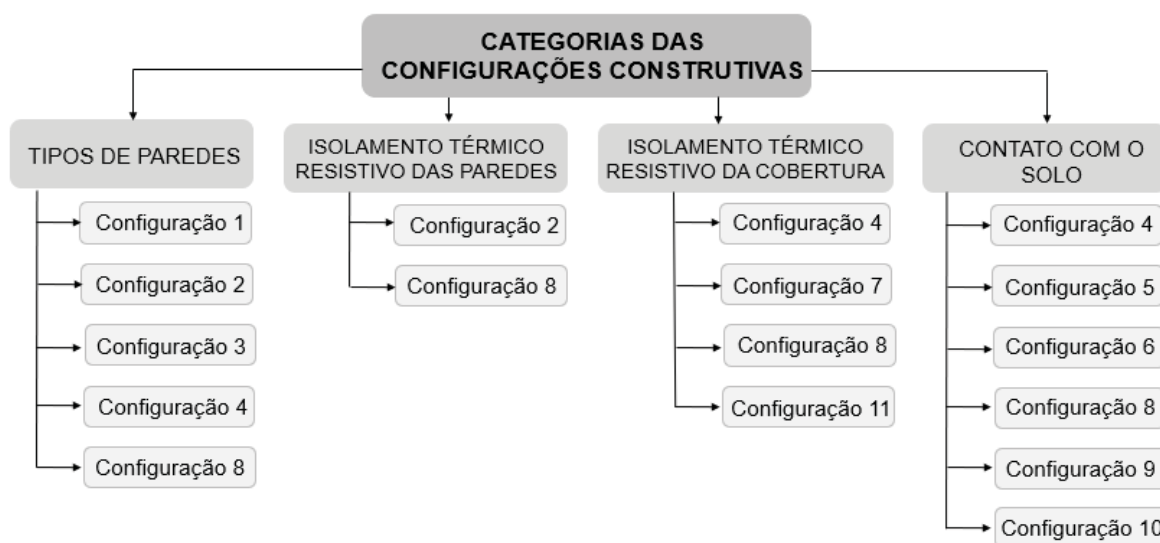
Tabela 3.3 – Configurações construtivas para análise do desempenho térmico de cada habitação

	Parede	Telhado	Piso
Configuração 4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica
Configuração 5	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
Configuração 6	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado
Configuração 7	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica
Configuração 8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica
Configuração 9	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
Configuração 10	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado
Configuração 11	Alvenaria + Isolante	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

Para fins de análise de todas as configurações construtivas simuladas, essas configurações foram divididas em categorias, como: tipo de paredes, isolamento térmico das paredes, isolamento térmico da cobertura e contato com o solo. Essas categorias têm como objetivo focar a análise da simulação e do nível de inércia térmica atingido em um determinado componente construtivo (parede, cobertura e piso). A Figura 3.13 relaciona as categorias das configurações construtivas bem como os próximos subcapítulos detalham cada categoria a ser analisada.

Figura 3.13 - Categorias das tipologias construtivas para análise



Fonte: A autora (2020)

3.2.2.1 Tipos de paredes

Os elementos que compõem as vedações de edificações possuem grande influência em seu desempenho térmico. Na habitação em análise, além de simuladas paredes comuns no território paranaense, como as configurações 1, 2 e 3, também foram simuladas habitações com paredes de maior capacidade térmica, como alvenaria dupla com câmara de ar e alvenaria com isolante de EPS, conforme mostra a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Configurações construtivas dos tipos de paredes

Configuração	Parede	Telhado	Piso
1	Madeira	Forro madeira + Telha barro	Madeira
2	Alvenaria com revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
3	Alvenaria sem revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

3.2.2.2 Isolamento térmico resistivo das paredes

Sabe-se que o isolamento térmico resistivo da envoltória da edificação impacta o nível de inércia térmica. Visando verificar o impacto nos sistemas construtivos analisados nesta pesquisa, foram comparadas três configurações (sem isolamento resistivo e com 1 cm de isolamento resistivo), conforme a Tabela 3.5. Para tanto, foram fixados os elementos de telhado de laje e telha de barro e o piso de cerâmica sem elevação.

Tabela 3.5 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo das paredes

Configuração	Parede	Telhado	Piso
2	Alvenaria com revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

3.2.2.3 Isolamento térmico resistivo da cobertura

Do mesmo modo que observado para as paredes da envoltória, sabe-se que o isolamento térmico resistivo da cobertura também impacta o nível de inércia térmica. Para verificar o impacto nos sistemas construtivos analisados nesta pesquisa, foram comparadas 3 configurações (sem isolamento resistivo e com 1 cm

de isolamento resistivo), conforme a Tabela 3.6. Os elementos fixados para esta análise foram as paredes de maior capacidade térmica (alvenaria dupla e alvenaria com isolante térmico resistivo) e piso de cerâmica sem elevação.

Tabela 3.6 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo da cobertura

Configuração	Parede	Telhado	Piso
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica
7	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica
11	Alvenaria + Isolante	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

3.2.2.4 Contato com o solo

O contato com o solo permite a melhoria do desempenho de sua inércia, fortalecendo o nível de inércia térmica das edificações. Para avaliar o impacto na inércia do modelo de edificação simulado, foram simulados modelos com a habitação sobre o solo, com o piso elevado do solo e sem ventilação entre piso e solo e com o piso elevado do solo e com ventilação entre piso e solo, conforme Tabela 3.7. Para a análise da elevação do piso foram fixados os elementos de parede com alta capacidade térmica (alvenaria dupla e alvenaria com isolante térmico resistivo) e telhado com laje e telha de barro e também com isolante em sua cobertura.

Tabela 3.7 - Configurações construtivas piso em relação ao seu contato com solo

Configuração	Parede	Telhado	Piso
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - sobre o solo
5	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
6	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado

8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - sobre o solo
9	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
10	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado

Fonte: A autora (2020)

3.2.2.5 Características e propriedades térmicas dos materiais

As propriedades térmicas de cada material estão definidas na Tabela 3.8, bem como a composição de cada componente construtivo (parede, telhado e piso) está definido na Tabela 3.9. Os dados utilizados partiram da NBR 15.220 (ABNT, 2003), tanto as propriedades como a composição e espessura de algumas construções. As configurações construtivas que possuem isolante térmico em sua composição, serão simuladas com isolante de EPS.

Tabela 3.8 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados no modelo

Materiais	Densidade ρ (kg/m³)	Condutividade λ (W/(m.K))	Calor específico c (kJ/(kg.K))
Argamassa	2000	1,15	1,00
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Concreto	2400	1,75	1,00
EPS	25	0,040	1,42
Madeira - forro	600	0,15	1,34
Madeira - parede e piso	900	0,29	1,34
Vidro	2500	1,00	0,84

Fonte: A autora (2020) baseada na ABNT (2003)

Tabela 3.9 - Composição das construções

Tabela 6.6 – Composição das construções				
Construção		Camadas	Espessura	Material
Parede	Madeira	Única	3,5 cm	Madeira – parede e piso
	Alvenaria com revestimento	Externa	3,5 cm	Argamassa
		Intermediária	10 cm	Cerâmica
		Interna	3,5 cm	Argamassa
	Alvenaria sem revestimento	Única	10 cm	Cerâmica
	Alvenaria dupla com câmara de ar	Externa	3,5 cm	Argamassa
		Intermediária	10 cm	Cerâmica
		Intermediária	5 cm	Câmara de ar
		Intermediária	10 cm	Cerâmica
		Interna	3,5 cm	Argamassa
	Alvenaria + Isolante	Externa	3,5 cm	Argamassa
		Intermediária	1 cm	EPS
		Intermediária	10 cm	Cerâmica
		Interna	3,5 cm	Argamassa
Cobertura	Forro de madeira	Única	1 cm	Madeira - forro
	Laje	Única	12 cm	Concreto
	Laje + Isolante	Externa	1 cm	EPS
		Interna	12 cm	Concreto
	Telha de barro	Única	1 cm	Cerâmica
Piso	Piso de madeira	Única	2 cm	Madeira – parede e piso
	Piso cerâmico	Externa	10 cm	Concreto
		Intermediária	0,25 cm	Argamassa
		Interna	0,5 cm	Cerâmica
	Cimento	Única	10,5 cm	Concreto

Fonte: A autora (2020) baseada na ABNT (2003)

Foram utilizadas câmaras de ar em duas tipologias: parede em alvenaria com câmara de ar e piso elevado fechado. Segundo a ABNT (2003), a resistência térmica para a câmara de ar para a parede em alvenaria é de 0,16 m².K/W e para o piso elevado é 0,14 m².K/W.

3.2.3 Cargas internas

Menezes (2005) afirma que a carga térmica de um ambiente é determinada pela quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um sistema, para então determinar condições e manutenções térmicas ao ambiente. Ou seja, as cargas térmicas do modelo da simulação compõem a influência de calor nas condições térmicas no ambiente.

Portanto, uma das cargas térmicas que influenciam na composição da habitação no que tange suas condições térmicas é a ocupação do ambiente. Neste modelo a habitação possui dois quartos, assim foi considerada a habitação de três pessoas, já que a média de pessoas por habitação no Paraná é de 3,3 pessoas (ELETROBRAS, 2019b); o *schedule* de ocupação é determinado no Subcapítulo 3.2.4. Na Tabela 3.10 é possível visualizar a fração radiante e a taxa metabólica por atividade realizada em cada ambiente.

Tabela 3.10 - Cargas internas – Pessoas

Ambientes	Fração Radiante	Taxa metabólica (W/pessoa)
Quarto 1	0,3	72
Quarto 2	0,3	72
Cozinha e sala	0,3	126
BWC	0,3	108

Fonte: A autora (2020) baseado no EnergyPlus (2020)

A fração radiante considerada para o modelo foi de 0,3, esse é um valor padrão dado pelo *software EnergyPlus*; este valor foi multiplicado pela energia total sensível emitida pelas pessoas para fornecer a quantidade de ganho de radiação dos usuários em uma zona (ENERGYPLUS, 2019).

A taxa metabólica, como visualizado na Tabela 3.10, é definida por meio das atividades desempenhadas pelos usuários no ambiente considerado. De acordo com o Referencial de *Input/Output* do EnergyPlus (2019) a atividade “dormir” possui taxa metabólica de 72 W/pessoa (considerada nos quartos 1 e 2), no ambiente conjugado sala e cozinha foi considerada a atividade “em pé/relaxando” e possui taxa metabólica de 126 W/pessoa e no banheiro foi considerada a atividade “sentado/quieto” e possui 108 W/pessoa de taxa metabólica.

Outra carga térmica considerada no modelo é a iluminação, neste modelo foi considerado o uso de lâmpadas fluorescentes; nos quartos e banheiro a potência foi determinada com 25 W e na cozinha e sala foi considerado um maior fluxo luminoso, portanto com potência de 40 W, baseada nas informações de uso comum nas residências paranaenses da Eletrobras (2019b).

As frações radiantes e visíveis das lâmpadas também foram consideradas na simulação. Esses valores estão tabelados no Referencial de *Input/Output* do

EnergyPlus (2019) e nesta pesquisa foi considerada a lâmpada de classificação “Downlights, Compact Fluorescent, DTT”. A quantidade de lâmpadas para cada zona térmica está relacionada na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Cargas Internas – Iluminação

Zona térmica	Quantidade de lâmpadas	Potência das lâmpadas (W)	Fração radiante	Fração visível
Quarto 1	1	25	0,04	0,1
Quarto 2	1	25	0,04	0,1
Cozinha e sala	3	40	0,04	0,1
BWC	1	25	0,04	0,1

Fonte: A autora (2020) baseada em ELETROBRAS (2019b) e *EnergyPlus* (2020)

Os equipamentos internos que compõem a habitação também são importantes na composição da carga térmica do modelo. Na Tabela 3.12 é possível identificar os equipamentos elétricos considerados na habitação relacionados a suas potências; a potência de cada equipamento teve referência nos dados de Eletrobras (2019a).

Tabela 3.12 - Cargas internas – Equipamentos

Zona térmica	Equipamento	Potência (W)	Fração radiante
Cozinha e sala	Geladeira	90	0,4
	Televisão 29"	110	0,4

Fonte: A autora (2020) baseada nos dados de Eletrobras (2019a)

Não foram considerados equipamentos como fogão e micro-ondas para essa simulação pois são equipamentos que possuem grande dissipação de energia quando ligados, podendo alterar os resultados das simulações por conta da sua utilização. Como esses equipamentos também possuem *schedules* singulares para cada família, é muito difícil prever sua utilização.

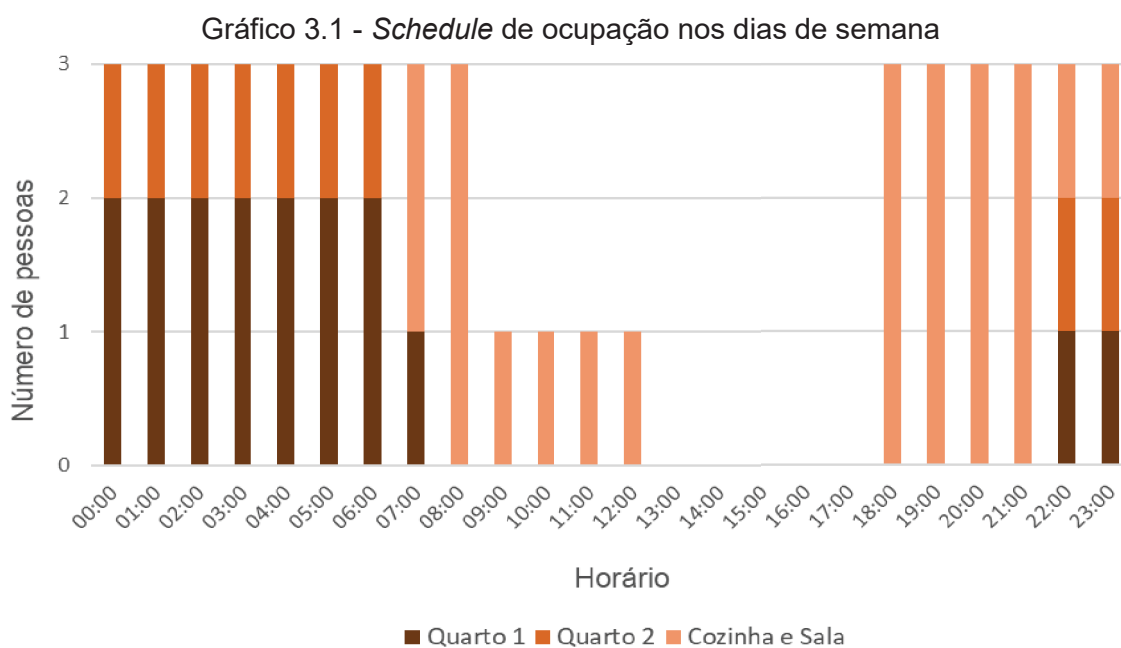
Na simulação, dados relacionados ao ganho de calor na zona térmica pelos equipamentos são necessários; o EnergyPlus, como mostra na Equação 7, fraciona esse ganho de calor em três: fração latente, radiante e perdida. Como o calor latente

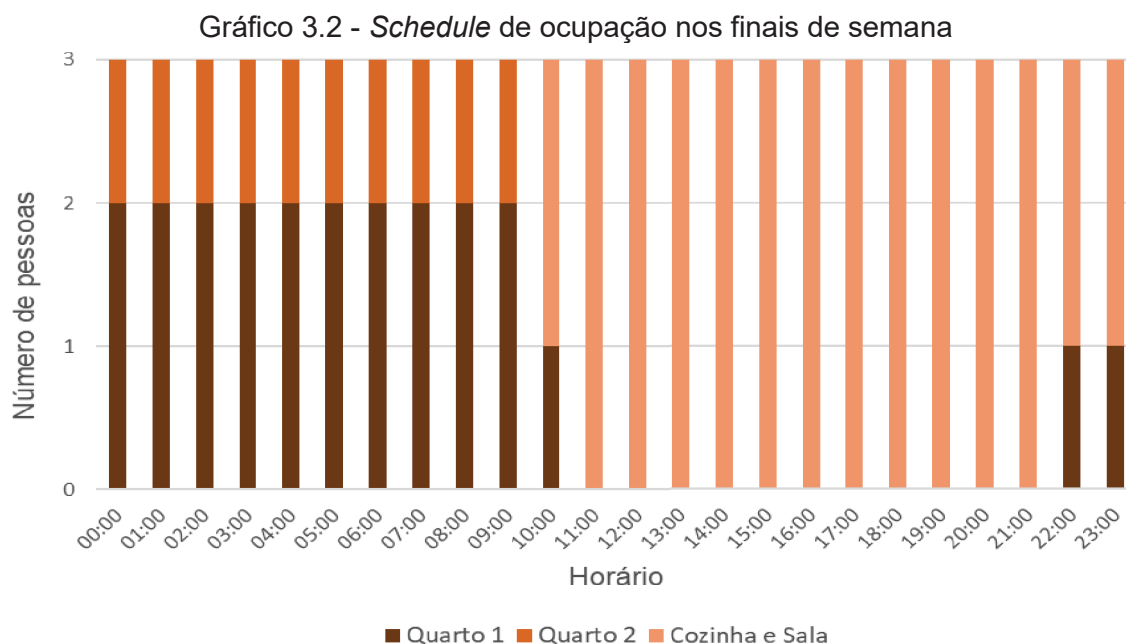
é inexistente nos equipamentos selecionados sua fração é considerada nula, e a fração radiante é baseada na ASHRAE (2005), da qual comenta que a fração convectiva é equivalente à fração radiante.

$$f_{convectiva} = 1,0 - (fração\ latente + fração\ radiante + fração\ perdida) \quad (7)$$

3.2.4 Schedules

Os *schedules* de ocupação foram divididos em dias de semana e final de semana. Durante a semana foi considerada uma pessoa permanecendo na casa durante a manhã, ninguém durante a tarde e à noite os quatro usuários, já no final de semana foi considerada a habitação cheia com todos os usuários, como pode ser visualizado nos Gráficos 3.1 e 3.2.





Fonte: A autora (2020)

Os *schedules* dos equipamentos foram definidos através de pesquisas de consumo de equipamentos elétricos da Eletrobrás (2019a). A geladeira possui um sistema de desligamento e ligamento automático, por isso foi considerada 50% do tempo ligada e a televisão possui em média cinco horas de uso diárias. Na Tabela 3.13 é possível verificar a taxa de utilização de cada equipamento em um intervalo de 0 a 1.

Tabela 3.13 - *Schedules* do uso de equipamentos

	Geladeira	Televisão
00:00 – 06:00	0,5	0
06:00 – 07:00	0,5	0
07:00 – 08:00	0,5	0
08:00 – 09:00	0,5	0
09:00 – 10:00	0,5	0
10:00 – 11:00	0,5	0
11:00 – 12:00	0,5	0
12:00 – 13:00	0,5	0
13:00 – 14:00	0,5	0
14:00 – 15:00	0,5	0
15:00 – 16:00	0,5	0

16:00 – 17:00	0,5	0
17:00 – 18:00	0,5	0
18:00 – 19:00	0,5	0
19:00 – 20:00	0,5	1
20:00 – 21:00	0,5	1
21:00 – 22:00	0,5	1
22:00 – 23:00	0,5	1
23:00 – 00:00	0,5	1

Fonte: A autora (2020), adaptado de Eletrobrás (2019)

O uso da iluminação foi determinado por meio de sua ocupação e as luzes foram consideradas acesas somente no período noturno, após as 18 horas. A Tabela 3.14 representa as taxas de iluminação, de 0 a 1, considerando a quantidade total de lâmpadas de cada ambiente.

Tabela 3.14 - *Schedule* de iluminação

	Quarto 1	Quarto 2	Sala e Cozinha	BWC
18:00 – 19:00	0	0	1	0
19:00 – 20:00	0	0	1	1
20:00 – 21:00	0	0	1	0
21:00 – 22:00	0	0	1	0
22:00 – 23:00	1	1	0,5	0
23:00 – 00:00	0	0	0,5	0

Fonte: A autora (2020)

3.2.5 Faixa de conforto térmico adotada

O modelo adaptativo definido pela ASHRAE (2017), como mostrado no Subcapítulo 2.2.2, foi utilizado para a realização da análise de conforto térmico desta pesquisa, utilizando os limites de temperatura operativa para espaços ventilados naturalmente. Portanto, para cada cidade estudada foi obtida uma faixa de conforto específica, já que esta depende exclusivamente da temperatura externa.

A faixa de conforto térmico pelo modelo adaptativo segue duas vertentes de cálculo: com 80 ou 90% de aceitabilidade dos usuários no ambiente a ser analisado. Para essa pesquisa utilizou-se a aceitabilidade de 90% para analisar o conforto térmico das habitações. Os resultados com 80% encontram-se nos Apêndices conforme referenciado em cada etapa das análises.

3.2.6 Definição da taxa de ventilação

Nesta pesquisa, é importante salientar que a intenção é avaliar o nível de inércia térmica de habitações unifamiliares no estado do Paraná sem avaliar possíveis técnicas para proteger a edificação de intempéries e radiação solar que possam influenciar no desempenho da habitação. Uma das principais variáveis a impactar o nível de inércia térmica (NIT) de uma edificação é a taxa de renovação do ar.

Assim, como forma de calibrar as simulações dentro do estudo, optou-se por realizar a análise a partir de 3 cenários diferentes:

- Cenário 1: 1 renovação de ar por hora (ren/h) por infiltração e sem ventilação natural ou mecânica;
- Cenário 2: 1 ren/h por infiltração nos períodos não ocupados + 2 ren/h por ventilação natural durante todo o período ocupado;
- Cenário 3: 1 ren/h por infiltração nos períodos em que não há ventilação natural + ventilação durante o período ocupado com todas as janelas e portas abertas caso a temperatura operativa for maior do que a temperatura de conforto calculada a partir do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE *Standard* 55 e com taxa de renovação calculada de acordo com arquivo climático.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo desta pesquisa, iniciando pelo mapeamento dos níveis de inércia relativos recomendados (NITRRs) para as cidades do estado do Paraná. Em seguida, são mostrados os resultados das simulações para as cidades levantadas pelo mapeamento, juntamente com os níveis de inércia térmica (NITs) para cada habitação e sua relação com o conforto térmico em cada clima. Por fim, serão comparados os resultados com as normas NBR 15.575 e NBR 15.220.

4.1 MAPEAMENTO DOS NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA RELATIVOS RECOMENDADOS (NITRR)

4.1.1 Mapeamento das amplitudes térmicas diárias

O início do procedimento de análise dos resultados se deu pelo levantamento das amplitudes térmicas diárias de cada estação meteorológica no estado do Paraná. Para essa análise foram calculadas as amplitudes térmicas diárias máximas nos percentis de 99, 97,5 e 95, conforme mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Amplitudes térmicas diárias máximas e nos percentis 99, 97,5 e 95 para os municípios do Paraná

CIDADE	ΔT_d máx	PERCENTIL 99	PERCENTIL 97,5	PERCENTIL 95
Campo Mourão	23,80	20,40	18,90	17,80
Curitiba	22,40	18,70	17,20	16,10
Irati	26,10	20,20	19,00	17,80
Ivaí	23,30	19,80	18,71	17,70
Londrina	22,40	19,20	18,20	17,40
Maringá	20,00	16,50	15,50	14,70
Paranagua	21,00	14,72	13,20	11,90
Lapa	20,90	17,83	16,80	15,70
Palmas	21,80	19,01	17,68	16,40
Paranavaí	21,80	16,60	15,40	14,52
Pato Branco	18,60	16,74	15,80	15,00
Castro	28,70	22,58	21,10	19,60
Ilha do Mel	19,95	14,00	12,26	10,82
Nova Fátima	19,95	16,50	15,50	14,70
Palotina	20,20	17,73	15,16	14,37
Terra Rica	21,30	16,88	15,35	14,60
Clevelândia	20,70	17,20	16,22	15,50
Diamante do Norte	20,80	17,11	16,40	15,60
Foz do Iguaçu	22,70	19,50	18,70	17,60
General Carneiro	26,10	23,63	22,40	21,00
Ibaiti	18,50	16,50	15,65	14,80
Icaraíma	24,30	16,36	15,50	14,60
Inácio Martins	25,12	16,30	15,10	14,10
Iretama	19,80	17,20	16,30	15,40
Joaquim Távora	24,30	21,70	20,20	18,80
Marechal Cândido Rondon	24,20	19,00	18,00	17,00
Morretes	21,10	18,30	16,50	15,10
Paranapoema	24,10	21,00	19,50	18,30
Planalto	20,70	18,10	17,19	16,37

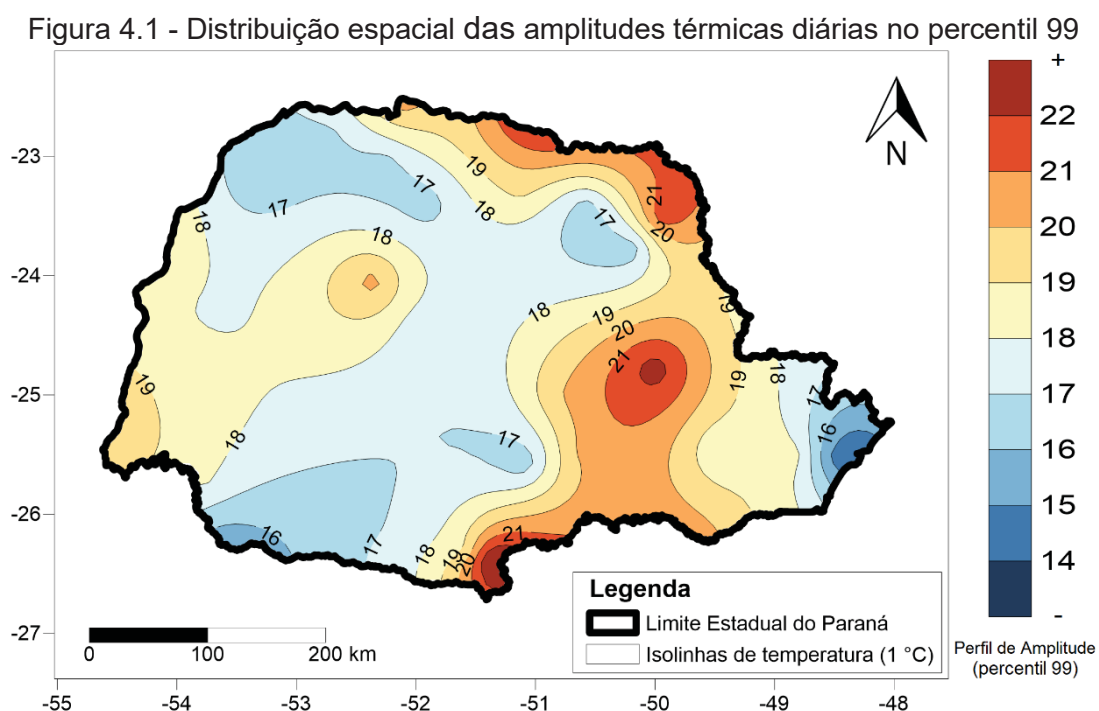
Fonte: A autora (2020)

A cidade com maior amplitude térmica diária máxima registrada foi Castro, com um valor de 28,70°C, enquanto a menor amplitude térmica diária máxima foi registrada na cidade de Ibaiti, com 18,50°C. Essa diferença de 10,2°C evidencia que o território do estado apresenta diversidade em termos de amplitudes térmicas. A cidade de Curitiba obteve a máxima amplitude térmica diária de 22,40°C.

