

Avaliação de desempenho térmico de habitações segundo a Norma ABNT NBR 15575: proposta para aprimoramento do método detalhado

Improving the detailed method for thermal assessment of Brazilian dwellings

Adriana Camargo de Brito^a, Elisa Morande Salles^a, Fúlvio Vittorino^b, Marcelo de Mello Aquilino^a, Maria Akutsu^a

^a Laboratório de Conforto Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Diretoria do Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: adrianab@ipt.br

Palavras-chave:
habitação; desempenho térmico, método detalhado.

Keywords:
dwelling; thermal performance, detailed method.

Resumo

Neste artigo, são apresentadas sugestões para aprimorar o método detalhado de avaliação do desempenho térmico de habitações constantes na Norma ABNT NBR 15575. Essa é a norma mais utilizada atualmente como referência para avaliar sistemas construtivos no âmbito do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT.

Abstract

This article presents some suggestions for improvement to the detailed method for evaluating the thermal performance of dwellings treated in the ABNT NBR 15575 Standard which is the most important reference used to assess construction systems in the National System of Technical Evaluations - SINAT.

1 Introdução

Este trabalho é o terceiro de uma série de três artigos sobre métodos de avaliação do desempenho térmico de habitações presentes na Norma ABNT NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) publicados na presente revista. São apresentadas propostas para aprimorar o método detalhado de avaliação de desempenho térmico de habitações, principalmente, por simulações computacionais.

1.2 Método detalhado de avaliação do desempenho térmico de habitações

O método detalhado de avaliação do desempenho térmico de habitações, seja por simulações ou medições, considera a edificação como um todo, ou seja, o projeto, aberturas e outros detalhes do edifício, além do seu sistema construtivo (paredes, cobertura, piso). Nesse método, há vários fatores que precisam ser revistos, com o intuito de tornar a referida norma mais completa e propor complementos a serem utilizados, especificamente, no âmbito do SINAT. Como evidenciado no primeiro artigo desta série, é necessário rever ou completar dados climáticos, como a temperatura do solo sob edificações térreas e dados climáticos de cidades nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5, ambos não disponíveis na norma. Também há inconsistências no zoneamento climático utilizado como referência do método, que consta na norma NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), além da ausência de informações sobre em quais situações devem ser efetuadas avaliações por medição ou simulação e o detalhamento dos procedimentos para avaliações.

Na segunda seção deste artigo, são descritas as atividades que fundamentaram a proposta de aprimoramento do referido método para solução dos problemas encontrados na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Na terceira seção, é apresentada a proposta de procedimentos para a realização de avaliações pelo método detalhado.

2 Etapas de trabalho

2.1 Temperatura do solo

Vários autores indicam a possibilidade de se fazer correlações entre os valores da temperatura do ar e os valores da temperatura do solo (COSTA; GODOY, 1962; GOEDERT, 1971; KUSUDA; ACHENBACH, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GAVAMI, 2003; VILELA, 2004; UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2015; FLORIDES; KALOGIROU, 2004). Isso possibilita estimar o valor da temperatura do solo a partir da temperatura do ar, geralmente fornecida por estações meteorológicas.

Com base nisso, foram efetuadas análises dos dados disponíveis em literatura referentes tanto à temperatura do ar (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2015; UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2015; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) quanto à temperatura do solo em cidades brasileiras (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2015), além da análise de trabalhos de pesquisadores brasileiros que apresentam procedimentos para estimar a temperatura do solo com base na temperatura média do ar (ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVAMI, 2003).

Como vários autores destacam que a temperatura superficial do solo, ou em profundidades menores que 40 cm, é afetada de modo mais significativo pelas condições térmicas externas (COSTA, 1962; GOEDERT, 1971; KUSUDA, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVAMI, 2003; VILELA, 2004), considerou-se que seria adequado usar valores de temperatura do solo em maior profundidade, por sofrer menor influência do ambiente externo. Para permitir análises comparativas entre dados das várias fontes ou procedimentos de cálculo da temperatura do solo, selecionaram-se aqueles com dados para profundidades da mesma ordem de grandeza, entre 40 cm e 50 cm.