Analisando as amplitudes térmicas nos percentis 99, 97, e 95, a cidade que registrou as menores amplitudes foi a Ilha do Mel, com amplitudes térmicas diárias

de 14,00°C, 12,26°C e 10,82°C, respectivamente. Por outro lado, a cidade que registrou as maiores amplitudes térmicas diárias foi General Carneiro, com amplitudes de 23,63°C, 22,40°C, 21,00°C, respectivamente. Curitiba, cidade referência para a Zona Bioclimática 1 na NBR 15.220 (ABNT, 2003), obteve amplitudes diárias altas, com 18,70°C, 17,20°C, 16,10°C, respectivamente, porém outras cidades no estado obtiveram maior destaque quanto à alta amplitude térmica diária.

A Figura 4.1 relaciona de forma espacial as amplitudes térmicas diárias no percentil 99. É possível analisar por meio deste mapa que os maiores valores de amplitude térmica diária estão concentrados ao longo do Segundo Planalto Paranaense. No interior do Estado e ao longo do litoral as amplitudes térmicas diárias amenizam e mais ao interior é possível analisar também uma maior homogeneidade em relação às amplitudes. As distribuições espaciais das amplitudes térmicas diárias nos percentis 97,5 e 95 encontram-se no Apêndice A.



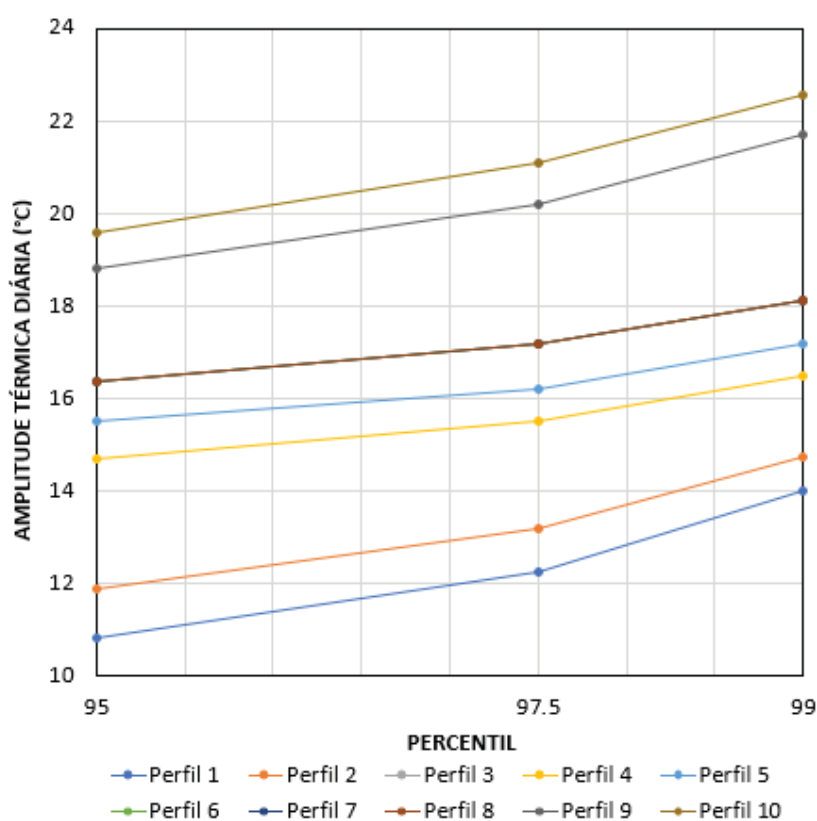
Fonte: A autora (2020)

4.1.2 Classificação de perfis climáticos

A classificação de perfis climáticos baseados nas amplitudes térmicas foi realizada com o intuito de agrupar cidades com semelhanças em suas amplitudes

para assim criar um padrão de soluções construtivas para cada grupo. Essa classificação dividiu as cidades a cada 1°C de diferença nas amplitudes térmicas diárias nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95. Ou seja, a cidade com menor amplitude térmica representa o Perfil 1 da classificação, retratado pela Ilha do Mel com amplitude abaixo de 16°C para o percentil 99,5. O Perfil 2 é caracterizado pelas cidades com amplitudes entre 16 °C e 16,99°C, o Perfil 3 é definido por cidades com amplitudes entre 17°C e 17,99°C e assim por diante. O processo foi repetido com todos os percentis e as cidades obtiveram a mesma classificação, conforme mostra o Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1 - Valores médios das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99, 97,5 e 95 nos diferentes Perfis



Fonte: A autora (2020)

A Tabela 4.2 mostra a classificação final entre os municípios paranaenses que possuem amplitudes térmicas diárias semelhantes. As cidades foram classificadas de 1 a 10 e o Perfil 3 não obteve nenhuma cidade, portanto chegou-se a um total de 9 Perfis semelhantes em suas amplitudes térmicas. A partir desta

classificação as próximas etapas serão baseadas não especificamente nas cidades e sim nos Perfis de amplitude térmica diária.

Tabela 4.2 - Perfis de amplitude térmicas diárias e os municípios neles classificados

PERFIL	MUNICÍPIOS
Perfil 1	Ilha do Mel
Perfil 2	Paranaguá
Perfil 3	-
Perfil 4	Maringá, Paranavaí, Pato Branco, Nova Fátima, Palotina, Terra Rica, Ibaiti, Icaraíma e Inácio Martins.
Perfil 5	Lapa, Clevelândia, Diamante do Norte, Iretama e Morretes.
Perfil 6	Curitiba, Palmas e Planalto.
Perfil 7	Campo Mourão, Ivaí, Londrina, Foz do Iguaçu e Mal. Cândido Rondon.
Perfil 8	Irati e Paranapoema.
Perfil 9	Joaquim Távora.
Perfil 10	Castro e General Carneiro.

Fonte: A autora (2020)

É possível verificar que o Perfil com a maior quantidade de municípios com semelhança em suas amplitudes térmicas diárias é o Perfil 4, com amplitudes relativamente baixas. No Perfil 1 com a menor amplitude térmica diária está a Ilha do Mel, enquanto o Perfil 10, que conta com as maiores amplitudes, estão os municípios de Castro e General Carneiro.

4.1.3 Mapeamento dos níveis de inércia térmica relativos recomendados

Para realizar o cálculo dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) foram utilizadas as fórmulas demonstradas no Capítulo 2.3. Os níveis de inércia térmica foram calculados com amplitude térmica máxima de 5°C e 7°C, valores estabelecidos pelo modelo adaptativo e dos quais dependem do nível de aceitabilidade a ser adotado (7°C para as faixas de aceitabilidade térmica contemplando 80% da população e 5°C para a faixa contemplando 90% da população). Nas Tabela 4.3 e Tabela 4.4 é possível visualizar os valores calculados para os Perfis estabelecidos no Subcapítulo anterior.

Tabela 4.3 - Níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) considerando amplitude térmica diária máxima interna de 5 °C

	PERCENTIL 99	PERCENTIL 97,5	PERCENTIL 95
Perfil 1	1,80	1,45	1,16
Perfil 2	1,94	1,64	1,38
Perfil 3	-	-	-
Perfil 4	2,34	2,09	1,92
Perfil 5	2,51	2,29	2,09
Perfil 6	2,72	2,47	2,26
Perfil 7	2,92	2,70	2,50
Perfil 8	3,12	2,85	2,61
Perfil 9	3,34	3,04	2,76
Perfil 10	3,62	3,35	3,06

Fonte: A autora (2020)

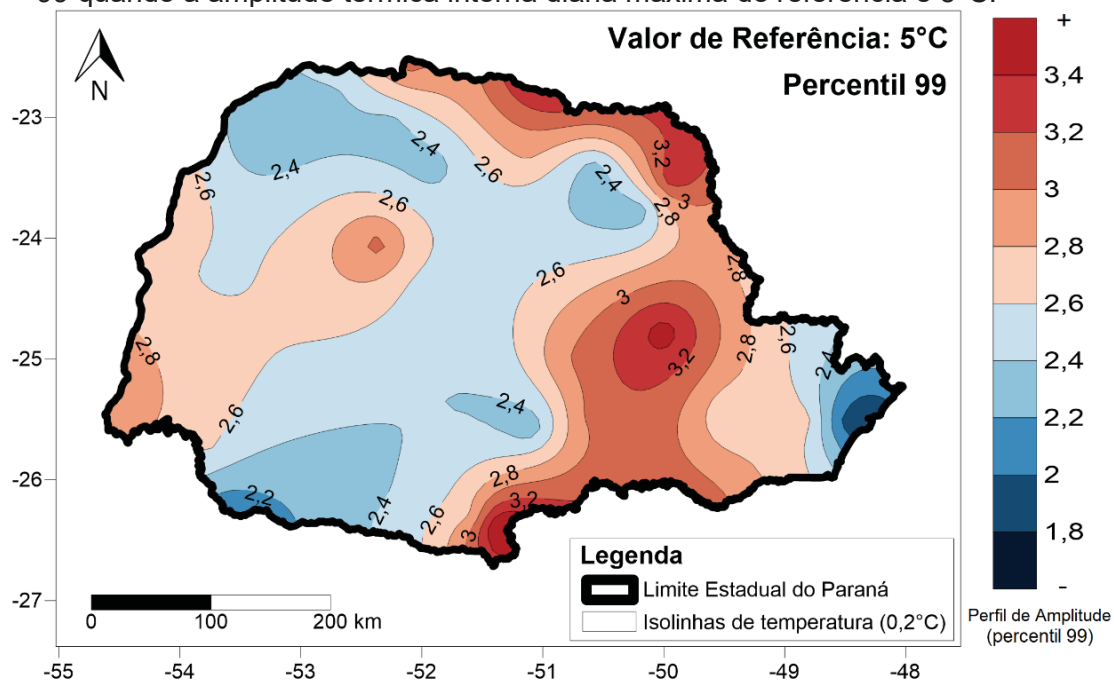
Tabela 4.4 - Níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) considerando amplitude térmica diária máxima interna de 7 °C

	PERCENTIL 99	PERCENTIL 97,5	PERCENTIL 95
Perfil 1	1,00	0,75	0,55
Perfil 2	1,10	0,89	0,70
Perfil 3	-	-	-
Perfil 4	1,38	1,21	1,09
Perfil 5	1,50	1,35	1,21
Perfil 6	1,66	1,48	1,33
Perfil 7	1,80	1,64	1,50
Perfil 8	1,94	1,75	1,58
Perfil 9	2,10	1,89	1,69
Perfil 10	2,30	2,11	1,90

Fonte: A autora (2020)

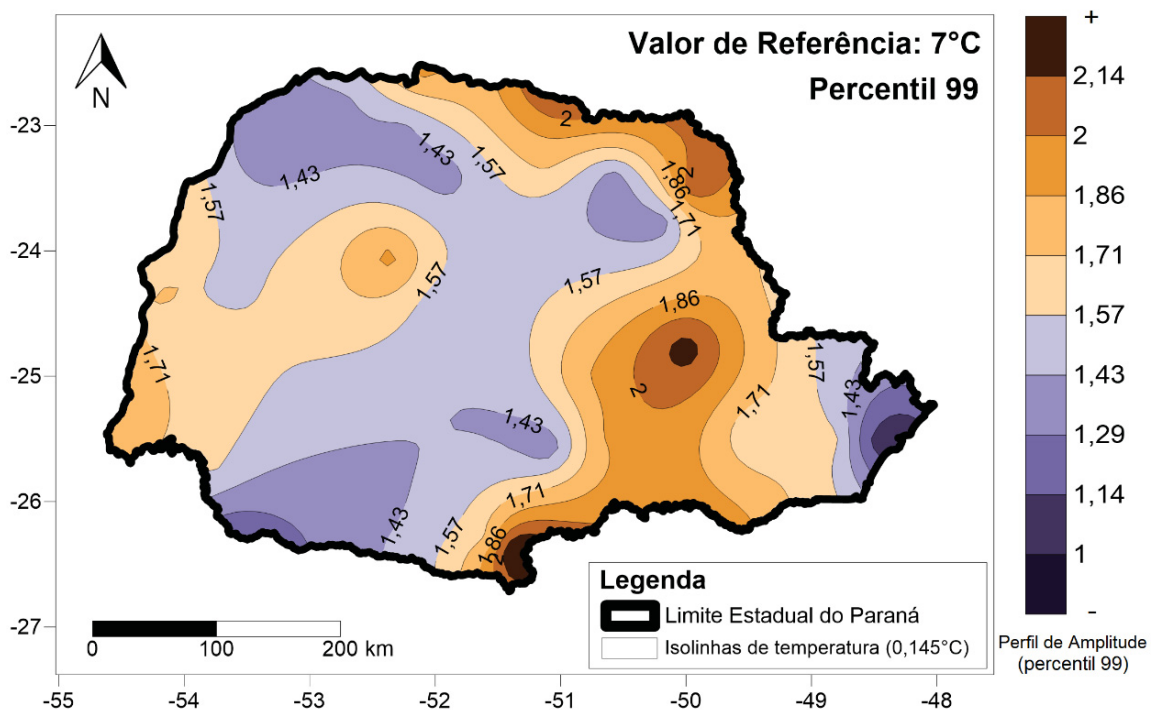
É possível analisar por meio das Figura 4.2 e Figura 4.3 a representação geográfica dos níveis de inércia térmica recomendados para a amplitude térmica interna diária máxima de referência de 5 °C e 7 °C, respectivamente. A distribuição espacial dos NITRRs com 7 °C de amplitude térmica de referência mostrou maior homogeneidade do que quando adotado o limite de 5 °C. Os NITRRs para os percentis 97,5 e 95 quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 5°C encontra-se no Apêndice B, e para a amplitude térmica interna diária máxima de 7°C encontra-se no Apêndice C.

Figura 4.2 - Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRRs) para o percentil 99 quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 5°C.



Fonte: A autora (2020)

Figura 4.3 - Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRRs) para o percentil 99 quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 7°C.



Fonte: A autora (2020)

4.2 AVALIAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR

Com a realização das simulações e dos cálculos do NIT de cada tipologia, notou-se que o desempenho térmico da edificação modifica e oscila de forma muito considerável a partir dos parâmetros de insolação e ventilação.

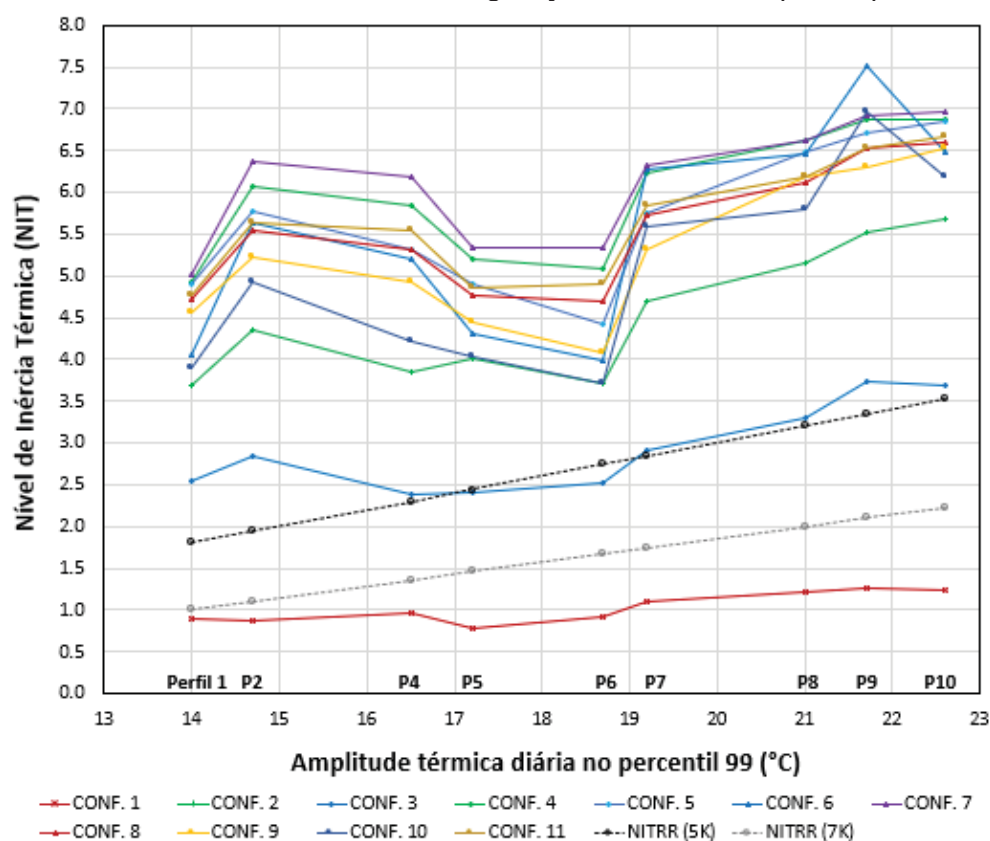
Conforme definido no Subcapítulo 3.2.6 – Definição da taxa de ventilação, os cenários de taxa de renovação de ar analisados foram:

- Cenário 1: 1 renovação de ar por hora (ren/h) por infiltração e sem ventilação natural ou mecânica;
- Cenário 2: 1 ren/h por infiltração nos períodos não ocupados + 2 ren/h por ventilação natural durante todo o período ocupado;
- Cenário 3: 1 ren/h por infiltração nos períodos em que não há ventilação natural + ventilação durante o período ocupado com todas as janelas e portas abertas caso a temperatura operativa for maior do que a temperatura de conforto calculada a partir do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE *Standard* 55 e com taxa de renovação calculada de acordo com arquivo climático.

As análises dos três cenários são apresentadas nos Gráficos Gráfico 4.2, Gráfico 4.3 e Gráfico 4.4, a partir do percentil 99 para todas as configurações construtivas; os cenários contendo todas tipologias construtivas para os percentis 99, 97,5 e 95 se encontram no Apêndice D. Os gráficos dos cenários 1 e 2 possuem alta semelhança, visto que diferem apenas pela adição de ventilação natural de 1 ren/h.

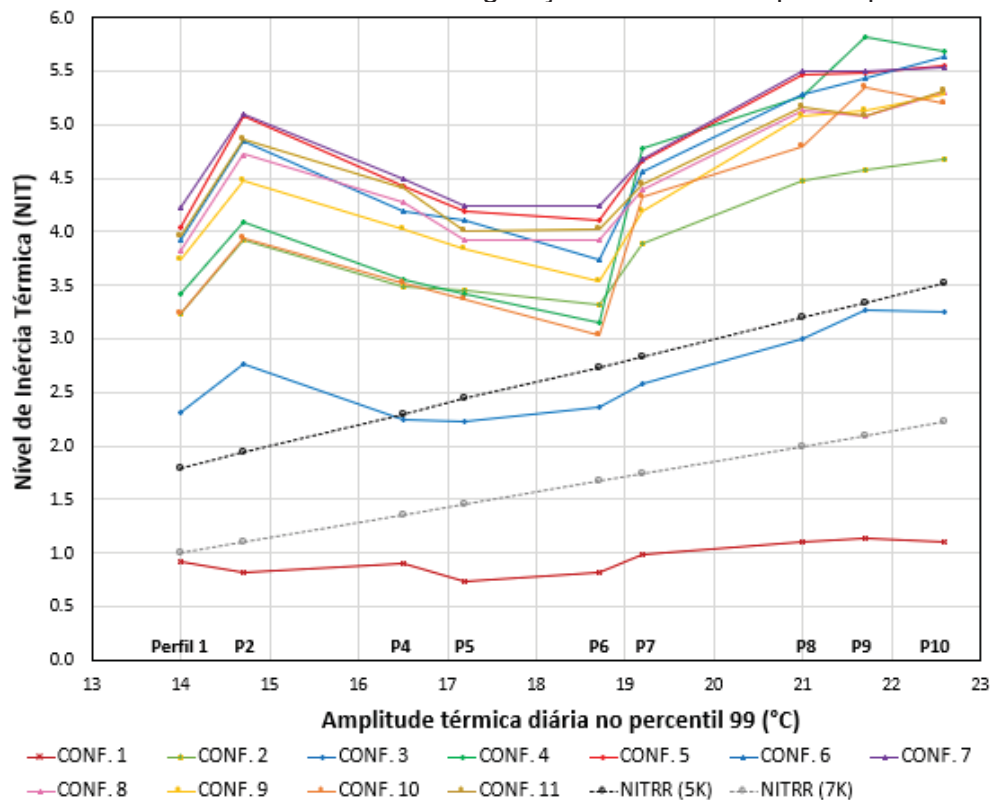
Somente a configuração construtiva 2 (constituída por paredes de madeira) apresenta NIT abaixo dos NITRRs para os perfis de 1 a 10. As demais configurações atingiram NITs mais elevados que os recomendados, chegando ao valor de até 7 para a configuração 16.1.

Gráfico 4.2 – Cenário 1: NITs das configurações construtivas para o percentil 99



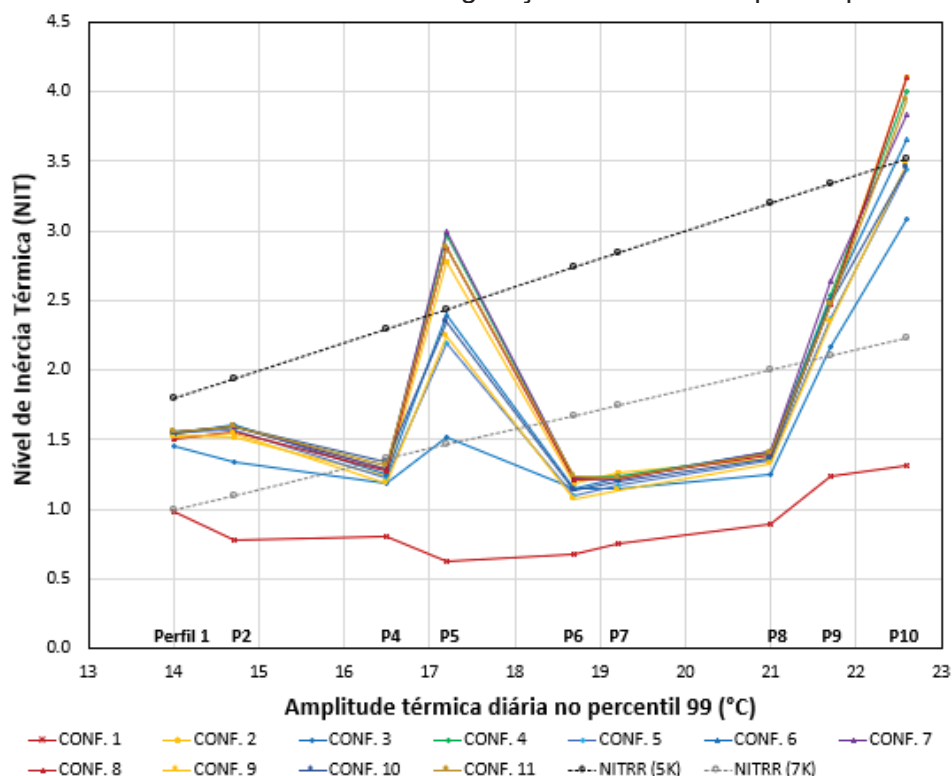
Fonte: A autora (2020)

Gráfico 4.3 - Cenário 2: NITs das configurações construtivas para o percentil 99



Fonte: A autora (2020)

Gráfico 4.4 - Cenário 3: NITs das configurações construtivas para o percentil 99



Fonte: A autora (2020)

No Cenário 3, para uma mesma configuração, é notória a irregularidade do NIT atingido pela envoltória da edificação. Apenas algumas configurações nos perfis 5 e 10 conseguiram atingir o valor de NITRR de 5°C. Esse comportamento é justificado por uma alta taxa de ventilação, fazendo com que a temperatura interna da habitação se aproxime da temperatura externa.

É possível notar diferenças significativas no desempenho da habitação quando alteradas as taxas de ventilação. A taxa de ventilação de uma edificação depende integralmente do modo de operação utilizado pelos usuários, portanto, torna-se uma questão complexa tentar aproximar os resultados com padrões mais reais.

A Norma Brasileira de Desempenho 15.575 (ABNT, 2013) cita taxas de ventilação e renovação para análise do desempenho térmico de uma edificação residencial. Para uma condição considerada padrão, a Norma cita uma taxa de 1 ren/h por frestas de janelas e portas, ou seja, por infiltração; para a utilização de ventilação a Norma cita uma taxa de também 1 ren/h.

Como o cenário 3 mostrou-se mais aproximação com a temperatura externa por sua alta taxa de ventilação e o Cenário 1 mostrou-se mais conservador, optou-se

por escolher como método central de análise o Cenário 2, com renovação de ar por infiltração nos períodos não ocupados de 1 ren/h e ventilação natural nos períodos ocupados de 2 ren/h.

Em resumo, da análise das taxas de renovação do ar, concluiu-se que, para medir o nível de inércia térmica de uma edificação as taxas de renovação do ar devem ser mínimas. Taxas altas de renovação do ar anulam a inércia térmica da edificação, tornando as condições térmicas internas parecidas com as externas.

4.3 NÍVEIS DE INÉRCIA TÉRMICA ATINGIDOS

As simulações foram realizadas para os diferentes percentis: 99, 97,5 e 95. Os valores exatos de cada configuração construtiva para os diferentes percentis estão representados no Apêndice E.

As configurações construtivas 1 e 2, que possuem madeira na composição das paredes, apresentaram valores baixos para o NIT em todos os percentis, não sendo suficiente para nenhum dos perfis para o NITRR de 5°C. Para o restante das configurações, nos percentis 97,5 e 95, o valor de NIT está acima do recomendado; já para o percentil 99 as configurações construtivas 6, 7 e 8, para o perfis 4 a 10, possuem valores de NIT abaixo das recomendações referenciadas com 5°C, o restante das configurações estão acima da recomendação.

A análise dos NITs será embasada pelo percentil 99, pois este exclui o menor número de dias do ano. Os gráficos dos percentis 97,5 e 95 podem ser encontrados no Apêndice F. Para os cenários 1 e 3 de renovação de ar, os resultados encontram-se nos Apêndices G e H, respectivamente.

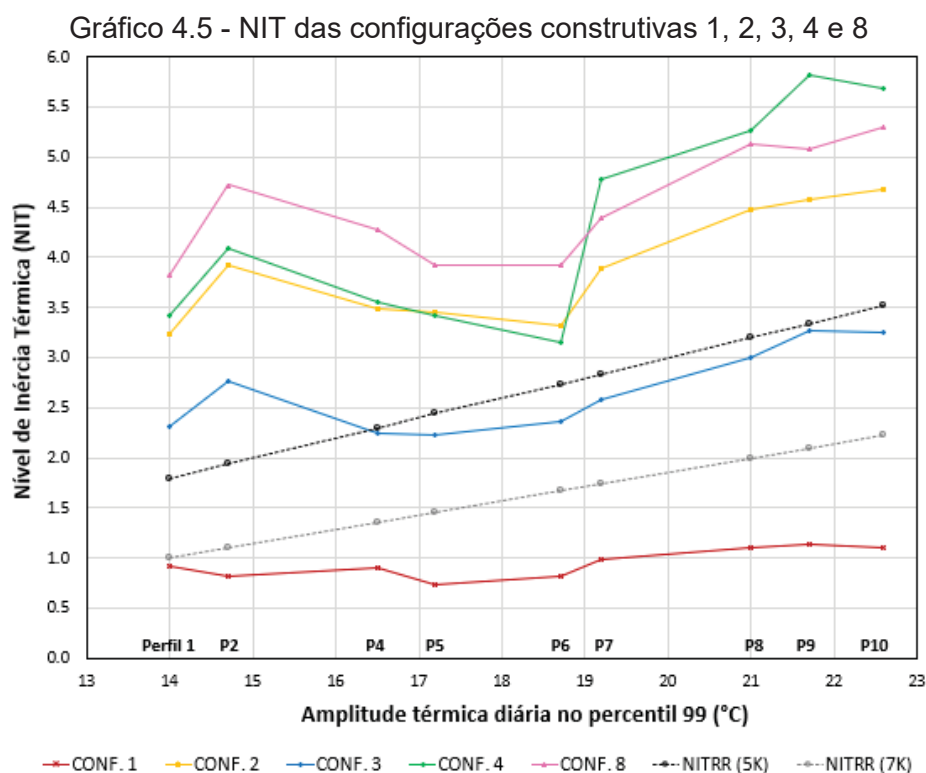
4.3.1 Tipos de paredes

A Tabela 4.5 e o Gráfico 4.5, apresentados a seguir, representam as configurações construtivas com variações entre os tipos de parede, variando com e sem revestimento, material leve (madeira) e pesado (alvenaria), com câmara de ar e com isolante térmico.

Tabela 4.5 - Configurações construtivas dos tipos de paredes

Configuração	Parede	Telhado	Piso
1	Madeira	Forro madeira + Telha barro	Madeira
2	Alvenaria com revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
3	Alvenaria sem revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)



Fonte: A autora (2020)

O pior desempenho apresentado é caracterizado pela configuração construtiva 1, com parede de madeira, seguido pela tipologia com parede de alvenaria sem revestimento, e após tem-se a tipologia com a parede com revestimento. As tipologias de alvenaria com e sem revestimento apresentaram grandes diferenças de valores de NIT, variando de 1 a 1,4 entre as configurações construtivas.

O maior valor de NIT foi obtido pela configuração 4 para os perfis climáticos 7, 8, 9 e 10, que possui alvenaria dupla com câmara de ar. Para o restante dos perfis climáticos, a melhor configuração construtiva é a configuração 8, que é constituída por alvenaria e isolamento de EPS de 1 cm.

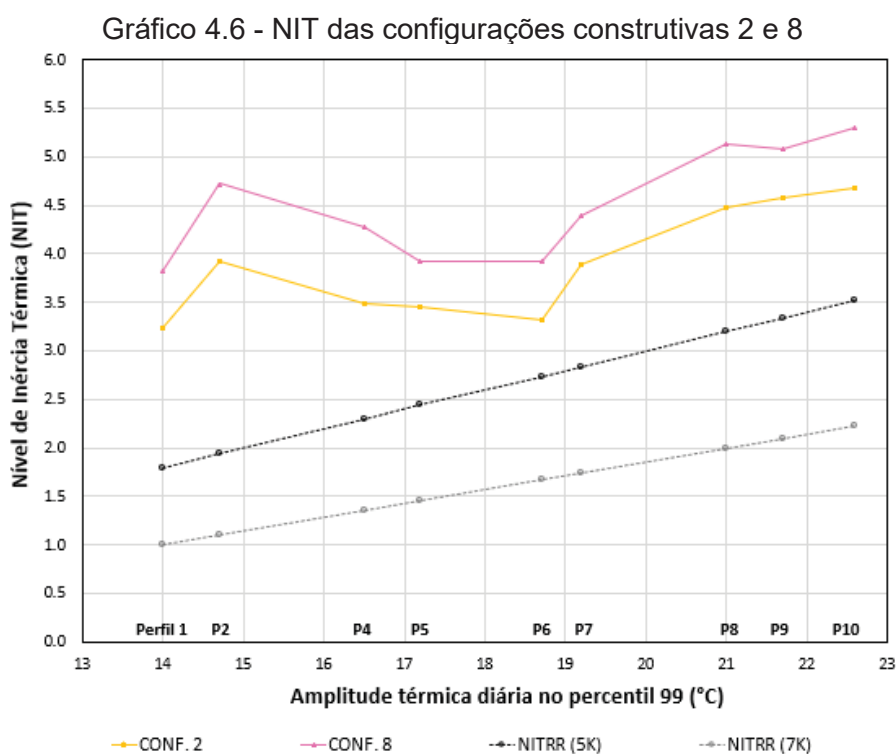
4.3.2 Isolamento térmico resistivo das paredes

A Tabela 4.6 e o Gráfico 4.6 reproduzem os elementos construtivos com variações no isolamento térmico das paredes. Para cada configuração construtiva com isolante foram simulados 3 diferentes tipos: EPS, lã de rocha e lã de vidro. Porém como os resultados foram muito próximos, apenas o EPS foi representado nesta análise.

Tabela 4.6 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo das paredes

Configuração	Parede	Telhado	Piso
2	Alvenaria com revestimento	Laje + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)



Fonte: A autora (2020)

O menor valor de NIT foi obtido pela configuração construtiva 2 – sem isolante, seguido pela configuração 8 – com 1cm de isolante, seguindo esta hierarquia para todos os perfis climáticos.

O comportamento térmico da habitação em relação ao isolamento térmico nas paredes possui igual desempenho para todos os perfis climáticos do Paraná: a adição do isolamento acarreta o aumento do desempenho da edificação.

4.3.3 Isolamento térmico resistivo da cobertura

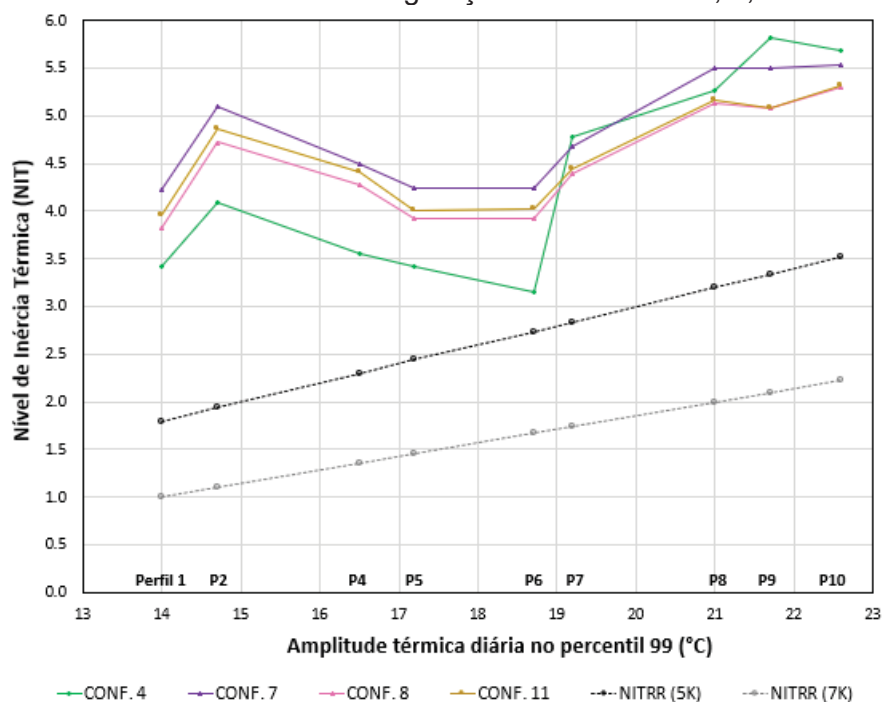
A Tabela 4.7 e o Gráfico 4.7 representam as configurações construtivas para análise do isolamento térmico utilizado na cobertura. Foram analisadas configurações de laje com telha de barro com e sem isolamento, ambas para paredes com câmara de ar e isolante.

Tabela 4.7 - Configurações construtivas do isolamento térmico resistivo da cobertura

Configuração	Parede	Telhado	Piso
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica
7	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica
11	Alvenaria + Isolante	Laje + Isolante + Telha de barro	Cerâmica

Fonte: A autora (2020)

Gráfico 4.7 - NIT das configurações construtivas 4, 7, 8 e 11



Fonte: A autora (2020)

O desempenho térmico para as diferenças configurações com isolantes térmicos obteve diferentes resultados para os perfis climáticos paranaenses. A configuração 4, sem isolante nas paredes e sem isolante na cobertura, obteve o melhor valor de NIT para os perfis climáticos 7, 9 e 10. A configuração 7, com alvenaria dupla e cobertura isolada, obteve maiores valores de NIT para os perfis climáticos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 8.

Por meio desta análise, é possível identificar características próprias para cada perfil climático, onde para alguns perfis a cobertura isolada tem pior desempenho que a cobertura com isolamento térmico. Essas características climáticas de cada perfil não serão analisadas neste trabalho, onde o viés dá-se pela análise da amplitude térmica.

4.3.4 Contato com o solo

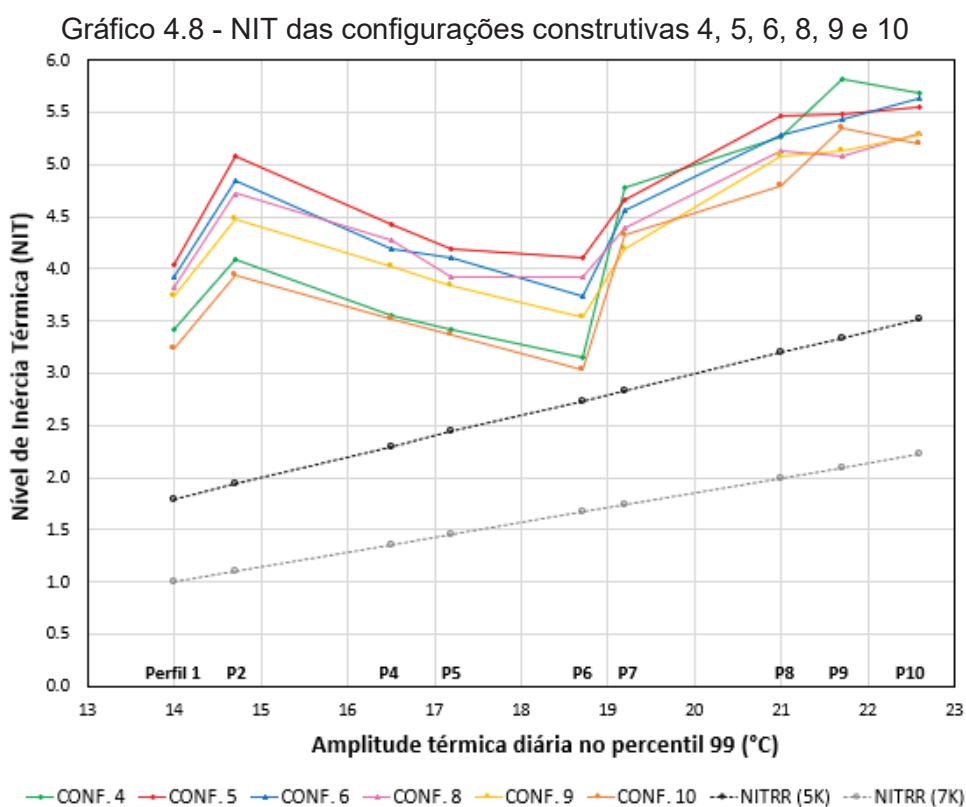
Esta análise baseia-se na comparação do desempenho das habitações com três diferentes configurações para o piso: 1. Diretamente sobre o solo; 2. Com o piso elevado do solo e com fechamento em seu perímetro; 3. Com o piso elevado e com aberturas que proporcionem ventilação natural abaixo do piso.

Essas três configurações para o piso são analisadas com variações nas configurações de paredes com alvenaria dupla e uso de isolante e estão relacionadas abaixo na Tabela 4.8 e no Gráfico 4.8.

Tabela 4.8 - Configurações construtivas piso em relação ao seu contato com solo

Configuração	Parede	Telhado	Piso
4	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - sobre o solo
5	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
6	Alvenaria dupla com câmara de ar	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado
8	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - sobre o solo
9	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado fechado
10	Alvenaria + Isolante	Laje + Telha de barro	Cerâmica - elevado ventilado

Fonte: A autora (2020)



Fonte: A autora (2020)

O desempenho das configurações construtivas obteve diferentes resultados em relação aos perfis climáticos analisados. A configuração 5, com piso elevado do solo e fechado e alvenaria dupla nas paredes, obteve o maior valor de NIT para os perfis 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 8. A configuração 4, que possui o piso sobre o solo e paredes de alvenaria dupla, resultou em nos maiores valores de NIT para os perfis 7, 9 e 10.

Nesta análise, novamente, não é encontrado um padrão construtivo para os diferentes elementos construtivos analisados em relação ao seu desempenho aos valores de NIT calculados. Enquanto alguns perfis climáticos possuem maior desempenho com o piso sobre o solo, alguns perfis possuem melhor comportamento climático no interior da habitação com o piso elevado, não possuindo relação com a amplitude térmica do clima e dependendo das particularidades do clima para cada perfil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por objetivo, considerando-se o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE, identificar quais os níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRR) para habitações unifamiliares térreas nos diferentes climas do estado do Paraná. Para isso, foram mapeadas as amplitudes térmicas diárias e os NITRR para todo o estado e definidos nove perfis climáticos de amplitudes. Em seguida, foram definidas 11 configurações construtivas para uma habitação unifamiliar; estas configurações foram simuladas em climas representativos dos nove perfis de amplitudes definidos e a partir das temperaturas internas simuladas para cada configuração foram calculados os níveis de inércia térmica atingidos (NIT).

Em relação ao mapeamento das amplitudes térmicas diárias, o perfil climático da Ilha do Mel (perfil 1), litoral paranaense, destacou-se por seus valores relativamente baixos em todos os percentis. O município de Morretes também é destacado por seus resultados, pois localizado próximo ao litoral paranaense e em altitude baixa, apresenta um perfil de amplitudes semelhante ao de municípios localizados no interior do estado, em altitudes maiores e com temperaturas médias diferentes das verificadas próximo ao litoral. Cabe destaque aos municípios dos perfis climáticos 9 (Joaquim Távora) e 10 (Castro e General Carneiro) que apresentaram os regimes de amplitudes térmicas diárias mais rigorosos no estado do Paraná.

O mapeamento dos NITRR mostrou que as demandas por inércia variam significativamente de uma região para a outra, justificando a necessidade de maiores estudos e análises específicas. Os NITRR possuem diferenças que chegam a mais do que 100% entre as regiões com amplitudes classificadas como de Perfil 1 e as classificadas como de Perfil 10. Essa diferença indica necessidades de características distintas entre as construções para fins habitacionais de uma região para a outra.

Quando comparados os NITRR determinados pelas amplitudes térmicas diárias máximas, também foram observadas diferenças importantes, maiores do que 50%. Ou seja, a adoção de uma ou outra amplitude térmica máxima para o interior das edificações traz consigo importantes implicações em se tratando das

características da edificação (tais como isolamento térmico, massa térmica, dimensões das aberturas, sombreamento e compactidade).

As simulações permitiram relacionar os NITRR com diferentes configurações de sistemas construtivos, possibilitando apontar configurações adequadas e inadequadas para as diferentes regiões definidas pelas amplitudes térmicas diárias.

Um dos principais resultados desta pesquisa foi a descoberta de que uma mesma configuração tende a apresentar NIT próximos, independentemente do clima no qual é simulada; ou seja, os materiais construtivos escolhidos para uma edificação determinam o desempenho térmico do ambiente construído de maneira muito similar para diferentes climas no estado do Paraná, como por exemplo a configuração construtiva leves 1 que utiliza envoltória de madeira obteve NIT inferiores aos NITRR com baixo desempenho e baixa taxa de conforto térmico.

Outro importante aspecto ressaltado nesta pesquisa foi a diferença de temperaturas internas obtidas por meio das simulações entre as diferentes taxas de renovação de ar testadas. Foram simulados três cenários para análise de resultados: o primeiro cenário contendo apenas uma taxa de infiltração de 1 ren/h, o segundo cenário contendo uma taxa de infiltração de 1 ren/h nos períodos não ocupados e uma taxa de ventilação nos períodos ocupados de 2 ren/h e um terceiro cenário com taxa de infiltração de 1 ren/h nos períodos não ventilados e taxa de ventilação calculada por meio do arquivo climático e com aberturas de janelas determinadas pelo conforto adaptativo da ASHRAE *Standard 55*.

Os cenários 1 e 2 obtiveram resultados semelhantes, visto que apenas uma taxa de renovação de 1 ren/h foi adicionada ao cenário 2 em comparação ao cenário 1. As taxas de renovação estabelecidas em renovações por hora em um ambiente são indicações da Norma Brasileira de Desempenho 15.575 (2013) para avaliação do desempenho térmico de uma edificação, porém o controle da ventilação por renovações por hora é de difícil domínio do usuário quando a ventilação é natural, em virtude da operabilidade de abertura de portas e janelas. Os *schedules* de abertura também são de difícil previsão, sendo que cada usuário possui comportamentos diferentes em relação ao controle das aberturas de uma habitação.

O cenário 3 obteve resultados muito diferentes em vista dos cenários 1 e 2; neste cenário as taxas de renovação foram calculadas a partir do arquivo climático, porém o mesmo acontece neste cenário: as taxas também possuem difícil previsão de controle, sendo que variáveis como porcentagem de abertura de janela, tipo de

janela e operabilidade de abertura da janela afetam os resultados e são variáveis que dependem do usuário que as manipula. Assim, como os níveis de inércia estão relacionados com a temperatura interna do ambiente, eles também estão relacionados com as taxas de renovação do ar, já que estas possuem alta influência em seus resultados.

As simulações foram realizadas para os três cenários, mas somente o cenário 2 foi analisado ao longo do Capítulo 4 – Resultados e discussões; os demais resultados encontram-se nos Apêndices citados ao longo do texto. Para o cenário 2, os níveis de inércia térmica atingidos tiveram bons resultados: para os perfis climáticos 1 e 2, que possuem as menores amplitudes térmicas diárias, apenas a configuração construtiva leve 1 obteve NITs abaixo do NITRR de aceitabilidade de 90% dos usuários; para os demais perfis climáticos, além da configuração 1, a configuração construtiva 3 obteve valores abaixo de NITRR para 90% de aceitabilidade, mas acima do NITRR para 80% de aceitabilidade. A configuração 3 possui a envoltória de alvenaria sem revestimento.

Assim, pode-se observar a grande influência do nível da inércia térmica no desempenho e conforto térmico do ambiente construído, e como ele é fundamental como estratégia de redução de flutuação térmica na edificação; porém como forma isolada de estudo e estratégia, torna-se insuficiente sua análise de conforto diante das inúmeras variáveis que somam resultados ao desempenho de uma edificação.

Como possibilidades para estudos futuros, apontam-se: análises térmicas do comportamento de diferentes configurações de habitações em wood-frame a fim de identificar aquelas capazes de resistir às flutuações térmicas nas diferentes regiões do estado do Paraná; análises para diferentes meios de avaliação de ventilação natural por meio de simulações computacionais; e influência das diferentes variáveis climáticas no nível de inércia térmica da edificação, somando estratégias adaptadas à cada clima.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro. Brasil. 2003.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.575**: Edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro. Brasil. 2013.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio. A Tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais....** Salvador: ANTAC, 1997. p. 147-151.

ALMEIDA, Caliane Christie Oliveira de. **Habitação Social: origens e produção (Natal, 1889-1964)**. 2007. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013.

ALVES, José Eustáquio Diniz; CAVENAGHI, Suzana Marta. Déficit habitacional, famílias conviventes e condições de moradia. In: Guimarães, José Ribeiro. (Org.). **Demografia dos negócios**. Campinas: ABEP, 2006, v. 3, p. 257-286.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55-2013 - Thermal environmental conditions for human occupancy**. USA, Atlanta, 2017.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. **2005 ASHRAE Handbook - Fundamentals**. USA, Atlanta, 2005.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 307 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BOGO, Amilcar José. Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575. **Holos**, v. 7, p. 290-298, 2016.

BONDUKI, Nabil Georges. Origens da habitação social no Brasil. **Análise social**, v. 29, n. 127, p. 711-732, 1994.

BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil – Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da Casa Proletária**. 7. ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

BRITO, Adriana Camargo de. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. 241 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BRITO, Adriana Camargo de; AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio; AQUILINO, Marcelo de Mello. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15.575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juíz de Fora. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2012. p. 1-7.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda habitacional no Brasil**. Brasília: Caixa, 2012.

CARDOSO, Adauto Lucio; ARAGÃO, Thêmis Amorim; ARAUJO, Flávia de Sousa. Habitação de interesse social: política ou mercado? Reflexos sobre a construção do

espaço metropolitano. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPUR, 2011. p. 1-20.

CARDOSO, Adauto Lucio; ARAGÃO, Thêmis Amorim. Do fim do BNH ao Programa Minha Casa Minha Vida: 25 anos da política habitacional no Brasil. In: Cardoso, Adauto Lucio (Org.). **O Programa Minha Casa Minha Vida e seus Efeitos Territoriais**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013, v. 1, p. 17-67.

CECCHETTO, Carise Taciane; CHRISTMANN, Samara Simon; BIAZZI, Juliene, Pierezan; INSTAN, Liamara Pasinato; OLIVEIRA, Tarcísio Dorn de. Habitação de interesse social: alternativas sustentáveis. **GEDECON - Gestão e Desenvolvimento em Contexto**, v. 3, n. 2, p. 35-49, 2015.

CENTRO CLIMA, Centro de estudos integrados sobre meio ambiente e mudanças climáticas. **Emissão de gases de efeito estufa – 2050: Implicações econômicas e sociais do cenário de plano governamental**. 2019.

COHAPAR - Companhia de Habitação do Paraná. **Plano estadual de habitação de interesse social do Paraná**. Curitiba, 2012.

COHAPAR - Companhia de Habitação do Paraná. **Habitação urbana**. Disponível em: <<http://www.cohapar.pr.gov.br/pagina-315.html>>. Acesso em: 13 set. 2019.

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15.575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p.119-134, 2014.

DE DEAR, Richard; BRAGER, Gail Schiller. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. In: FINAL REPORT ASHRAE RP-884, 1997.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP**. 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.; RORIZ, V.; CARAM, R. M.. Thermal performance of white solar-reflective paints for cool roofs and the influence on the thermal comfort and building energy use in hot climates. *In*: ISES Solar World Congress, 2011, Kassel. Proceedings of ISES 2011, 2011.

ELETROBRAS. **Consumo de eletrodomésticos.** Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/>>. Acesso em: 23 out. 2019a.

ELETROBRAS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial – 2019.** Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>>. Acesso em: 22 nov. 2019b.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference.** U. S. Department of Energy. 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018.** Rio de Janeiro: EPE, 2018.

FANGER, Poul Ole. **Thermal comfort: analysis in environmental engineering.** Kingsport: McGraw-Hill. 1970.

FENILLI, R. J. Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. **Climatização e Refrigeração**, n. 94, 2008.

FERNANDES, Leandro C.; KRÜGER, Eduardo L.; KAVAMURA, Emilio E.; ROSSI, Francine A.; LANGE, Sérgio C.; SAUGO, Andréia; MACIEL, Marcela A.; GARBIN, Rafael. Equações preditivas de temperaturas internas horárias: Uma alternativa para geração de dados para avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social. *In*: Habitar 2015, Belo Horizonte, **Anais....** Belo Horizonte: Habitar, 2015.

FERNANDES, Leandro Carlos. Diagramas de apoio ao projeto baseados na ideia de conforto térmico adaptativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, 2020.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Comparação de desempenho de envoltórias recomendadas por normas de desempenho e Mahoney. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2015, Campinas. **Anais....** Campinas: ANTAC, 2015. p. 1-10.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p.183-200, 2017.

FISCHER, Rafael Santos. **Estratégias de adaptabilidade na habitação social: Implicações no ciclo de vida energético do edifício**. 2017. 248 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP), DIRETORIA DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES. **Déficit habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte: FJP, 2018.

OTONI, Teófilo. **Metamorfose urbanística e arquitetônica**. 2018. Disponível em: <<https://agitprop.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/18.210/6833>>. Acesso em: 13 set. 2019.

GARCIA, Fernando; CASTELO, Ana Maria. O déficit habitacional cresce apesar da ampliação do crédito. **Conjuntura da Construção**, v. 4, p. 8-11, 2006.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GOVERNO E CIDADÃO - Governo do Paraná. **Programa: Morar Bem Paraná.**

Disponível em:

<<http://www.governoecidadao.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=22>>. Acesso em: 05 out. 2019.

IAPAR. **Instituto Agrônômico do Paraná.** Disponível em; <<http://www.iapar.br>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

INVIDIATA, Andrea et al. Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais....** Porto Alegre: Antac, 2016. p. 1065 - 1078.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) – Ano 2018.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Clima – Estado do Paraná.** Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2019.

KALOGIROU, Soteris A.; FLORIDES, George; TASSOU, Savvas. Energy analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus. **Renewable Energy**, v. 27, n. 3, p.353-368, 2002.

KRAUSE, Cleandro Henrique; NETO, Vicente Correia Lima; BALBIM, Renato Nunes. Minha Casa, Minha Vida, nosso crescimento: Como fica a política habitacional? In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 15., 2013, Recife. **Anais....** Recife: ANPUR, 2013.

KRÜGER, Eduardo Leite. O Uso de Equações Preditivas na Avaliação do Desempenho Térmico de um Protótipo Habitacional Constituído de Materiais Alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.3, n.2, p. 77-86, 2003.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 24 out. 2019.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de coberturas leves com ático: banca de testes e modelo matemático**. 1983. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

MARICATO, Ermínia. Urbanismo na periferia do mundo globalizado. **São Paulo em perspectiva**, v. 14, n. 4, p. 21-33, 2000.

MARQUES, Tássia Helena Teixeira. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP**. 2013. 143 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARTINS, Tathiane Agra de Lemos; BITTENCOURT, Leonardo Salazar; KRAUSE, Cláudia Mariz de Lyra Barroso. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 59-75, 2012.

MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Florianópolis, 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MENEZES, Milton Serpa. **Apostila de Refrigeração e Ar-condicionado**. Universidade Passo Fundo. 2005.

MONICH, Carla Rabelo. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema *wood frame* no estado do Paraná**. Curitiba, 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NICOL, J. Fergus; HUMPHREYS, Michael A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p.563-572, 2002.

OLGYAY, Victor. **Design with climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton University Press, New Jersey, 1963.

OLIVEIRA, Abdias Medeiros de. **Análise experimental do desempenho térmico de verão do telhado em cimento-amianto, com ático**. 1984. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/ods/11/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

PALERMO, Carolina et al. Habitação social: uma visão projetual. In: COLÓQUIO DE PESQUISAS EM HABITAÇÃO, 4., 2007, Belo Horizonte. **Anais....** Belo Horizonte: UFMG, 2007. p. 1 - 11.

GOVERNO DO PARANÁ. **Secretaria do desenvolvimento urbano e de obras públicas**. Disponível em: <<http://www.desenvolvimentourbano.pr.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

PEREIRA, Cláudia Donald. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**.

Florianópolis, 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RAMOS, Valéria Mayumi Kushima. **Avaliação do ciclo de vida dos materiais de uma habitação de interesse social em alvenaria convencional, light steel framing e light wood framing**. Curitiba, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Rivero Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C.Luzzatto Editores; 1986.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**. Oxford: Architectural Press, 2009.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS-REES, Stephanie. **Ecohouse-: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Bookman Editora, 2006.

RUBIN, Graziela Rossatto; BOLFE, Sandra Ana. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 201-2013, 2014.

SCHMID, Aloísio Leoni. Tradução comentada do clássico artigo que lança a ideia do diagrama bioclimático do edifício. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Campinas. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 1 – 13.

SERRA, Adalberto. Climatologia do Brasil. In: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Boletim Geográfico**. 33. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1975. p. 73-115.

SILVA, Antonio César Silveira Baptista da. **Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação**. Porto Alegre, 1994. Dissertação (Mestrado) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

Synnefa, A., M. Santamouris and K. Apostolakis. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Sol. Energy**, 81, 488–497, 2007.

SZOKOLAY, Steven Vajk. **Thermal design of buildings**. 2 ed. RAIA Education Division. 1987, 78 p.

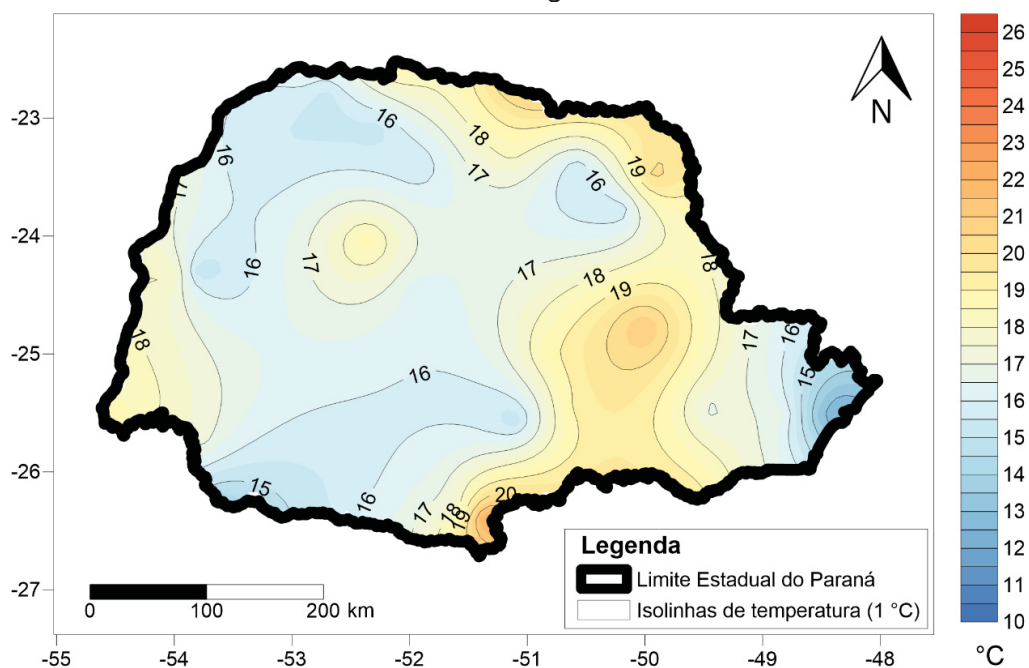
TORREIRA, R. P. **Isolantes térmicos – frio e calor**. Fulton Editora Técnica LTDA. 1980, 1024 p.

ZÖLD, A.; SZOKOLAY, S. PLEA Note 2: Thermal Insulation. Passive and Low Energy Architecture International, 1997.

APÊNDICES

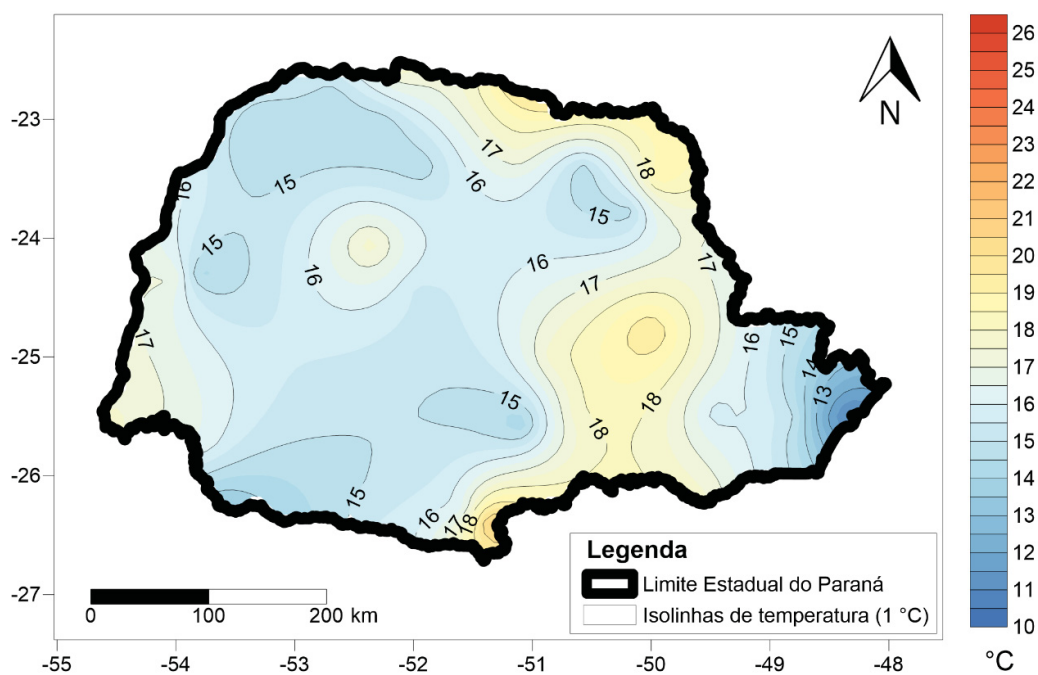
APÊNDICE A

Figura A.1 - Distribuição espacial das amplitudes térmicas diárias no percentil 97,5 de ocorrência nas diferentes regiões do estado do Paraná



Fonte: A autora (2020)

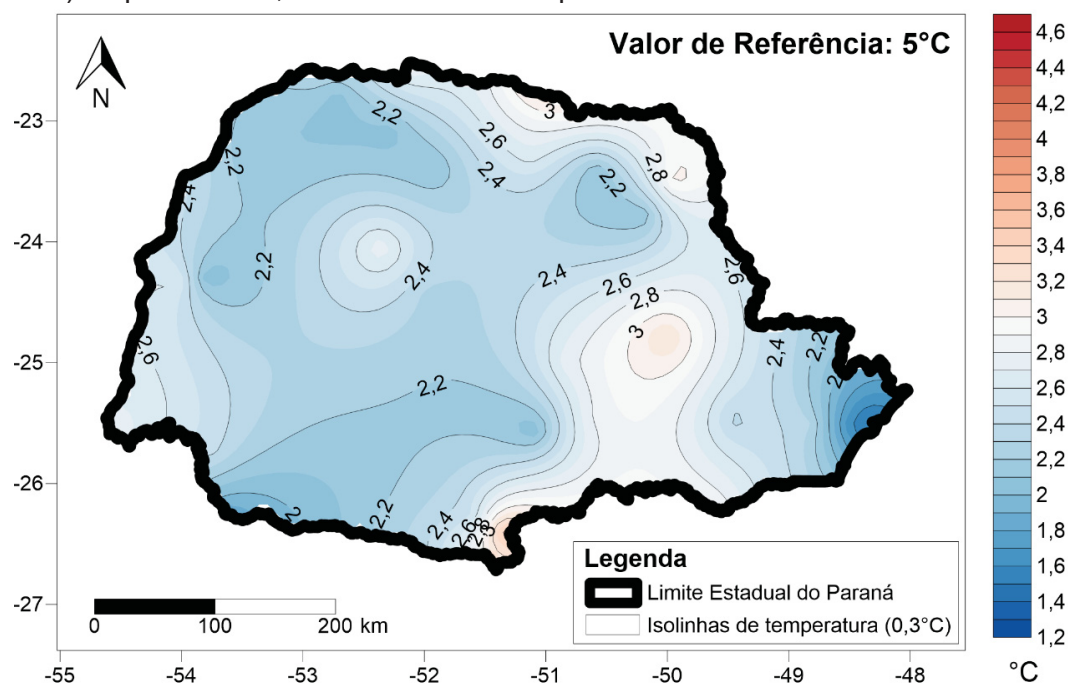
Figura A.2 - Distribuição espacial das amplitudes térmicas diárias no percentil 95 de ocorrência nas diferentes regiões do estado do Paraná



Fonte: A autora (2020)

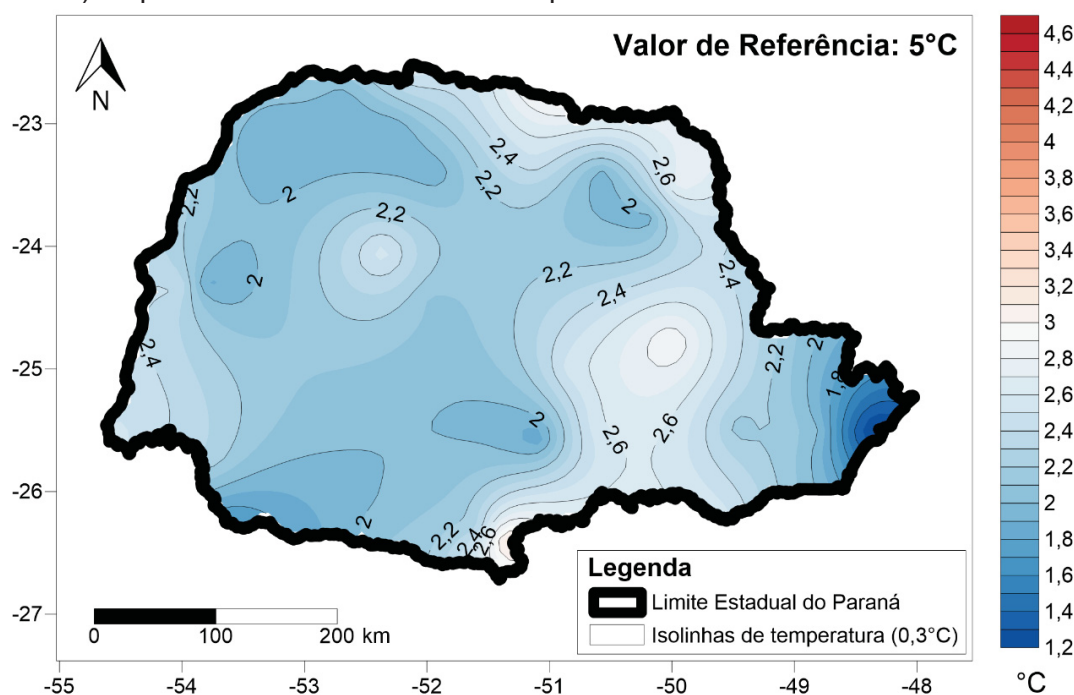
APÊNDICE B

Figura B.1 - Distribuição espacial dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) no percentil 97,5 considerando a amplitude térmica diária máxima de 5°C



Fonte: A autora (2020)

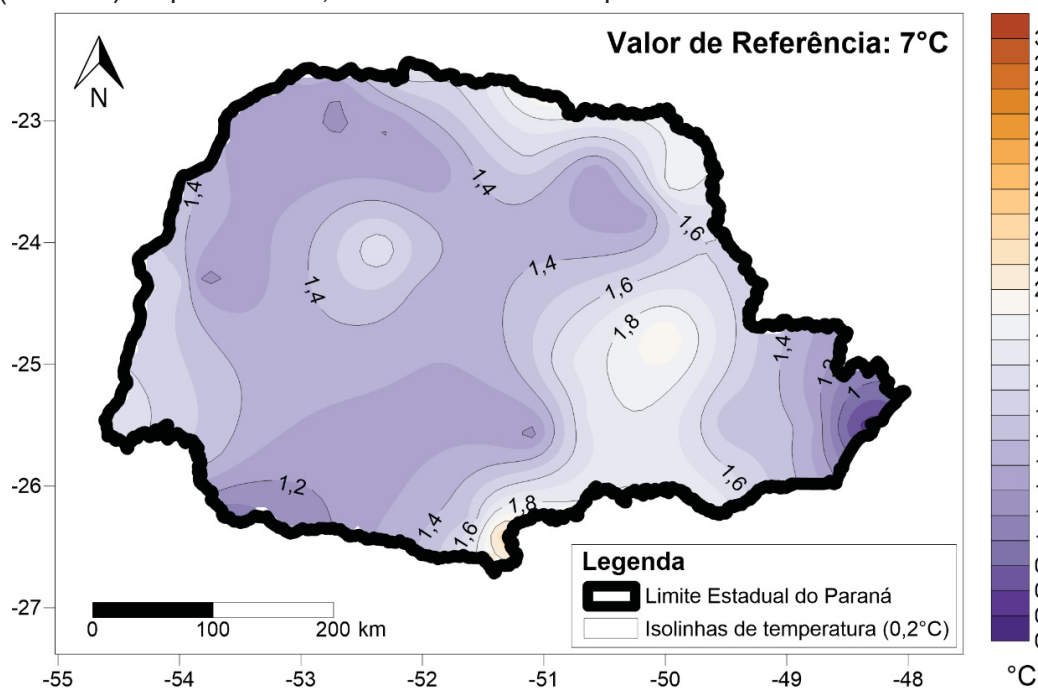
Figura B.2 - Distribuição espacial dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) no percentil 95 considerando a amplitude térmica diária máxima de 5°C



Fonte: A autora (2020)

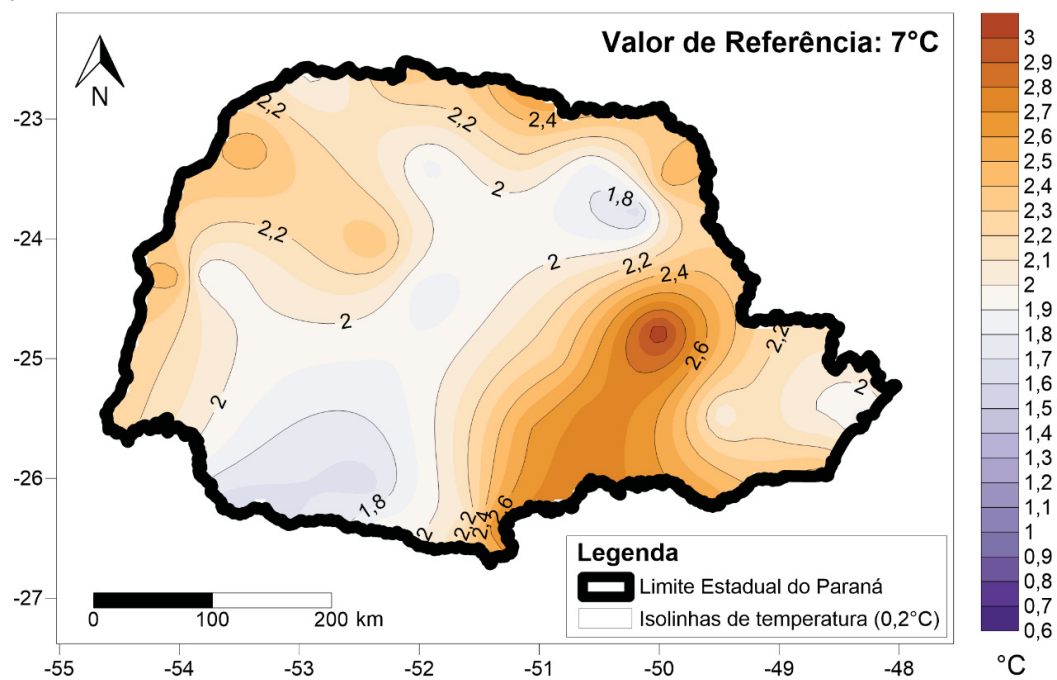
APÊNDICE C

Figura C.1 - Distribuição espacial dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) no percentil 97,5 considerando a amplitude térmica diária máxima de 7°C



Fonte: A autora (2020)

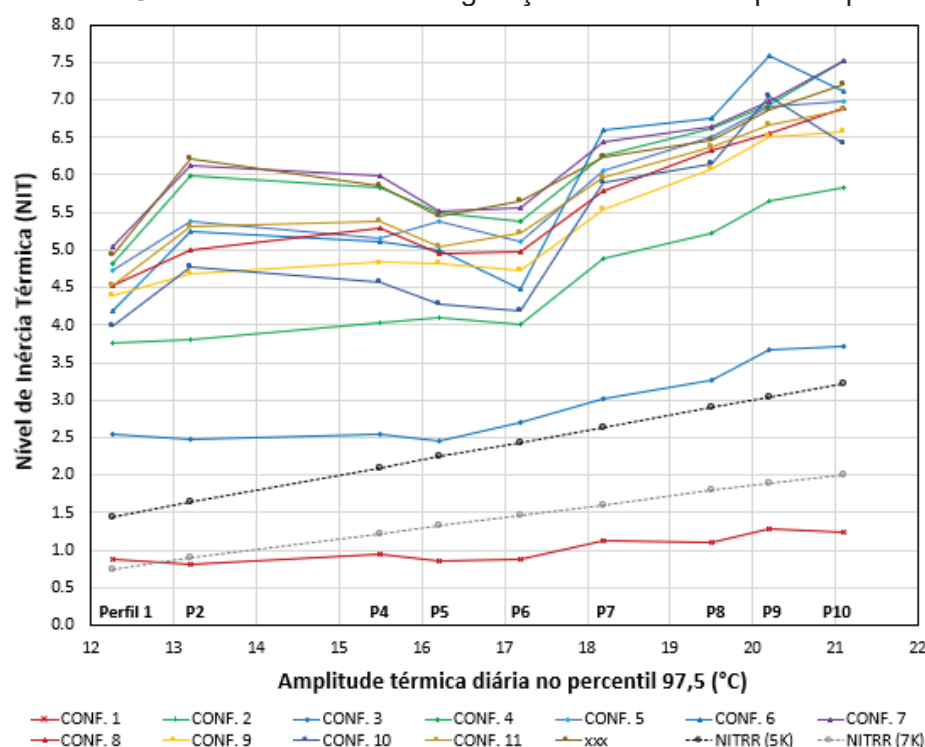
Figura C.2 - Distribuição espacial dos níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRRs) no percentil 95 considerando a amplitude térmica diária máxima de 7°C



Fonte: A autora (2020)

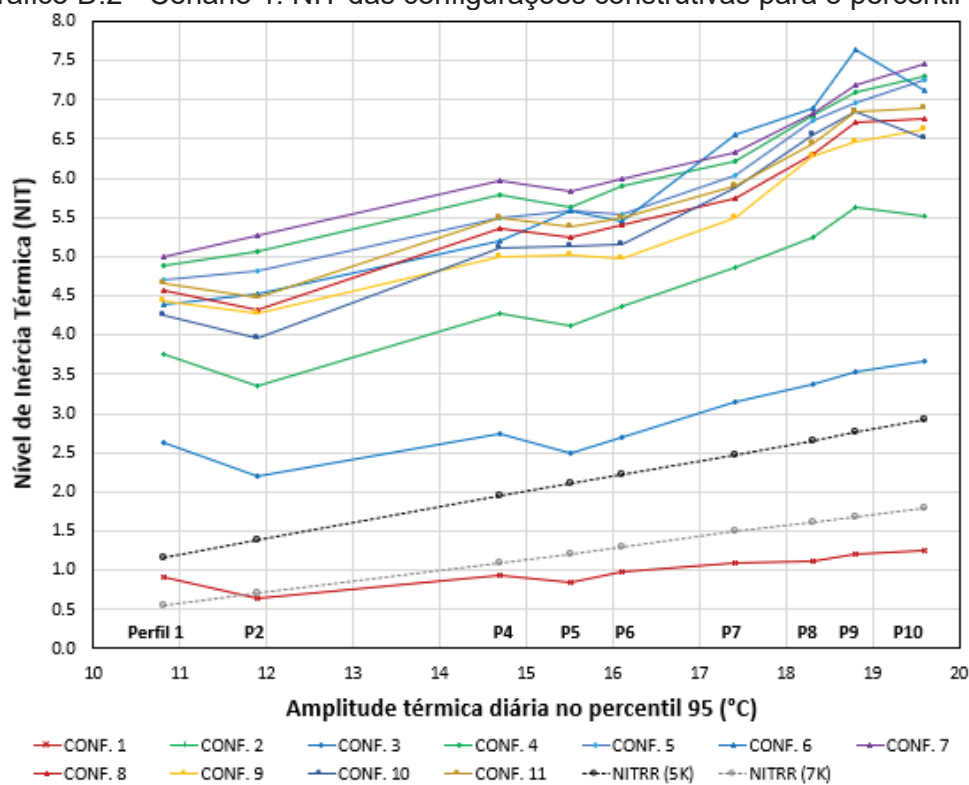
APÊNDICE D

Gráfico D.1 - Cenário 1: NITs das configurações construtivas para o percentil 97,5



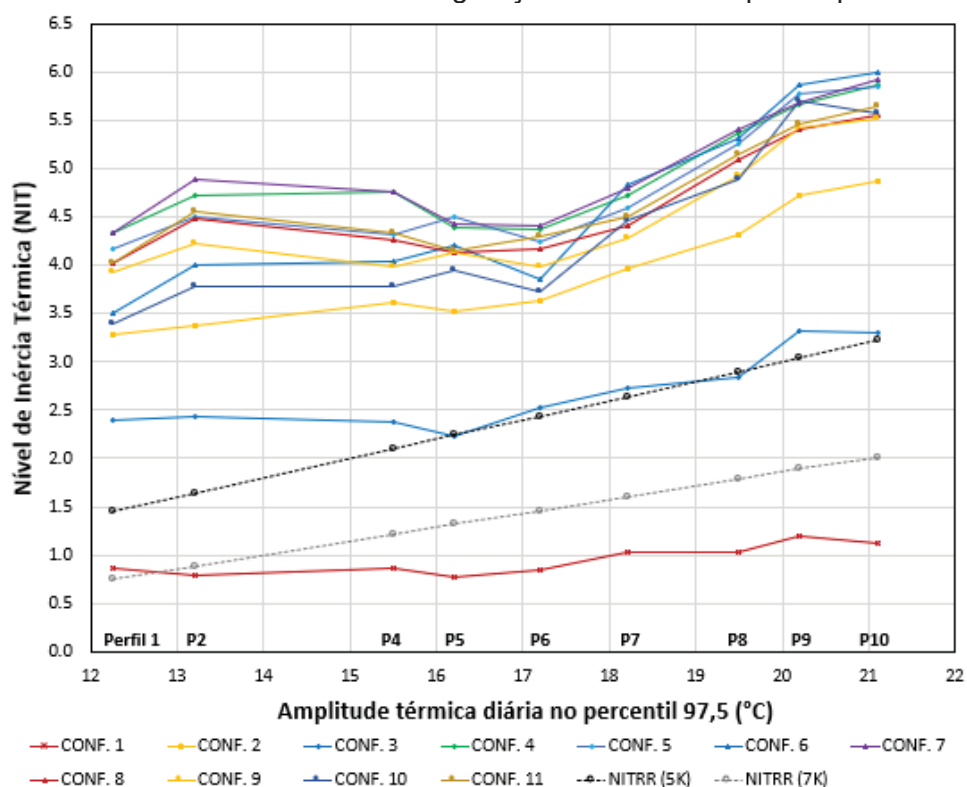
Fonte: A autora (2020)

Gráfico D.2 - Cenário 1: NIT das configurações construtivas para o percentil 95



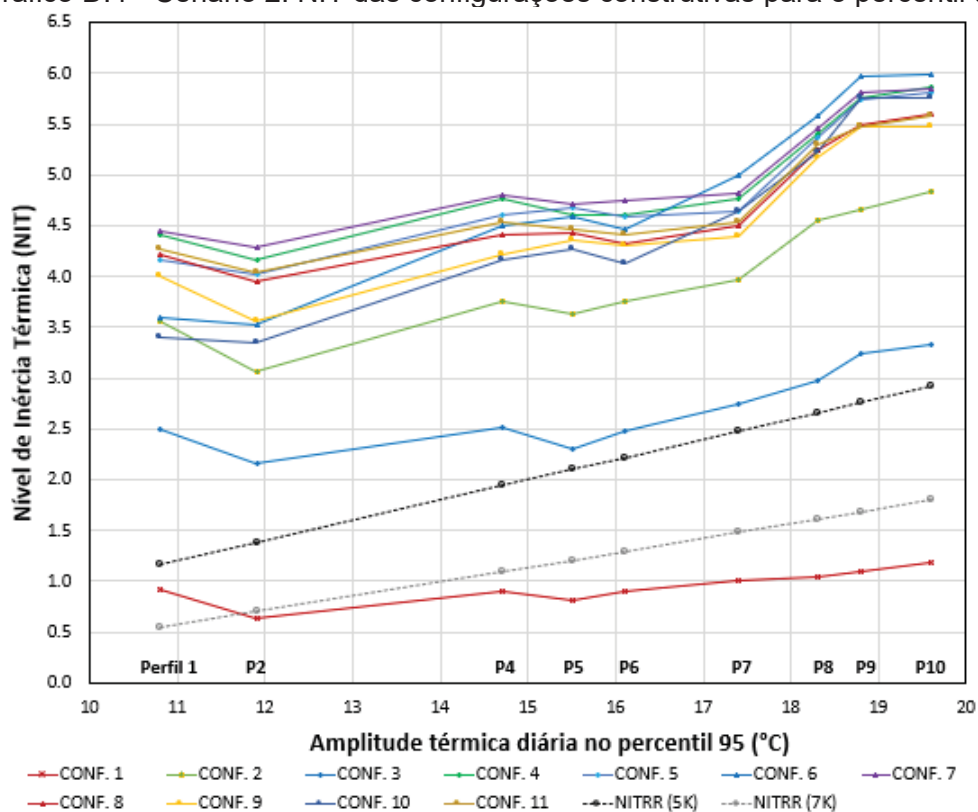
Fonte: A autora (2020)

Gráfico D.3 - Cenário 2: NIT das configurações construtivas para o percentil 97,5



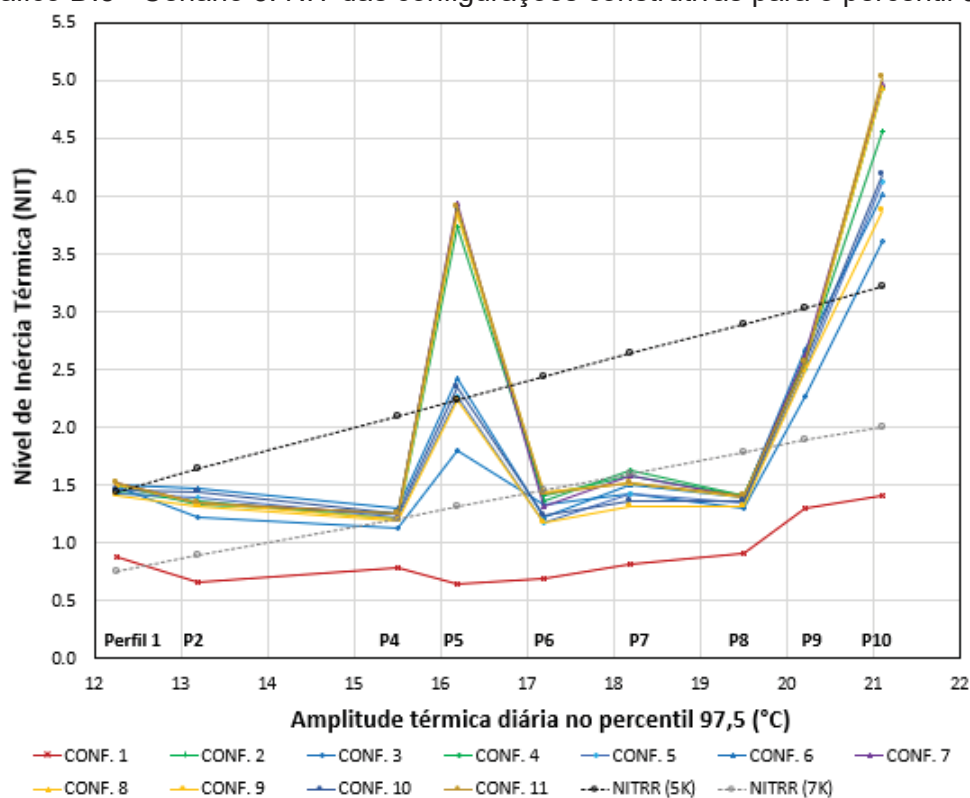
Fonte: A autora (2020)

Gráfico D.4 - Cenário 2: NIT das configurações construtivas para o percentil 95



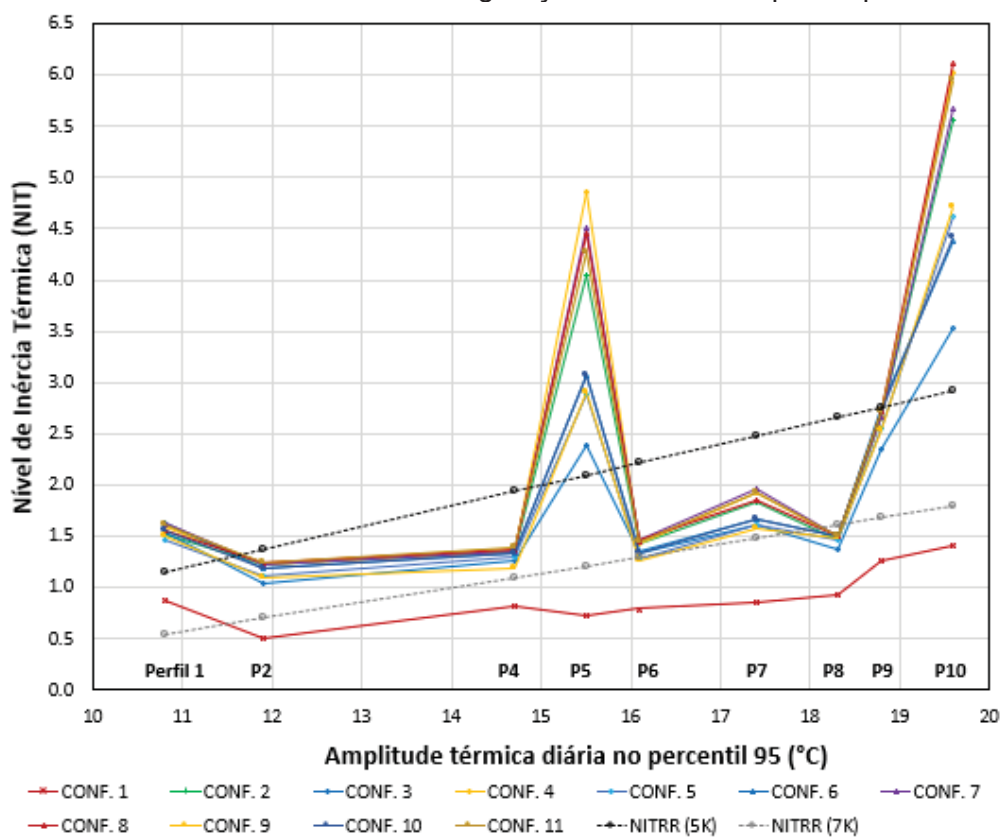
Fonte: A autora (2020)

Gráfico D.5 - Cenário 3: NIT das configurações construtivas para o percentil 97,5



Fonte: A autora (2020)

Gráfico D.6 - Cenário 3: NIT das configurações construtivas para o percentil 95



Fonte: A autora (2020)

Tabela E.2 - Cenário 1 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 97,5 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7	PERFIL 8	PERFIL 9	PERFIL 10
	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]	NITRR [SK]
	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CONF. 1	0.872	0.806	0.934	0.845	0.881	1.127	1.109	1.277	1.232
CONF. 2	3.749	3.800	4.026	4.087	4.018	4.877	5.226	5.642	5.823
CONF. 3	2.539	2.484	2.552	2.443	2.693	3.018	3.265	3.671	3.721
CONF. 4	4.820	5.988	5.820	5.492	5.374	6.265	6.620	6.942	7.516
CONF. 5	4.721	5.370	5.160	5.466	5.120	6.046	6.500	6.903	7.516
CONF. 6	4.195	5.249	5.100	5.007	4.475	6.595	6.762	7.591	7.106
CONF. 7	5.045	6.135	5.985	5.524	5.556	6.441	6.644	6.981	7.514
CONF. 8	4.521	5.002	5.297	4.950	4.973	5.785	6.329	6.559	6.889
CONF. 9	4.385	4.689	4.829	4.828	4.730	5.544	6.081	6.512	6.585
CONF. 10	3.976	4.774	4.573	4.188	4.188	5.906	6.154	7.041	6.426
CONF. 11	4.534	5.318	5.385	5.053	5.223	5.968	6.377	6.665	6.874

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7	PERFIL 8	PERFIL 9	PERFIL 10
	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]	NITRR [7K]
	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.	Class.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CONF. 1	0.872	0.806	0.934	0.845	0.881	1.127	1.109	1.277	1.232
CONF. 2	3.749	3.800	4.026	4.087	4.018	4.877	5.226	5.642	5.823
CONF. 3	2.539	2.484	2.552	2.443	2.693	3.018	3.265	3.671	3.721
CONF. 4	4.820	5.988	5.820	5.492	5.374	6.265	6.620	6.942	7.516
CONF. 5	4.721	5.370	5.160	5.466	5.120	6.046	6.500	6.903	7.516
CONF. 6	4.195	5.249	5.100	5.007	4.475	6.595	6.762	7.591	7.106
CONF. 7	5.045	6.135	5.985	5.524	5.556	6.441	6.644	6.981	7.514
CONF. 8	4.521	5.002	5.297	4.950	4.973	5.785	6.329	6.559	6.889
CONF. 9	4.385	4.689	4.829	4.828	4.730	5.544	6.081	6.512	6.585
CONF. 10	3.976	4.774	4.573	4.188	4.188	5.906	6.154	7.041	6.426
CONF. 11	4.534	5.318	5.385	5.053	5.223	5.968	6.377	6.665	6.874

A	≥100%
B	99-80%
C	79-60%
D	59-40%
E	<40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.3 - Cenário 1 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 99 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7	PERFIL 8	PERFIL 9	PERFIL 10
	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%
	1.80		1.94		2.44		2.84		3.34	
CONF. 1	0.897	D 50%	0.882	D 45%	0.780	E 32%	1.109	E 33%	1.255	E 38%
CONF. 2	3.694	A 205%	4.358	A 225%	4.005	A 167%	4.705	A 166%	5.511	A 165%
CONF. 3	2.537	A 141%	2.852	A 147%	2.405	B 99%	2.907	A 102%	3.741	A 112%
CONF. 4	4.927	A 274%	6.080	A 313%	5.852	A 254%	6.234	A 185%	6.876	A 207%
CONF. 5	4.899	A 273%	5.775	A 298%	4.904	A 231%	5.758	A 203%	6.701	A 202%
CONF. 6	4.048	A 225%	5.645	A 291%	4.312	A 226%	6.272	A 221%	7.523	A 225%
CONF. 7	5.009	A 278%	6.371	A 328%	5.335	A 269%	6.316	A 195%	6.917	A 207%
CONF. 8	4.709	A 262%	5.545	A 286%	4.772	A 219%	6.118	A 202%	6.538	A 207%
CONF. 9	4.563	A 253%	5.232	A 270%	4.450	A 182%	5.323	A 187%	6.290	A 193%
CONF. 10	3.900	A 217%	4.929	A 254%	4.037	A 165%	5.598	A 197%	6.974	A 209%
CONF. 11	4.773	A 265%	5.633	A 290%	4.861	A 241%	5.850	A 206%	6.525	A 195%

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7	PERFIL 8	PERFIL 9	PERFIL 10
	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%
	1.00		1.10		1.46		1.74		2.10	
CONF. 1	0.897	D 50%	0.882	D 45%	0.780	E 32%	1.109	E 33%	1.255	E 38%
CONF. 2	3.694	A 205%	4.358	A 225%	4.005	A 167%	4.705	A 166%	5.511	A 165%
CONF. 3	2.537	A 141%	2.852	A 147%	2.405	B 99%	2.907	A 102%	3.741	A 112%
CONF. 4	4.927	A 274%	6.080	A 313%	5.852	A 254%	6.234	A 185%	6.876	A 207%
CONF. 5	4.899	A 273%	5.775	A 298%	4.904	A 231%	5.758	A 203%	6.701	A 202%
CONF. 6	4.048	A 225%	5.645	A 291%	4.312	A 226%	6.272	A 221%	7.523	A 225%
CONF. 7	5.009	A 278%	6.371	A 328%	5.335	A 269%	6.316	A 195%	6.917	A 207%
CONF. 8	4.709	A 262%	5.545	A 286%	4.772	A 219%	6.118	A 202%	6.538	A 207%
CONF. 9	4.563	A 253%	5.232	A 270%	4.450	A 182%	5.323	A 187%	6.290	A 193%
CONF. 10	3.900	A 217%	4.929	A 254%	4.037	A 165%	5.598	A 197%	6.974	A 209%
CONF. 11	4.773	A 265%	5.633	A 290%	4.861	A 241%	5.850	A 206%	6.525	A 195%

A	>=100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	< 40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.5 - Cenário 2 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 97,5 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1		PERFIL 2		PERFIL 4		PERFIL 5		PERFIL 6		PERFIL 7		PERFIL 8		PERFIL 9		PERFIL 10	
	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%	NITRR [5K]	%
	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%
CONF. 1	0.858	D 59%	0.792	D 48%	0.866	D 41%	0.774	E 35%	0.850	E 35%	1.024	E 39%	1.029	E 35%	1.206	E 40%	1.125	E 35%
CONF. 2	3.285	A 227%	3.380	A 206%	3.615	A 172%	3.517	A 157%	3.635	A 149%	3.971	A 149%	4.307	A 150%	4.728	A 156%	4.867	A 151%
CONF. 3	2.399	A 165%	2.437	A 149%	2.370	A 113%	2.233	B 100%	2.526	A 104%	2.721	A 104%	2.846	A 103%	3.316	A 109%	3.303	A 103%
CONF. 4	4.325	A 298%	4.723	A 288%	4.755	A 228%	4.389	A 196%	4.372	A 179%	4.719	A 179%	5.370	A 185%	5.657	A 182%	5.863	A 182%
CONF. 5	4.163	A 287%	4.490	A 274%	4.316	A 206%	4.506	A 201%	4.244	A 174%	4.589	A 174%	5.261	A 181%	5.768	A 190%	5.848	A 182%
CONF. 6	3.494	A 241%	3.994	A 244%	4.042	A 192%	4.197	A 187%	3.859	A 158%	4.836	A 158%	5.316	A 183%	5.867	A 193%	5.998	A 186%
CONF. 7	4.334	A 299%	4.885	A 298%	4.755	A 226%	4.427	A 198%	4.405	A 181%	4.797	A 182%	5.401	A 186%	5.676	A 187%	5.915	A 184%
CONF. 8	4.019	A 277%	4.472	A 273%	4.266	A 203%	4.132	A 184%	4.158	A 170%	4.415	A 167%	5.095	A 176%	5.407	A 178%	5.544	A 172%
CONF. 9	3.936	A 271%	4.215	A 257%	3.977	A 189%	4.131	A 184%	3.986	A 163%	4.284	A 162%	4.928	A 170%	5.423	A 178%	5.522	A 171%
CONF. 10	3.395	A 234%	3.777	A 230%	3.784	A 180%	3.942	A 176%	3.727	A 153%	4.461	A 169%	4.894	A 173%	5.689	A 187%	5.571	A 173%
CONF. 11	4.016	A 277%	4.551	A 278%	4.334	A 206%	4.149	A 185%	4.296	A 176%	4.496	A 170%	5.140	A 177%	5.463	A 180%	5.650	A 175%

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7	PERFIL 8	PERFIL 9	PERFIL 10	
	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%	NITRR [7K]	%
	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%
CONF. 1	0.75	A 89%	0.866	C 72%	0.850	D 59%	1.024	C 64%	1.029	D 57%
CONF. 2	3.285	A 438%	3.615	A 380%	3.635	A 266%	3.971	A 248%	4.307	A 241%
CONF. 3	2.399	A 320%	2.437	A 274%	2.370	A 196%	2.233	A 173%	2.846	A 159%
CONF. 4	4.325	A 577%	4.723	A 531%	4.755	A 393%	4.389	A 333%	4.719	A 295%
CONF. 5	4.163	A 555%	4.490	A 504%	4.316	A 341%	4.244	A 291%	4.589	A 287%
CONF. 6	3.494	A 466%	3.994	A 449%	4.042	A 318%	3.859	A 264%	4.836	A 302%
CONF. 7	4.334	A 578%	4.885	A 549%	4.755	A 393%	4.427	A 300%	4.797	A 276%
CONF. 8	4.019	A 536%	4.472	A 502%	4.266	A 313%	4.132	A 285%	4.415	A 268%
CONF. 9	3.936	A 525%	4.215	A 474%	3.977	A 329%	3.986	A 273%	4.284	A 275%
CONF. 10	3.395	A 453%	3.777	A 424%	3.784	A 313%	3.942	A 299%	4.461	A 279%
CONF. 11	4.016	A 535%	4.551	A 511%	4.334	A 358%	4.149	A 314%	4.496	A 287%

A	≥100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	< 40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.6 - Cenário 2 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 99 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1			PERFIL 2			PERFIL 4			PERFIL 5			PERFIL 6			PERFIL 7			PERFIL 8			PERFIL 9			PERFIL 10		
	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%	NITRR (5K)	Class.	%
	1.80	D	51%	1.94	D	42%	2.30	E	39%	2.44	E	30%	2.74	E	30%	2.84	E	35%	3.20	E	34%	3.34	E	34%	3.52	E	32%
CONF. 1	0.923	D	51%	0.815	D	42%	0.897	E	39%	0.730	E	30%	0.819	E	30%	0.992	E	35%	1.102	E	34%	1.131	E	34%	1.112	E	32%
CONF. 2	3.233	A	180%	3.924	A	202%	3.493	A	152%	3.457	A	142%	3.316	A	121%	3.882	A	137%	4.482	A	140%	4.577	A	137%	4.675	A	133%
CONF. 3	2.305	A	138%	2.758	A	142%	2.238	B	97%	2.233	B	92%	2.357	B	86%	2.589	B	91%	3.002	B	94%	3.264	B	98%	3.254	B	92%
CONF. 4	3.420	A	190%	4.093	A	211%	3.548	A	154%	3.424	A	140%	3.150	A	115%	4.774	A	168%	5.271	A	165%	5.818	A	174%	5.689	A	162%
CONF. 5	4.043	A	225%	5.083	A	262%	4.427	A	192%	4.191	A	172%	4.115	A	150%	4.658	A	164%	5.475	A	171%	5.485	A	164%	5.552	A	158%
CONF. 6	3.922	A	218%	4.839	A	249%	4.188	A	182%	4.105	A	168%	3.737	A	136%	4.558	A	160%	5.280	A	165%	5.442	A	163%	5.641	A	160%
CONF. 7	4.221	A	235%	5.102	A	263%	4.500	A	196%	4.249	A	174%	4.236	A	155%	4.685	A	165%	5.509	A	172%	5.500	A	165%	5.531	A	157%
CONF. 8	3.817	A	212%	4.721	A	243%	4.284	A	186%	3.922	A	161%	3.925	A	143%	4.394	A	155%	5.125	A	160%	5.077	A	152%	5.302	A	151%
CONF. 9	3.746	A	208%	4.483	A	231%	4.027	A	175%	3.847	A	158%	3.544	A	139%	4.195	A	148%	5.077	A	159%	5.126	A	153%	5.277	A	150%
CONF. 10	3.232	A	180%	3.945	A	203%	3.239	A	141%	3.367	A	138%	3.041	A	111%	4.331	A	153%	4.804	A	150%	5.345	A	160%	5.194	A	148%
CONF. 11	3.960	A	220%	4.858	A	250%	4.404	A	191%	4.003	A	164%	4.019	A	147%	4.437	A	156%	5.166	A	161%	5.080	A	152%	5.309	A	151%

	PERFIL 1			PERFIL 2			PERFIL 4			PERFIL 5			PERFIL 6			PERFIL 7			PERFIL 8			PERFIL 9			PERFIL 10		
	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%	NITRR (7K)	Class.	%
	1.00	B	92%	1.10	C	74%	1.36	C	66%	1.46	D	50%	1.67	D	49%	1.74	D	57%	2.00	D	55%	2.10	D	54%	2.23	D	50%
CONF. 1	0.923	B	92%	0.815	C	74%	0.897	C	66%	0.730	D	50%	0.819	D	49%	0.992	D	57%	1.102	D	55%	1.131	D	54%	1.112	D	50%
CONF. 2	3.233	A	323%	3.924	A	357%	3.493	A	357%	3.457	A	237%	3.316	A	199%	3.882	A	223%	4.482	A	224%	4.577	A	218%	4.675	A	210%
CONF. 3	2.305	A	231%	2.758	A	251%	2.238	A	165%	2.233	A	153%	2.357	A	141%	2.589	A	149%	3.002	A	150%	3.264	A	155%	3.254	A	146%
CONF. 4	3.420	A	342%	4.093	A	372%	3.548	A	261%	3.424	A	235%	3.150	A	189%	4.774	A	274%	5.271	A	264%	5.818	A	277%	5.689	A	255%
CONF. 5	4.043	A	404%	5.083	A	462%	4.427	A	326%	4.191	A	237%	4.115	A	246%	4.658	A	268%	5.475	A	274%	5.485	A	261%	5.552	A	249%
CONF. 6	3.922	A	392%	4.839	A	440%	4.188	A	308%	4.105	A	281%	3.737	A	224%	4.558	A	262%	5.280	A	264%	5.442	A	259%	5.641	A	253%
CONF. 7	4.221	A	422%	5.102	A	464%	4.500	A	331%	4.249	A	291%	4.236	A	254%	4.685	A	269%	5.509	A	275%	5.500	A	262%	5.531	A	248%
CONF. 8	3.817	A	382%	4.721	A	429%	4.284	A	315%	3.922	A	259%	3.925	A	235%	4.394	A	253%	5.125	A	256%	5.077	A	242%	5.302	A	238%
CONF. 9	3.746	A	375%	4.483	A	408%	4.027	A	296%	3.847	A	263%	3.544	A	212%	4.195	A	241%	5.077	A	254%	5.126	A	244%	5.277	A	237%
CONF. 10	3.232	A	323%	3.945	A	359%	3.239	A	238%	3.367	A	231%	3.041	A	182%	4.331	A	249%	4.804	A	240%	5.345	A	255%	5.194	A	233%
CONF. 11	3.960	A	396%	4.858	A	442%	4.404	A	324%	4.003	A	274%	4.019	A	241%	4.437	A	255%	5.166	A	258%	5.080	A	242%	5.309	A	238%

A	>=100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	<40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.2 - Cenário 3 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 95 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1		PERFIL 2		PERFIL 4		PERFIL 5		PERFIL 6		PERFIL 7		PERFIL 8		PERFIL 9		PERFIL 10	
	NITRR [SK]	Class.	%	NITRR [SK]	Class.	%	NITRR [SK]	Class.	%	NITRR [SK]	Class.	%	NITRR [SK]	Class.	%	NITRR [SK]	Class.	%
	1.16	C	76%	0.510	E	37%	0.814	D	42%	0.730	E	35%	0.791	E	36%	0.853	E	34%
CONF. 1	0.877	A	133%	1.223	B	89%	1.356	C	70%	4.049	A	193%	1.424	C	64%	1.838	C	74%
CONF. 2	1.527	A	133%	1.039	C	75%	1.258	C	65%	2.390	A	114%	1.327	D	60%	1.618	C	65%
CONF. 3	1.546	A	133%	1.229	B	89%	1.361	C	70%	4.858	A	231%	1.433	C	65%	1.924	C	78%
CONF. 4	1.602	A	138%	1.119	B	81%	1.297	C	67%	2.880	A	137%	1.280	D	58%	1.605	C	65%
CONF. 5	1.473	A	127%	1.119	B	81%	1.297	C	67%	2.880	A	137%	1.280	D	58%	1.605	C	65%
CONF. 6	1.623	A	140%	1.191	B	86%	1.329	C	69%	3.062	A	146%	1.356	C	61%	1.669	C	67%
CONF. 7	1.621	A	140%	1.230	B	89%	1.354	C	70%	4.415	A	215%	1.468	C	66%	1.957	C	79%
CONF. 8	1.563	A	135%	1.249	B	91%	1.370	C	71%	4.447	A	213%	1.455	C	66%	1.858	C	75%
CONF. 9	1.496	A	129%	1.103	C	80%	1.193	C	61%	2.910	A	139%	1.267	D	57%	1.584	C	64%
CONF. 10	1.558	A	134%	1.181	B	86%	1.330	C	69%	3.074	A	146%	1.332	D	60%	1.672	C	67%
CONF. 11	1.616	A	139%	1.251	B	91%	1.383	C	71%	4.275	A	204%	1.440	C	65%	1.924	C	78%

	PERFIL 1		PERFIL 2		PERFIL 4		PERFIL 5		PERFIL 6		PERFIL 7		PERFIL 8		PERFIL 9		PERFIL 10	
	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%
	0.55			0.70			1.21			1.30			1.49			1.61		
CONF. 1	0.877	A	159%	0.510	C	73%	0.814	C	74%	0.730	C	60%	0.791	C	61%	0.853	D	57%
CONF. 2	1.527	A	278%	1.223	A	175%	1.356	A	123%	4.049	A	335%	1.424	A	110%	1.838	A	123%
CONF. 3	1.546	A	281%	1.039	A	148%	1.258	A	114%	2.390	A	198%	1.327	A	102%	1.618	A	109%
CONF. 4	1.602	A	291%	1.229	A	176%	1.361	A	124%	4.858	A	401%	1.433	A	110%	1.924	A	129%
CONF. 5	1.473	A	263%	1.119	A	160%	1.297	A	118%	2.880	A	238%	1.280	B	98%	1.605	A	108%
CONF. 6	1.623	A	295%	1.191	A	170%	1.329	A	121%	3.062	A	253%	1.356	A	104%	1.669	A	112%
CONF. 7	1.621	A	295%	1.230	A	176%	1.354	A	123%	4.415	A	373%	1.468	A	113%	1.957	A	131%
CONF. 8	1.563	A	284%	1.249	A	178%	1.370	A	125%	4.447	A	368%	1.455	A	112%	1.858	A	125%
CONF. 9	1.496	A	273%	1.103	A	158%	1.193	A	108%	2.910	A	240%	1.267	B	97%	1.584	A	106%
CONF. 10	1.558	A	283%	1.181	A	169%	1.330	A	121%	3.074	A	254%	1.332	A	102%	1.672	A	112%
CONF. 11	1.616	A	294%	1.251	A	179%	1.383	A	126%	4.275	A	353%	1.440	A	111%	1.924	A	129%

A	>=100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	<40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.8 - Cenário 3 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 97,5 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

PERFIL 1		PERFIL 2		PERFIL 3		PERFIL 4		PERFIL 5		PERFIL 6		PERFIL 7		PERFIL 8		PERFIL 9		PERFIL 10	
Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%	Class.	%
1.45		1.64		2.10		2.10		2.24		2.44		2.64		2.90		3.04		3.22	
CONF. 1	0.878	CONF. 1	0.669	CONF. 1	0.794	CONF. 1	0.794	CONF. 1	0.647	CONF. 1	0.692	CONF. 1	0.819	CONF. 1	0.918	CONF. 1	1.297	CONF. 1	1.416
CONF. 2	1.445	CONF. 2	1.360	CONF. 2	1.129	CONF. 2	1.129	CONF. 2	0.574	CONF. 2	1.416	CONF. 2	1.579	CONF. 2	1.418	CONF. 2	4.993	CONF. 2	4.571
CONF. 3	1.485	CONF. 3	1.225	CONF. 3	1.209	CONF. 3	1.209	CONF. 3	1.803	CONF. 3	1.336	CONF. 3	1.585	CONF. 3	1.297	CONF. 3	4.455	CONF. 3	3.610
CONF. 4	1.509	CONF. 4	1.339	CONF. 4	1.250	CONF. 4	1.250	CONF. 4	0.603	CONF. 4	1.367	CONF. 4	1.626	CONF. 4	1.409	CONF. 4	4.953	CONF. 4	4.937
CONF. 5	1.435	CONF. 5	1.402	CONF. 5	0.858	CONF. 5	1.225	CONF. 5	0.542	CONF. 5	1.181	CONF. 5	1.430	CONF. 5	1.352	CONF. 5	4.730	CONF. 5	4.124
CONF. 6	1.506	CONF. 6	1.472	CONF. 6	1.296	CONF. 6	1.296	CONF. 6	2.276	CONF. 6	1.230	CONF. 6	1.501	CONF. 6	1.393	CONF. 6	4.483	CONF. 6	4.021
CONF. 7	1.515	CONF. 7	1.351	CONF. 7	1.255	CONF. 7	1.255	CONF. 7	0.603	CONF. 7	1.318	CONF. 7	1.582	CONF. 7	1.396	CONF. 7	4.483	CONF. 7	4.964
CONF. 8	1.500	CONF. 8	1.403	CONF. 8	1.235	CONF. 8	1.235	CONF. 8	3.852	CONF. 8	1.437	CONF. 8	1.522	CONF. 8	1.400	CONF. 8	4.455	CONF. 8	4.934
CONF. 9	1.414	CONF. 9	1.345	CONF. 9	0.813	CONF. 9	1.193	CONF. 9	2.242	CONF. 9	1.173	CONF. 9	1.326	CONF. 9	1.317	CONF. 9	4.520	CONF. 9	3.882
CONF. 10	1.463	CONF. 10	1.451	CONF. 10	0.883	CONF. 10	1.262	CONF. 10	0.603	CONF. 10	1.236	CONF. 10	1.359	CONF. 10	1.370	CONF. 10	4.773	CONF. 10	4.183
CONF. 11	1.523	CONF. 11	1.350	CONF. 11	1.255	CONF. 11	1.255	CONF. 11	3.908	CONF. 11	1.427	CONF. 11	1.521	CONF. 11	1.416	CONF. 11	4.493	CONF. 11	5.029

A	>=100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	< 40%

Fonte: A autora (2020)

Tabela E.9 - Cenário 3 - Valores de NIT das configurações construtivas para o percentil 99 (utilizando os valores de 5°C e 7°C para NITRR)

	PERFIL 1			PERFIL 2			PERFIL 4			PERFIL 5			PERFIL 6			PERFIL 7			PERFIL 8			PERFIL 9			PERFIL 10		
	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%	NITRR [5K]	Class.	%
	1.80			1.94			2.30			2.44			2.74			2.84			3.20			3.34			3.52		
CONF. 1	0.985	D	55%	0.775	E	40%	0.807	E	35%	0.624	E	26%	0.671	E	24%	0.751	E	26%	0.898	E	28%	1.237	E	37%	1.311	E	37%
CONF. 2	1.530	B	85%	1.519	C	78%	1.242	D	54%	2.784	A	114%	1.192	D	44%	1.259	D	44%	1.360	D	43%	2.493	C	75%	4.103	A	117%
CONF. 3	1.452	B	81%	1.338	C	69%	1.191	D	52%	1.520	C	62%	1.142	D	42%	1.144	D	40%	1.245	E	39%	2.172	C	65%	3.081	B	88%
CONF. 4	1.555	B	86%	1.595	B	82%	1.290	D	56%	2.965	A	127%	1.224	D	45%	1.233	D	43%	1.397	D	44%	2.535	C	76%	3.997	A	114%
CONF. 5	1.555	B	86%	1.562	B	81%	1.228	D	53%	2.194	B	90%	1.091	E	40%	1.174	D	41%	1.351	D	42%	2.373	C	71%	3.434	B	98%
CONF. 6	1.542	B	86%	1.610	B	83%	1.245	D	54%	2.398	B	98%	1.149	D	42%	1.219	D	43%	1.412	D	44%	2.507	C	75%	3.660	A	104%
CONF. 7	1.551	B	86%	1.594	B	82%	1.285	D	56%	2.995	A	123%	1.224	D	45%	1.211	D	43%	1.412	D	44%	2.634	C	79%	3.832	A	109%
CONF. 8	1.501	B	83%	1.553	B	80%	1.276	D	55%	2.883	A	118%	1.217	D	44%	1.222	D	43%	1.391	D	43%	2.466	C	74%	4.109	A	117%
CONF. 9	1.519	B	84%	1.542	C	79%	1.182	D	51%	2.246	B	92%	1.077	E	39%	1.137	D	40%	1.329	D	42%	2.342	C	70%	3.481	B	99%
CONF. 10	1.546	B	86%	1.587	B	82%	1.340	D	58%	2.348	B	96%	1.136	D	41%	1.198	D	42%	1.359	D	42%	2.486	C	74%	3.457	B	98%
CONF. 11	1.554	B	86%	1.597	B	82%	1.310	D	57%	2.883	A	118%	1.241	D	45%	1.222	D	43%	1.402	D	44%	2.477	C	74%	3.937	A	112%

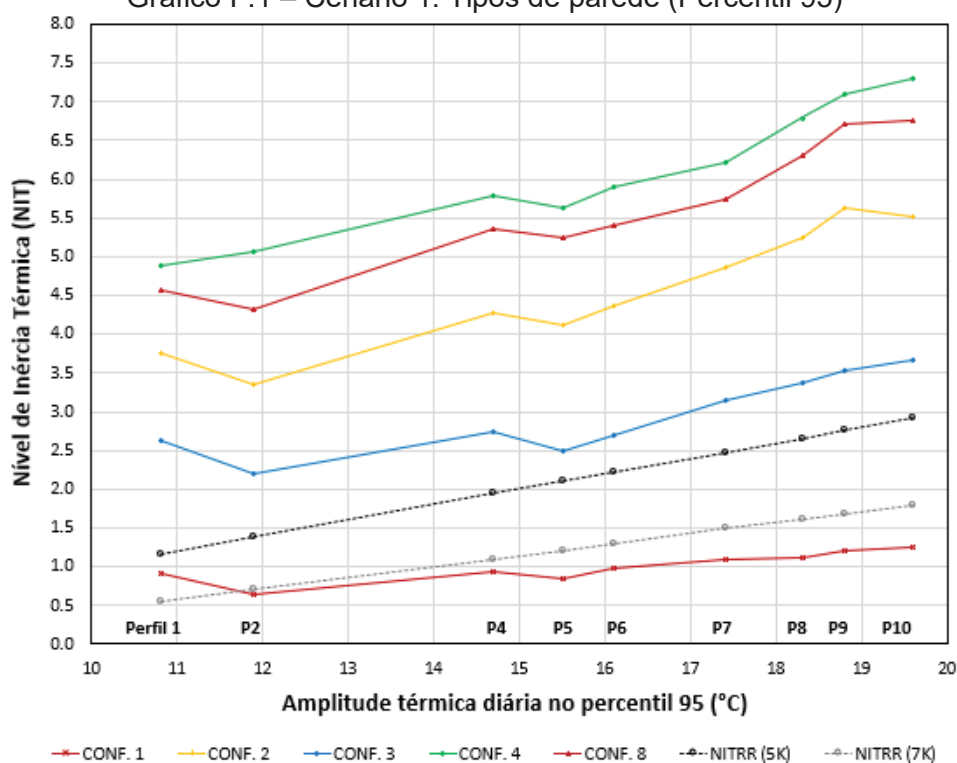
	PERFIL 1			PERFIL 2			PERFIL 4			PERFIL 5			PERFIL 6			PERFIL 7			PERFIL 8			PERFIL 9			PERFIL 10		
	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%	NITRR [7K]	Class.	%
	1.00			1.10			1.36			1.46			1.67			1.74			2.00			2.10			2.23		
CONF. 1	0.985	B	99%	0.775	C	70%	0.807	D	59%	0.624	D	43%	0.671	D	40%	0.751	D	43%	0.898	D	45%	1.237	D	59%	1.311	D	59%
CONF. 2	1.530	A	153%	1.519	A	138%	1.242	B	91%	2.784	A	197%	1.192	C	71%	1.259	C	72%	1.360	C	68%	2.493	A	119%	4.103	A	184%
CONF. 3	1.452	A	145%	1.338	A	122%	1.191	B	88%	1.520	A	104%	1.142	C	68%	1.144	C	66%	1.245	C	62%	2.172	A	103%	3.081	A	138%
CONF. 4	1.555	A	155%	1.595	A	145%	1.290	B	95%	2.965	A	203%	1.224	C	73%	1.233	C	71%	1.397	C	70%	2.535	A	121%	3.997	A	179%
CONF. 5	1.555	A	155%	1.562	A	142%	1.228	B	90%	2.194	A	150%	1.091	C	65%	1.174	C	67%	1.351	C	68%	2.373	A	113%	3.434	A	154%
CONF. 6	1.542	A	154%	1.610	A	146%	1.245	B	92%	2.398	A	164%	1.149	C	69%	1.219	C	70%	1.412	C	71%	2.507	A	119%	3.660	A	164%
CONF. 7	1.551	A	155%	1.594	A	145%	1.285	B	94%	2.995	A	205%	1.224	C	73%	1.211	C	70%	1.412	C	71%	2.634	A	125%	3.832	A	172%
CONF. 8	1.501	A	150%	1.553	A	141%	1.276	B	94%	2.883	A	197%	1.217	C	73%	1.222	C	70%	1.391	C	70%	2.466	A	117%	4.109	A	184%
CONF. 9	1.519	A	152%	1.542	A	140%	1.182	B	87%	2.246	A	154%	1.077	C	64%	1.137	C	65%	1.329	C	66%	2.342	A	112%	3.481	A	156%
CONF. 10	1.546	A	155%	1.587	A	144%	1.340	B	99%	2.348	A	161%	1.136	C	68%	1.198	C	69%	1.359	C	68%	2.486	A	118%	3.457	A	155%
CONF. 11	1.554	A	155%	1.597	A	145%	1.310	B	96%	2.883	A	197%	1.241	C	74%	1.222	C	70%	1.402	C	70%	2.477	A	118%	3.937	A	177%

A	>=100%
B	99 - 80%
C	79 - 60%
D	59 - 40%
E	< 40%

Fonte: A autora (2020)

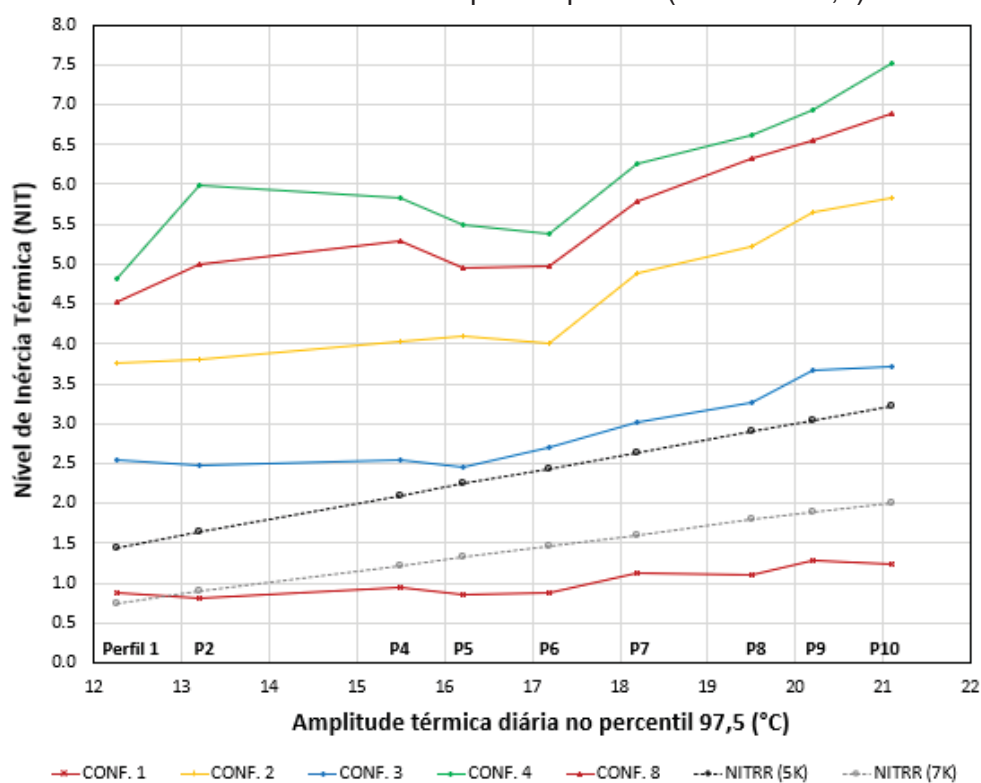
APÊNDICE F

Gráfico F.1 – Cenário 1: Tipos de parede (Percentil 95)



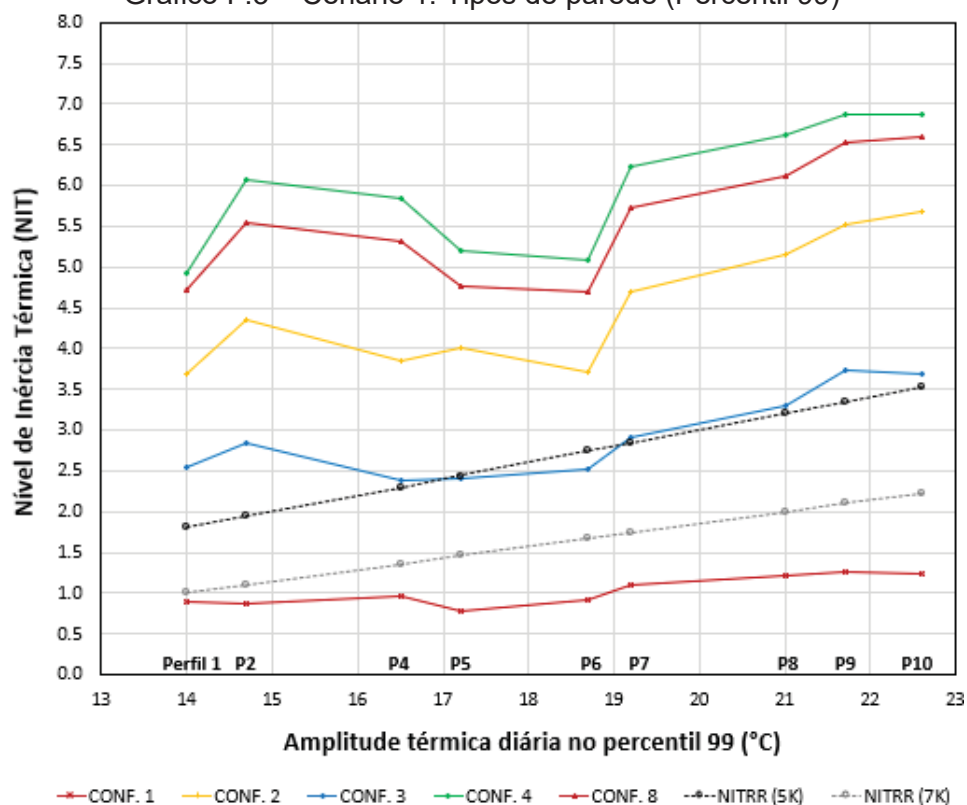
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.2 – Cenário 1: Tipos de parede (Percentil 97,5)



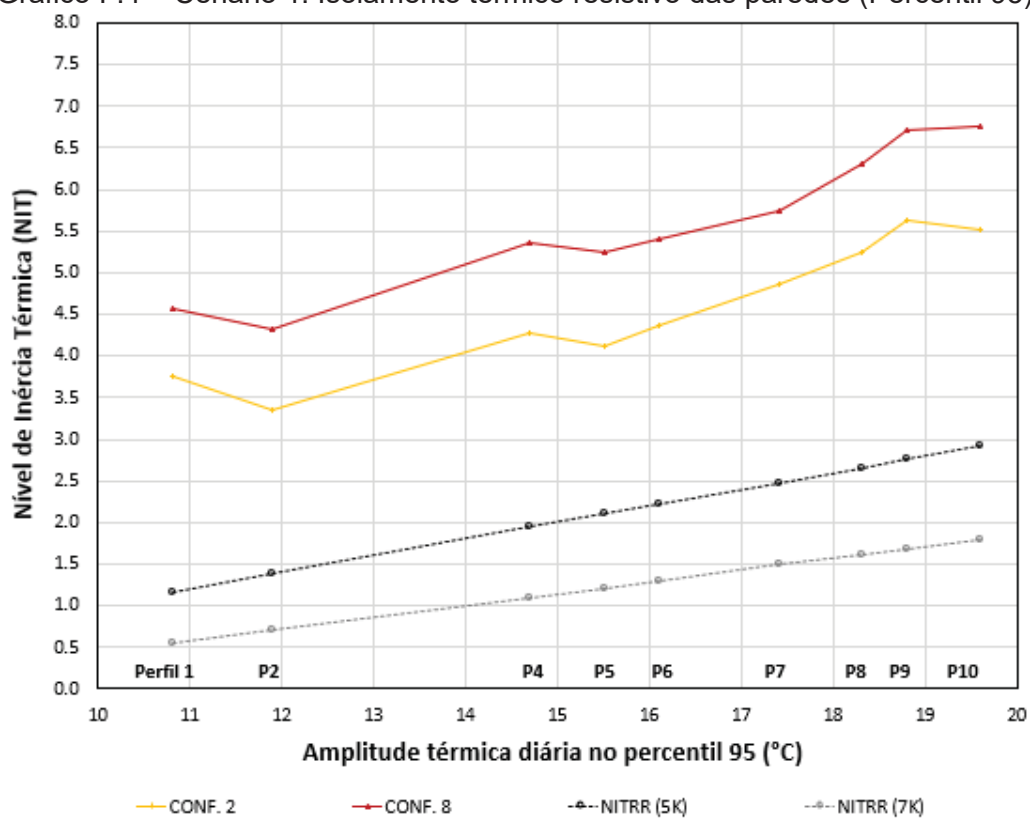
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.3 – Cenário 1: Tipos de parede (Percentil 99)



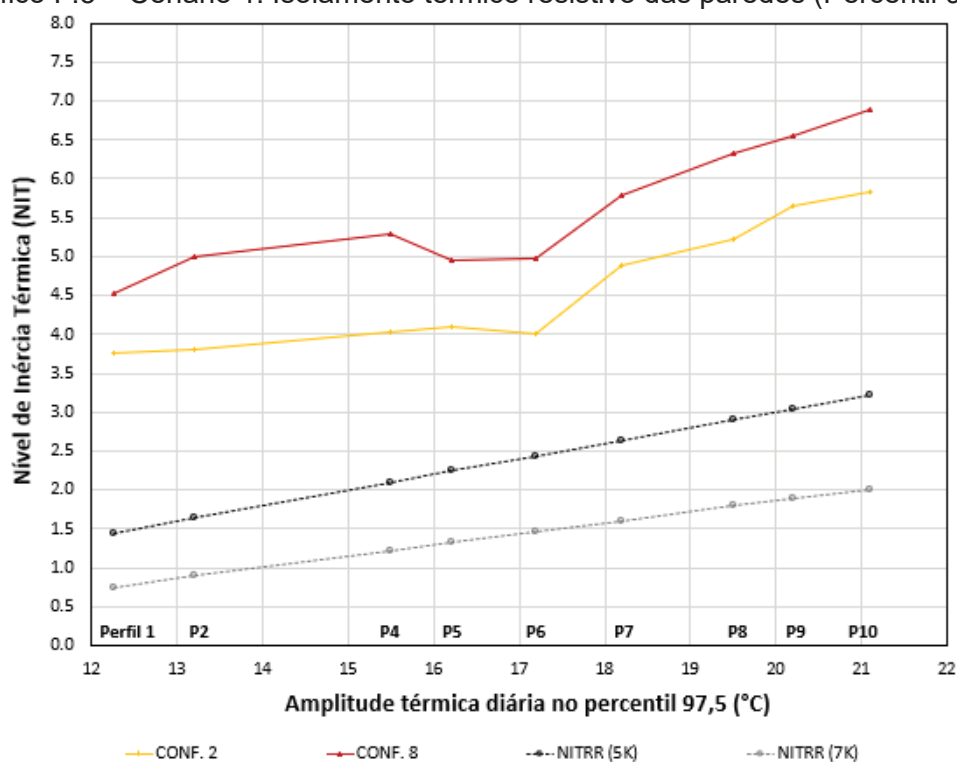
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.4 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 95)



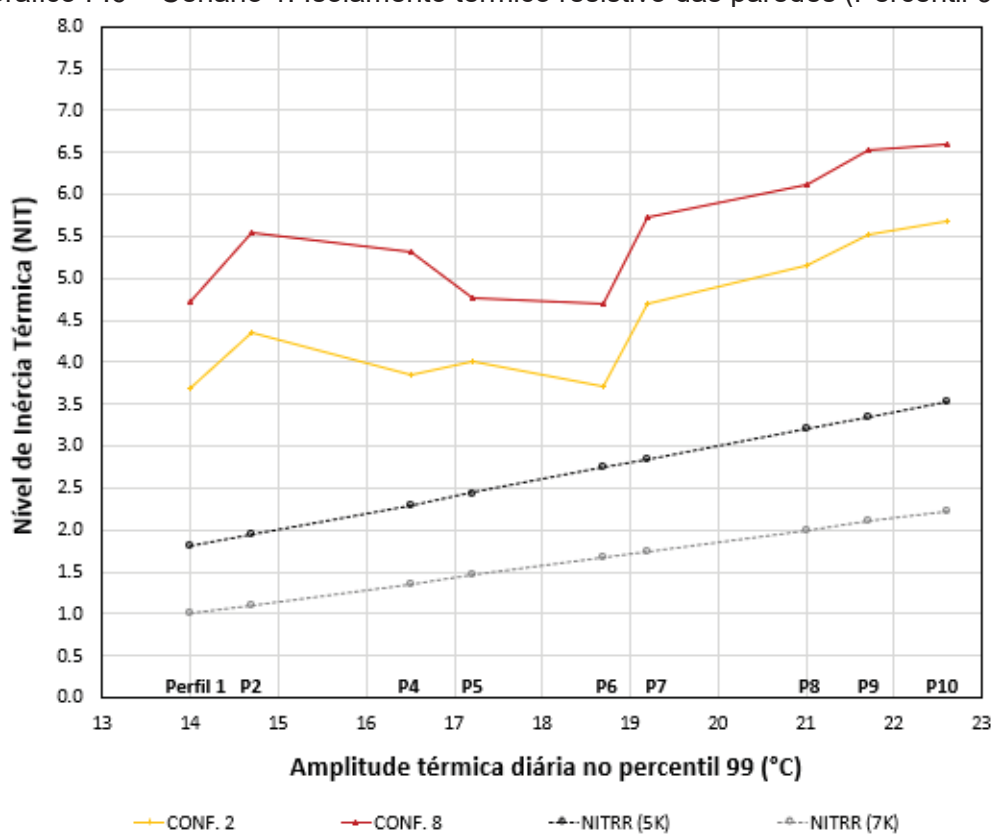
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.5 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 97,5)



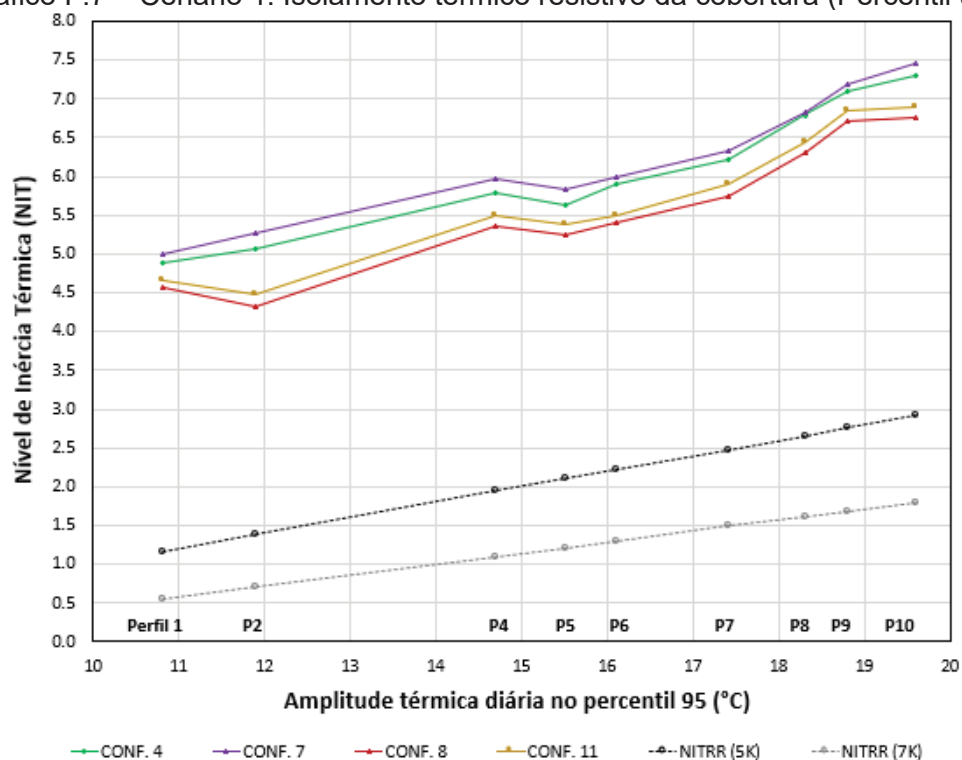
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.6 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 99)



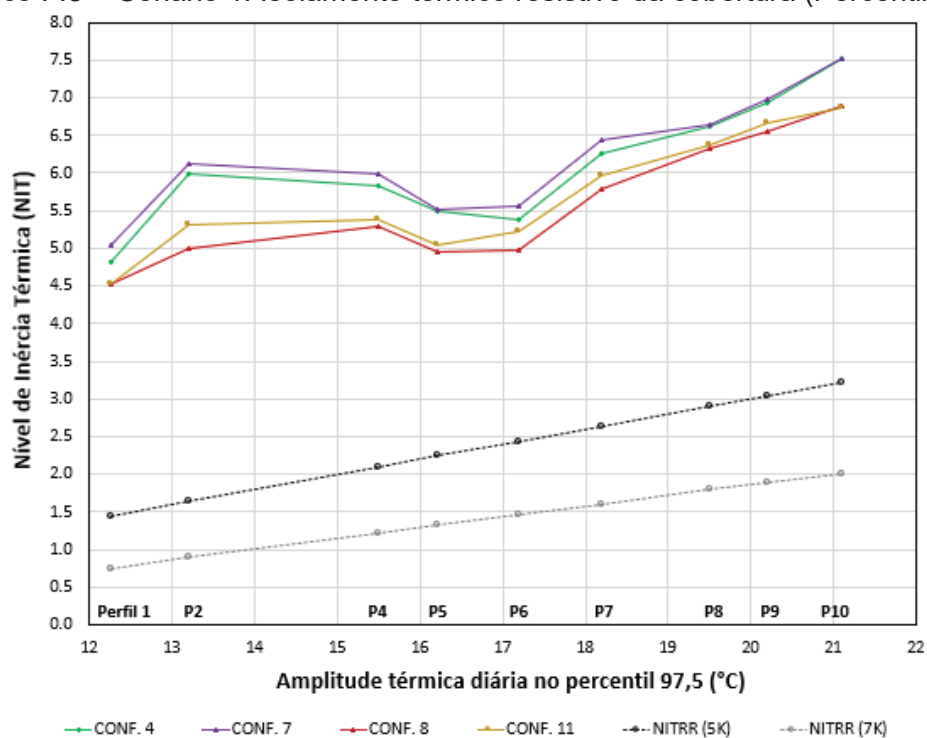
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.7 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 95)



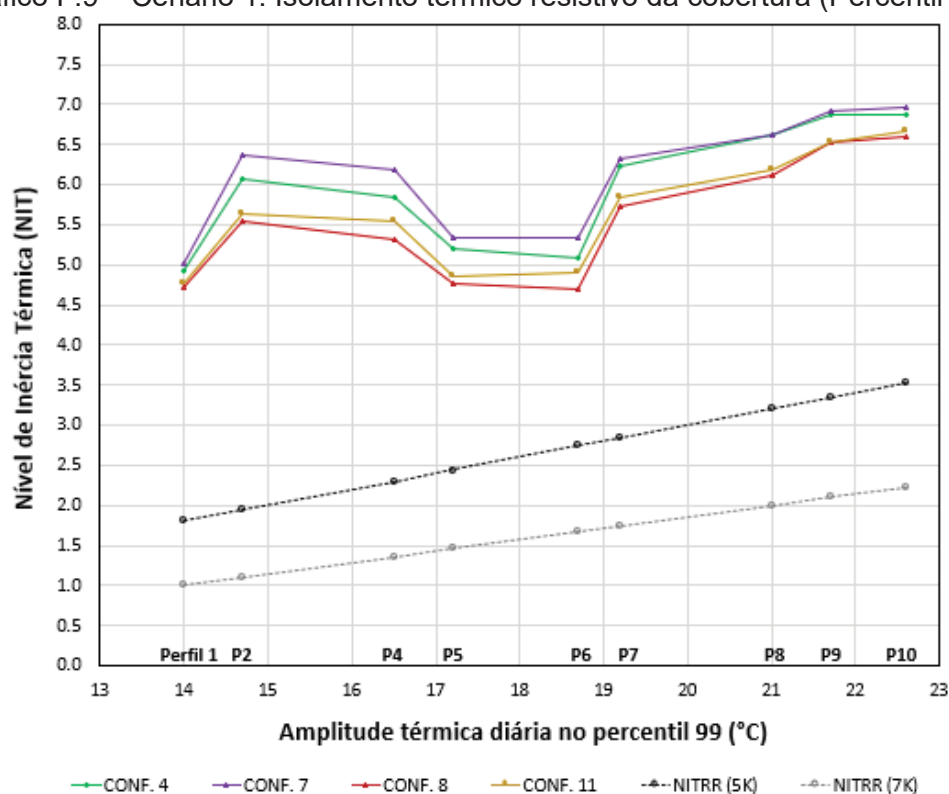
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.8 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 97,5)



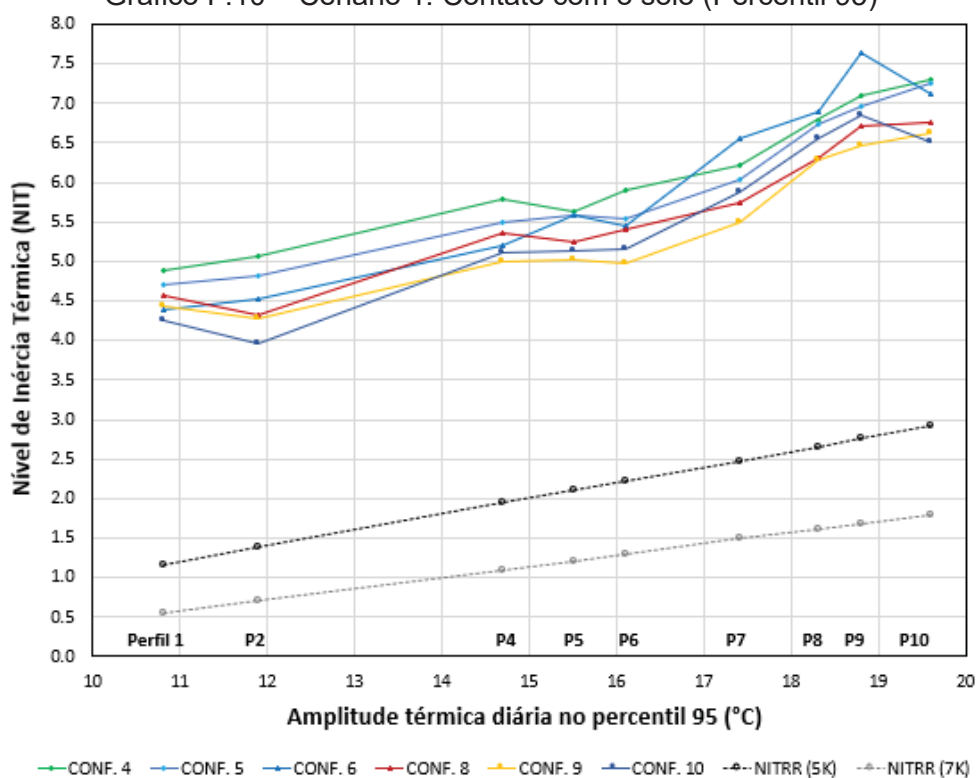
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.9 – Cenário 1: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 99)



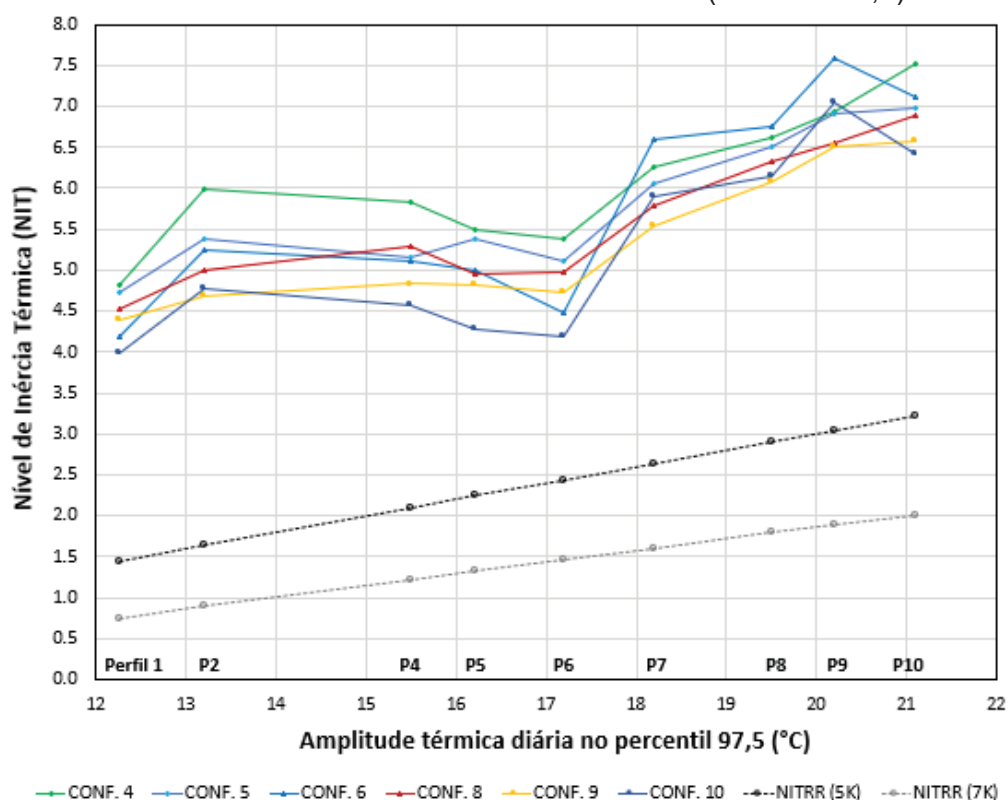
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.10 – Cenário 1: Contato com o solo (Percentil 95)



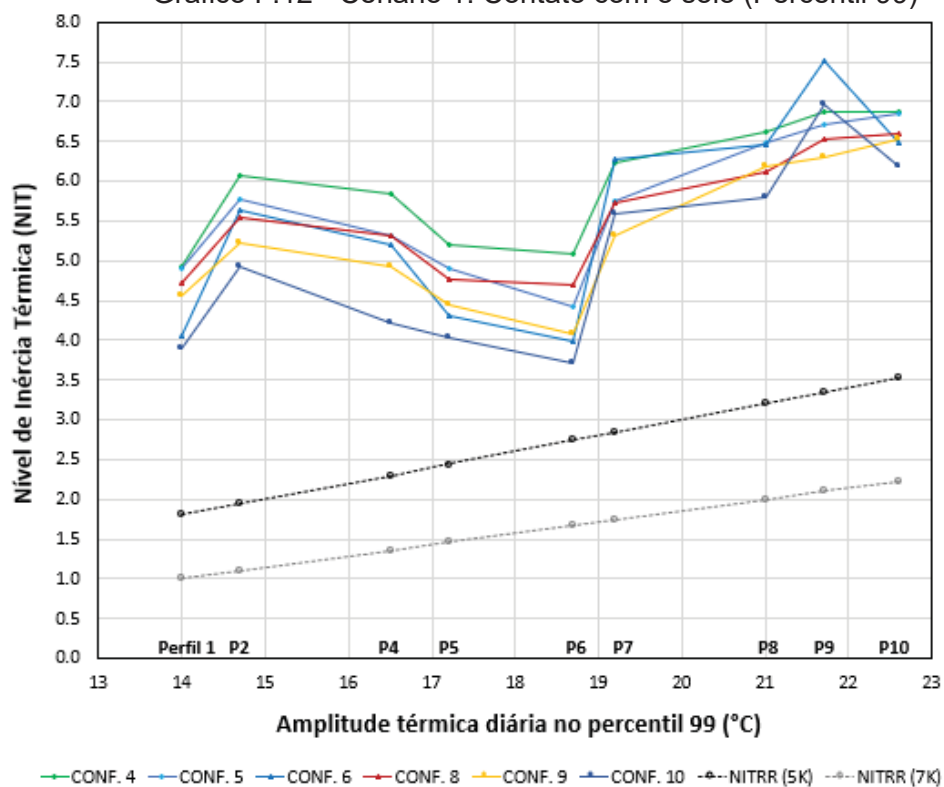
Fonte: A autora (2020)

Gráfico F.11 – Cenário 1: Contato com o solo (Percentil 97,5)



Fonte: A autora (2020)

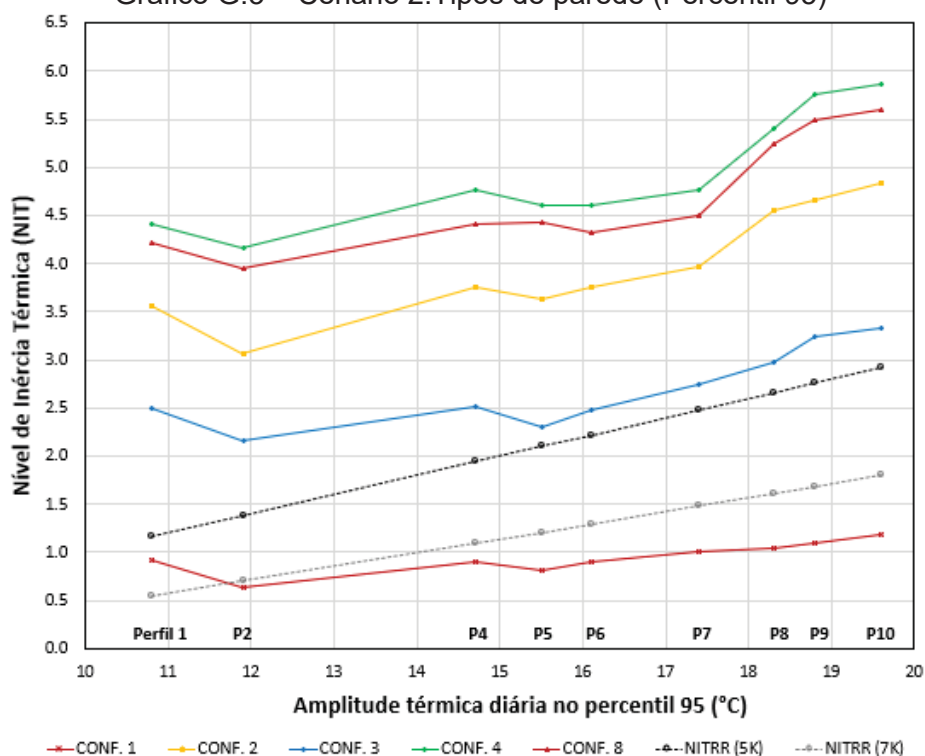
Gráfico F.12 - Cenário 1: Contato com o solo (Percentil 99)



Fonte: A autora (2020)

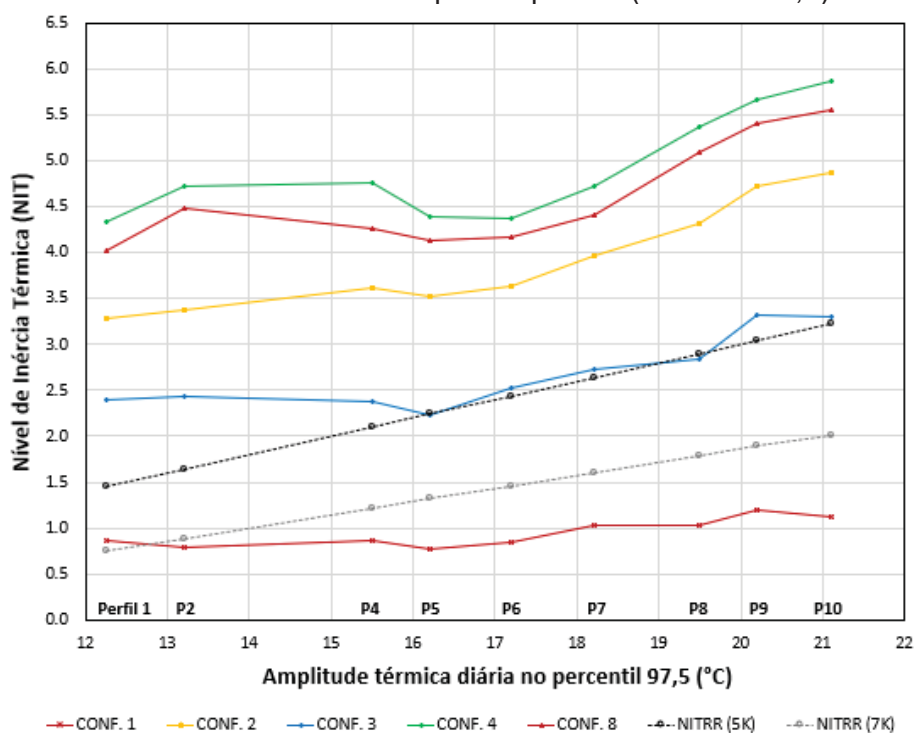
APÊNDICE G

Gráfico G.3 – Cenário 2:Tipos de parede (Percentil 95)



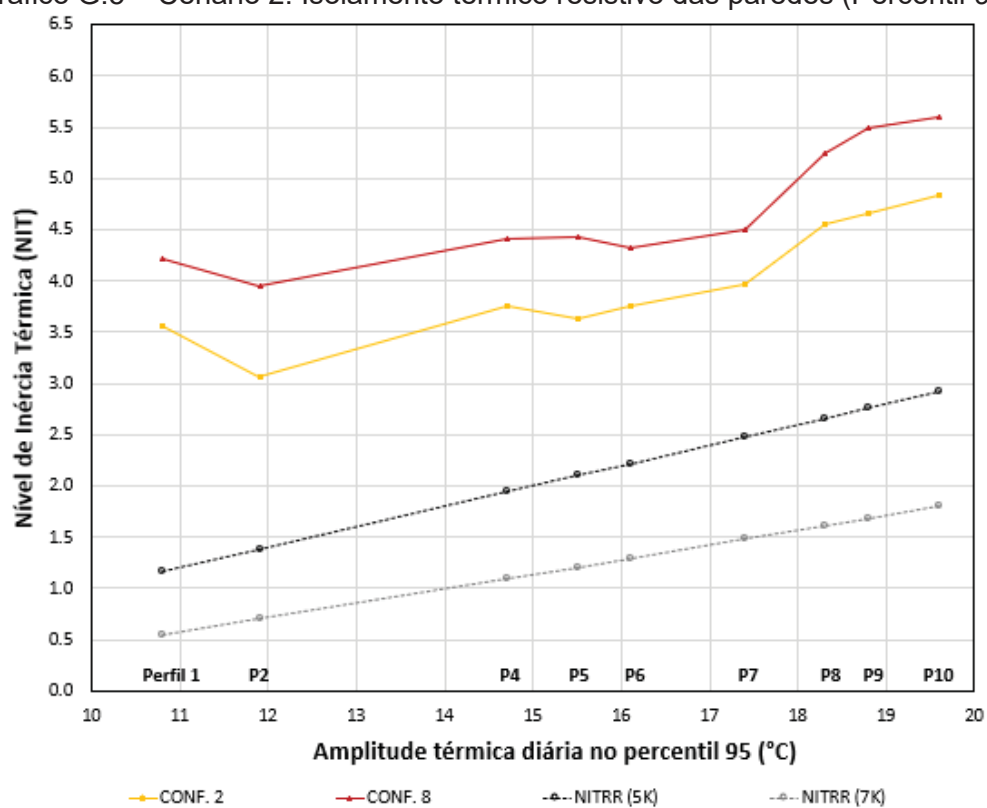
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.4 – Cenário 2:Tipos de parede (Percentil 97,5)



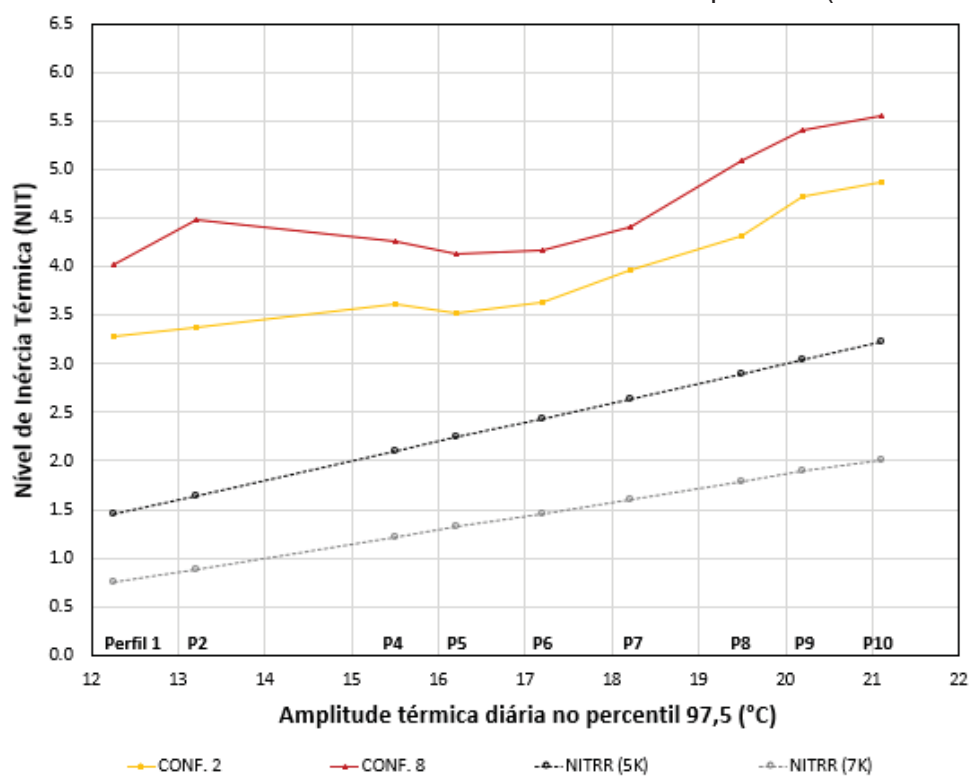
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.5 – Cenário 2: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 95)



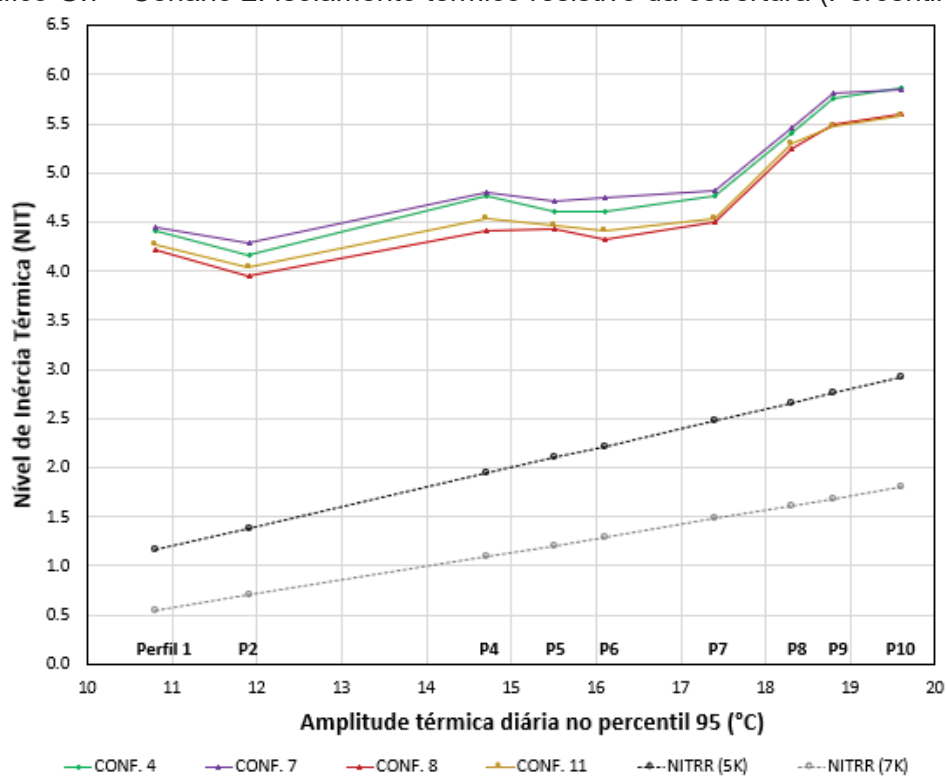
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.6 – Cenário 2: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 97,5)



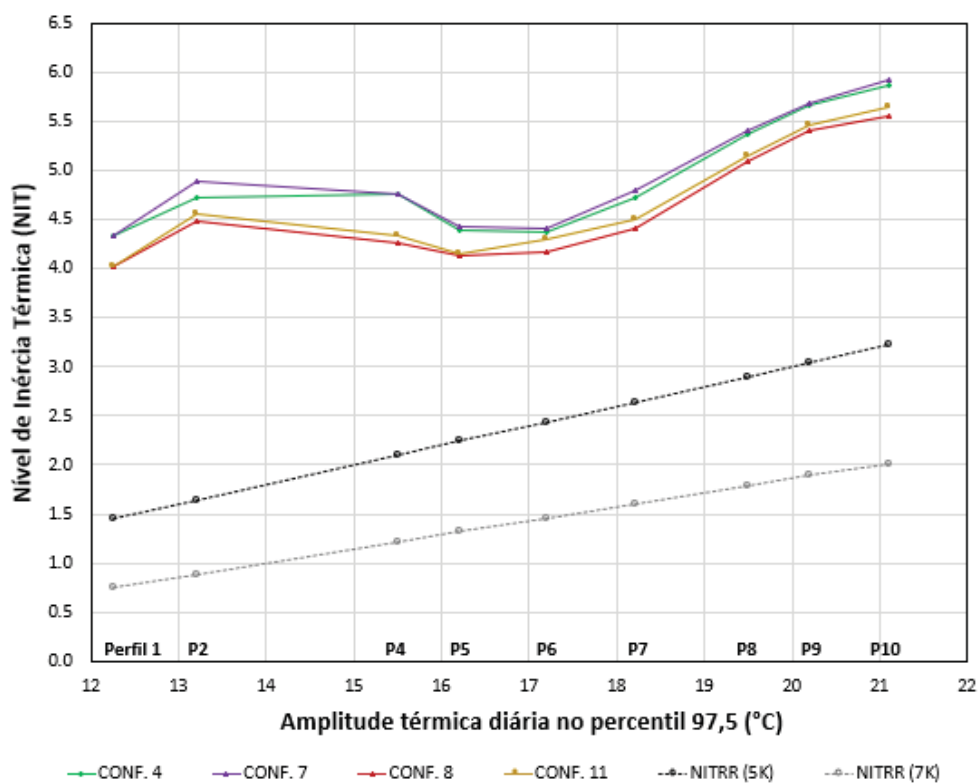
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.7 - Cenário 2: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 95)



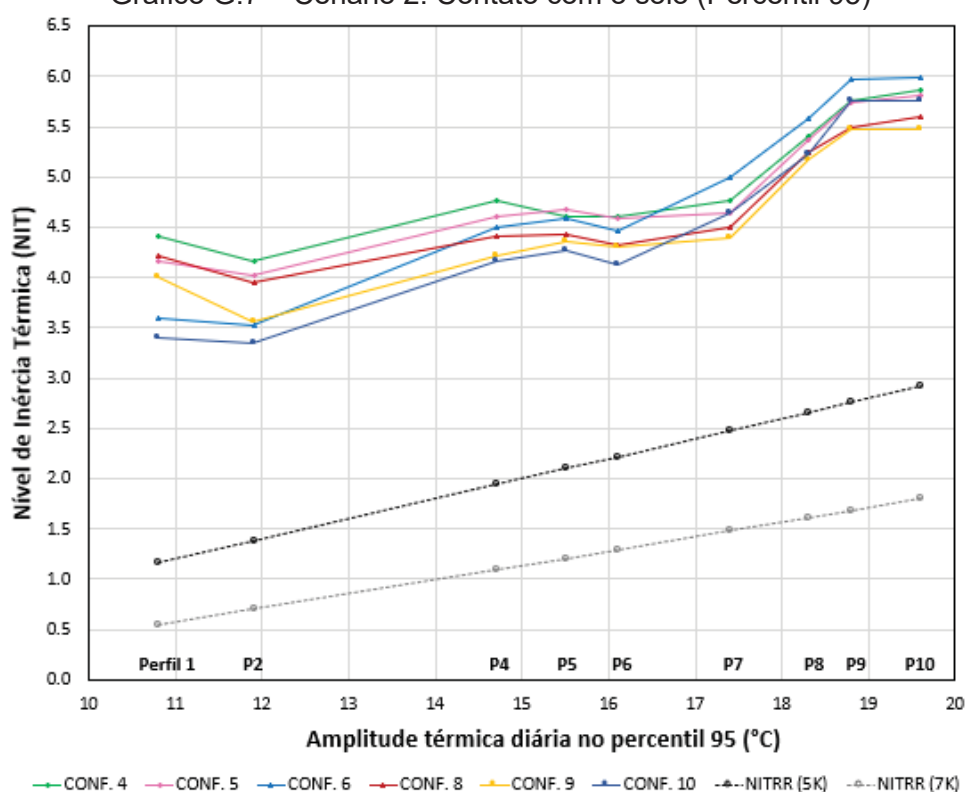
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.8 - Cenário 2: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 97,5)



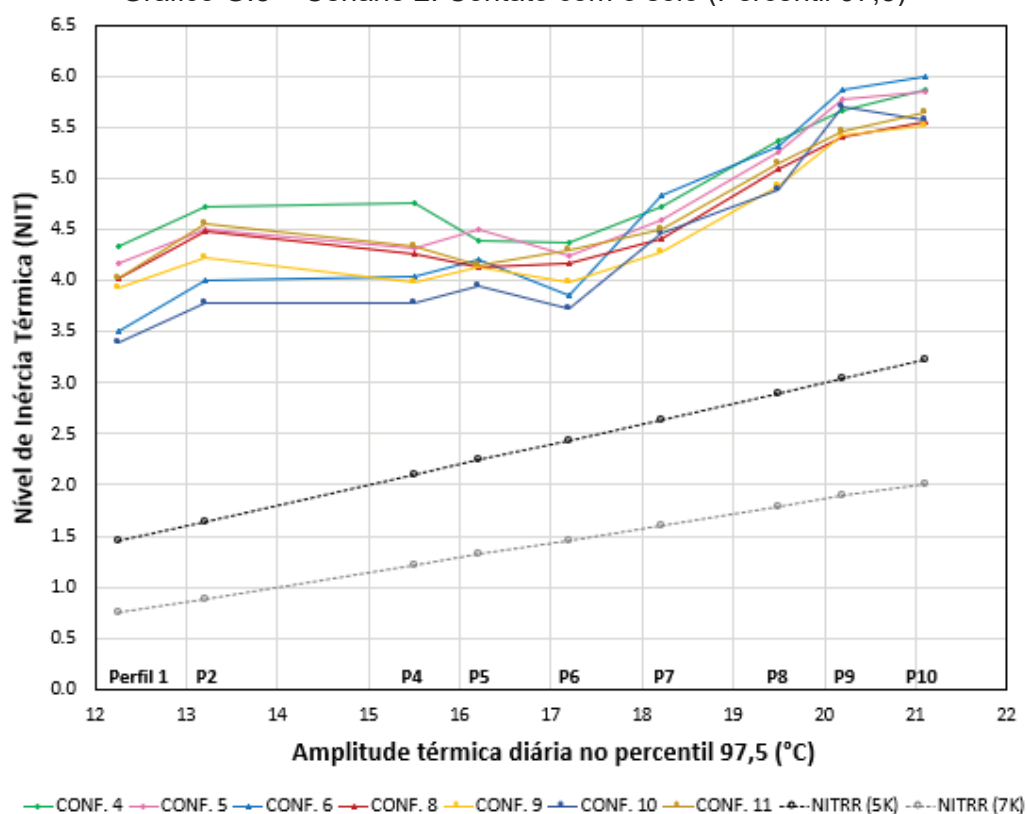
Fonte: A autora (2020)

Gráfico G.7 – Cenário 2: Contato com o solo (Percentil 95)



Fonte: A autora (2020)

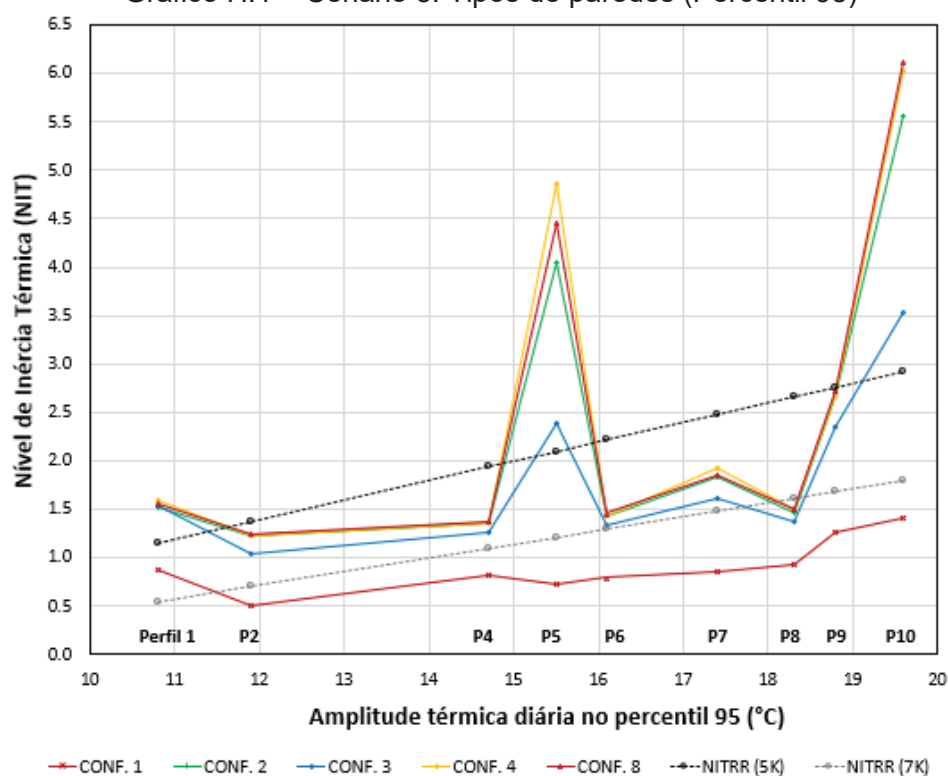
Gráfico G.8 – Cenário 2: Contato com o solo (Percentil 97,5)



Fonte: A autora (2020)

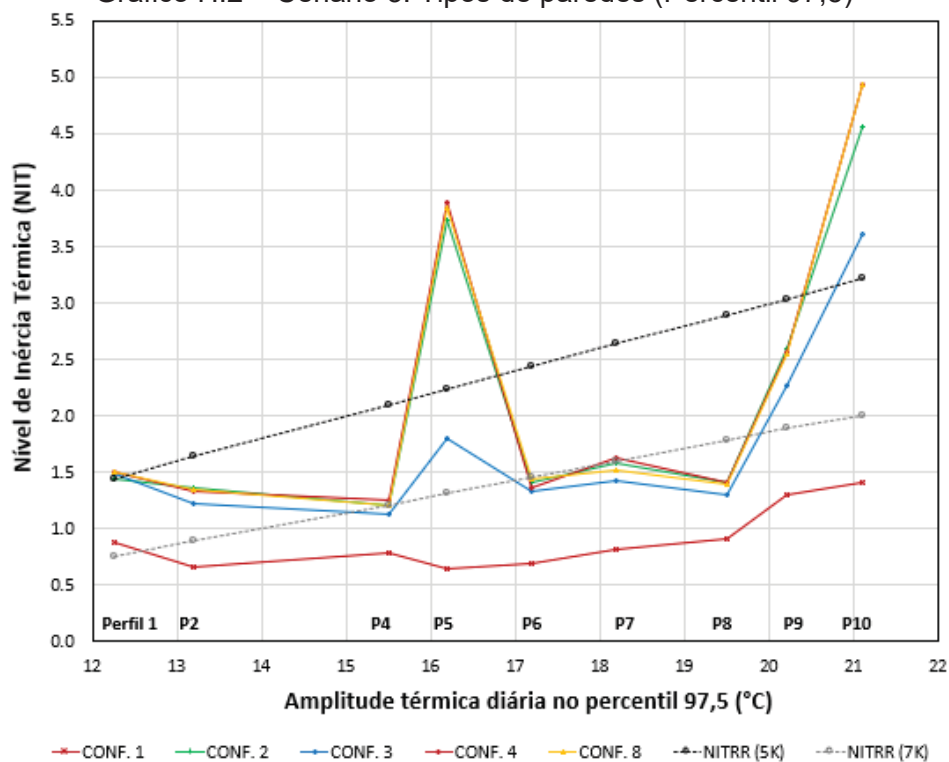
APÊNDICE H

Gráfico H.1 – Cenário 3: Tipos de paredes (Percentil 95)



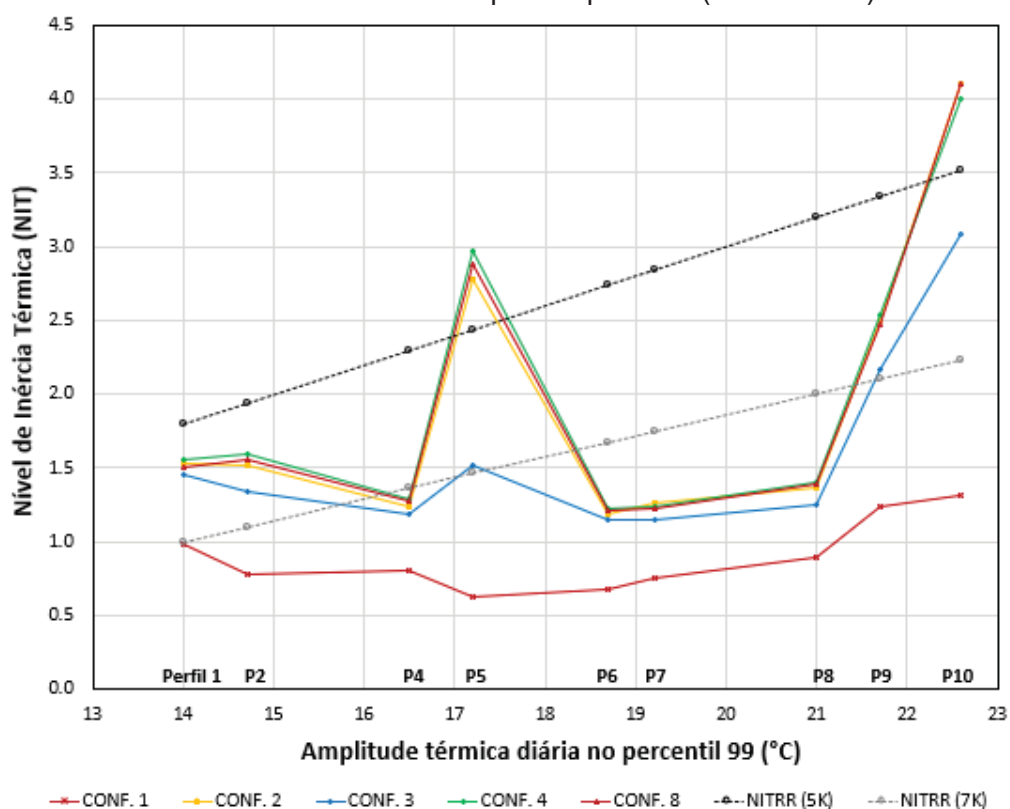
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.2 – Cenário 3: Tipos de paredes (Percentil 97,5)



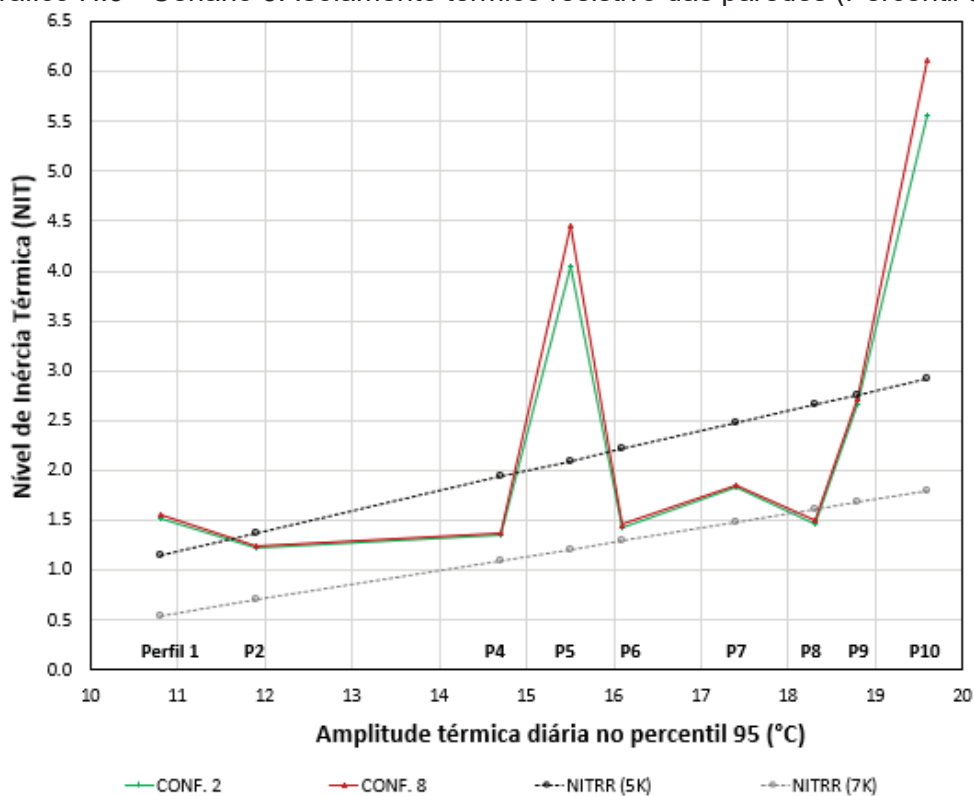
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.3 – Cenário 3: Tipos de paredes (Percentil 99)



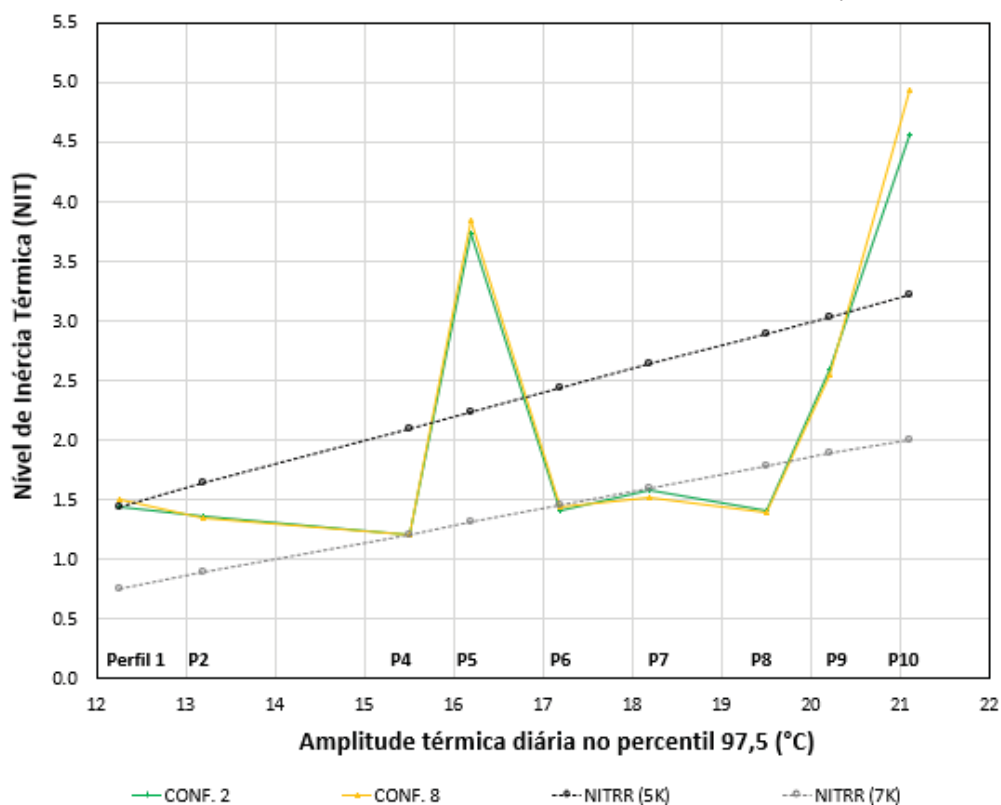
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.9 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 95)



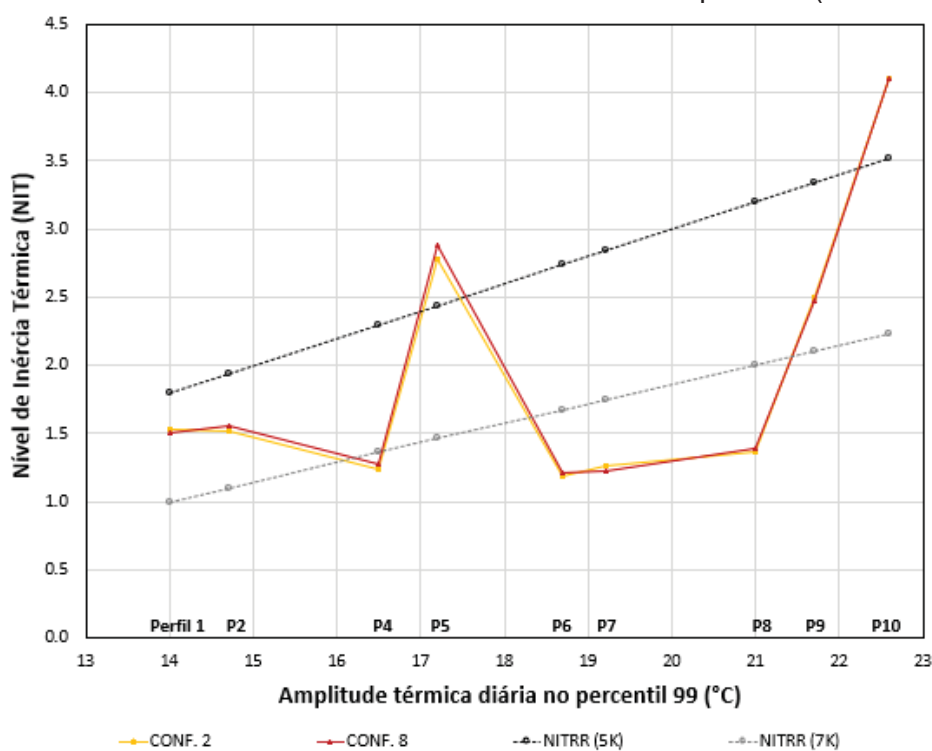
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.5 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 97,5)



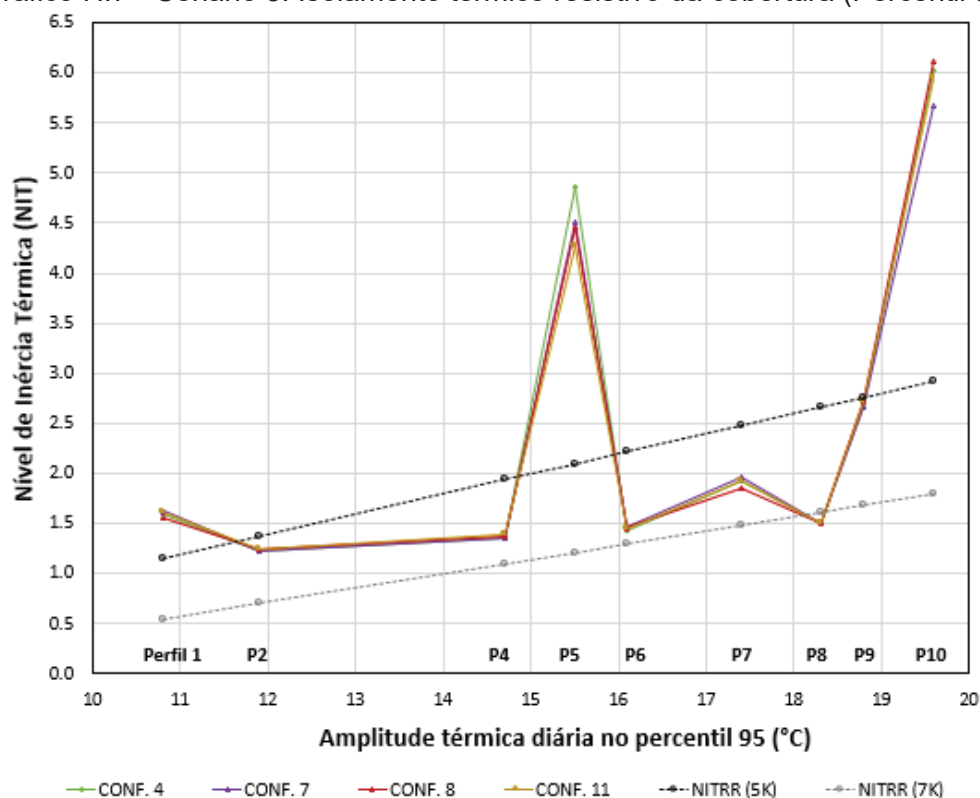
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.6 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo das paredes (Percentil 99)



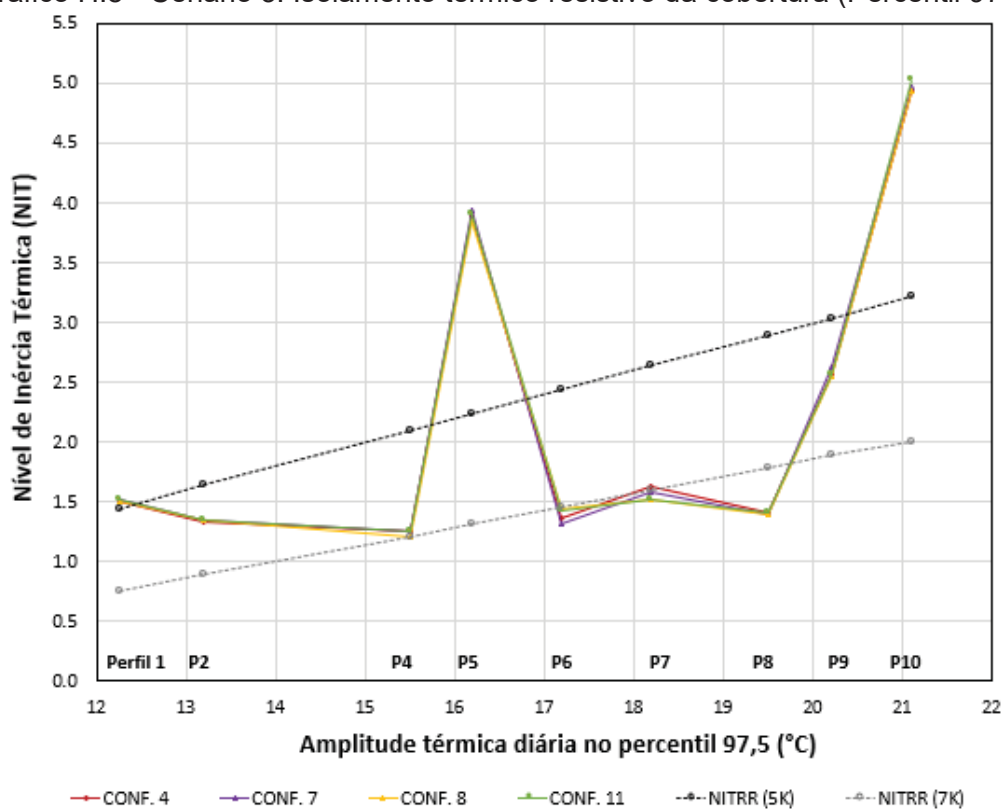
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.7 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 95)



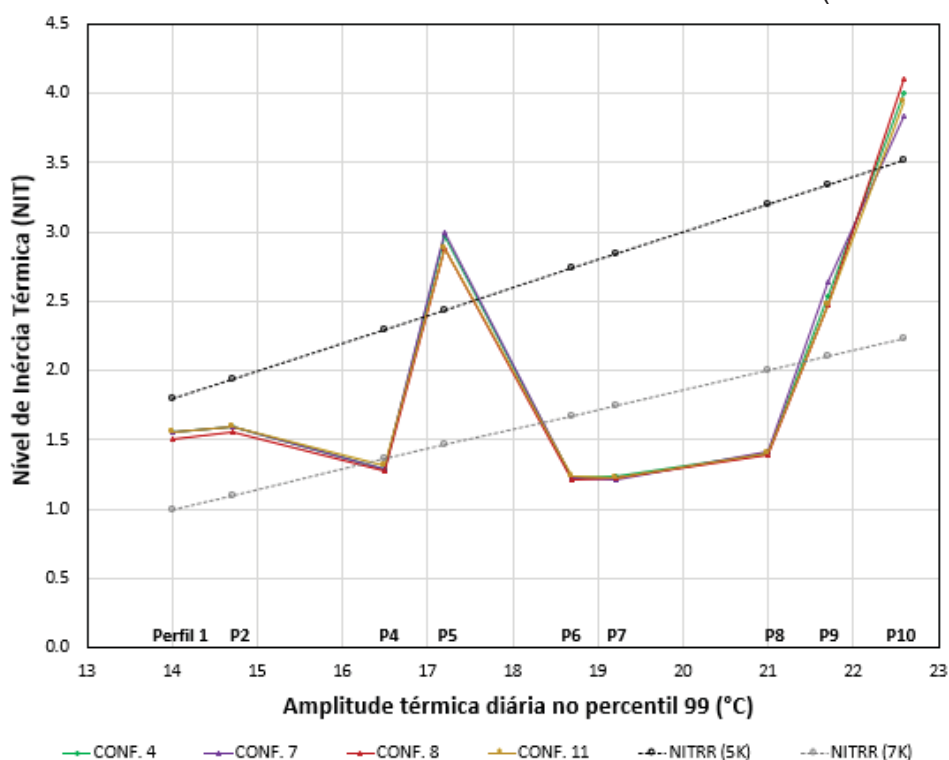
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.8 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 97,5)



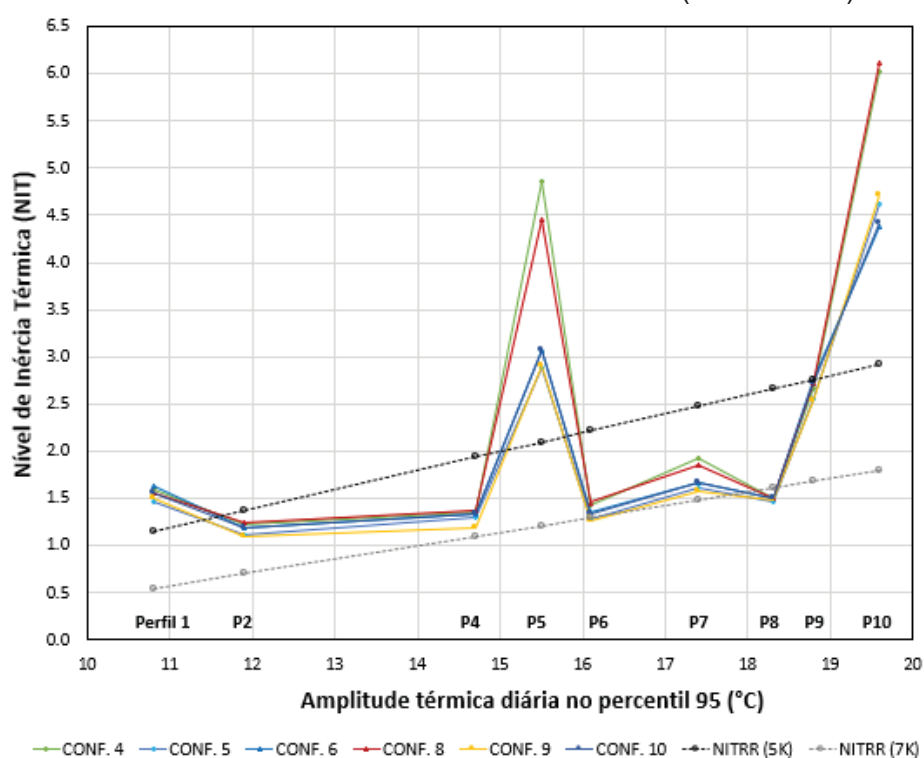
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.9 - Cenário 3: Isolamento térmico resistivo da cobertura (Percentil 95)



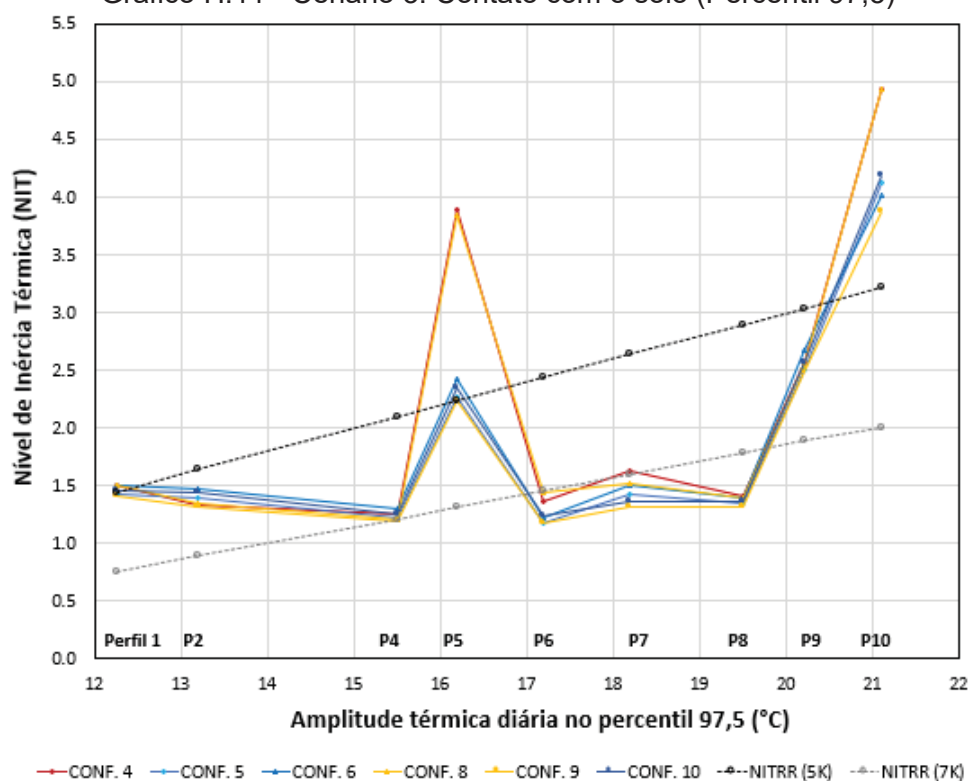
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.10 - Cenário 3: Contato com o solo (Percentil 95)



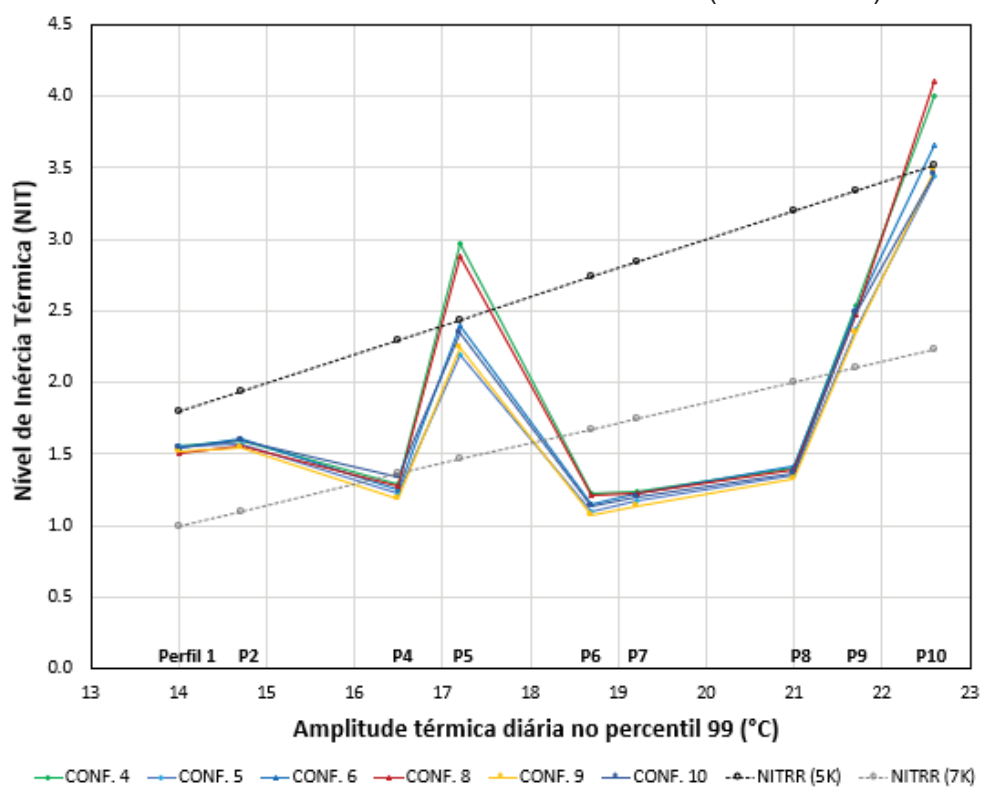
Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.11 - Cenário 3: Contato com o solo (Percentil 97,5)



Fonte: A autora (2020)

Gráfico H.12 - Cenário 3: Contato com o solo (Percentil 99)



Fonte: A autora (2020)