2.1.1 Método

Para propor valores da temperatura do solo para dias típicos de verão e inverno, selecionaram-se os maiores e os menores valores da temperatura média mensal do ar obtida das normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (2015) e dos arquivos climáticos anuais do United States Department of Energy (2015). Esses valores foram utilizados nas equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) e Azevedo e Galvami (2003) para obtenção da temperatura do solo em profundidade de 40 cm. Dentre os valores das temperaturas médias mensais do solo no ano, apresentados por United States Department of Energy (2015), foram selecionados valores para profundidade de 50 cm.

Nas **Figuras 1 e 2**, são apresentados, respectivamente, valores da temperatura do solo para períodos de verão e de inverno, obtidos para profundidade de 40 cm, com as equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) e de Azevedo e Galvami (2003), utilizando dados de temperatura do ar de Instituto Nacional de Meteorologia (2015)^a e United States Department of Energy (2015)^b. Também são indicados os valores da maior temperatura média mensal do solo em profundidade de 50 cm, obtida de United States Department of Energy (2015), além de valores das maiores temperaturas médias mensais do ar, obtidas de Instituto Nacional de Meteorologia (2015) e de United States Department of Energy (2015).

Os valores de temperatura do solo obtidos com base nas equações dos pesquisadores brasileiros

^a Para simplificação, os dados obtidos segundo Instituto Nacional de Meteorologia (2015) serão referenciados como INMET.

^b Para simplificação, os dados obtidos segundo *United States Department of Energy* (2015) serão referenciados com USDOE.

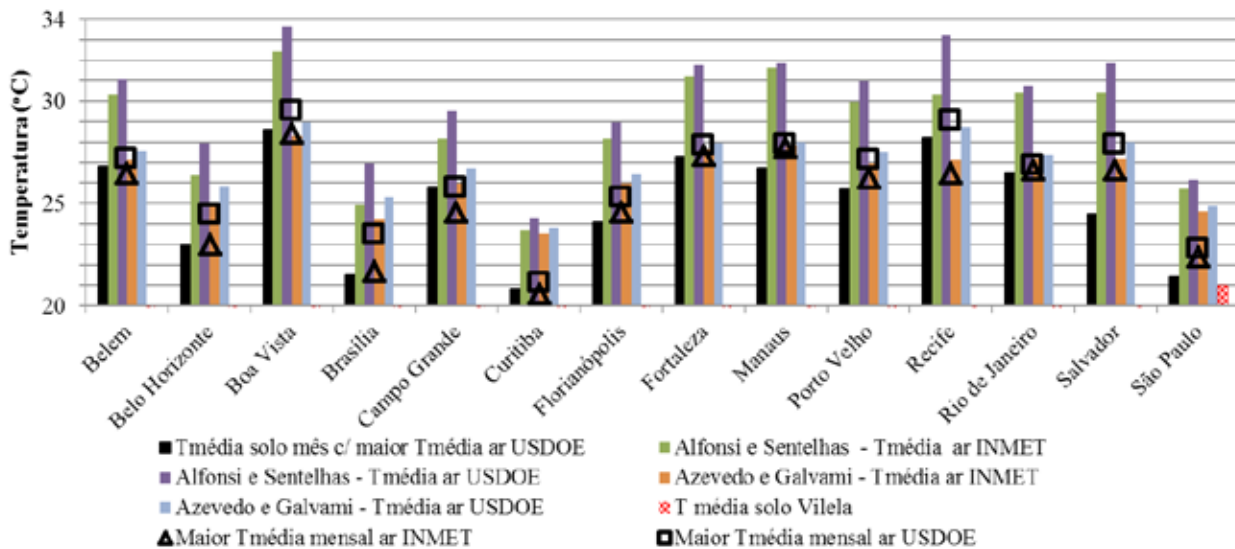


Figura 1 – Valores de temperatura do solo e do ar para o período de verão.
 Fonte: Elaborado pelos autores.

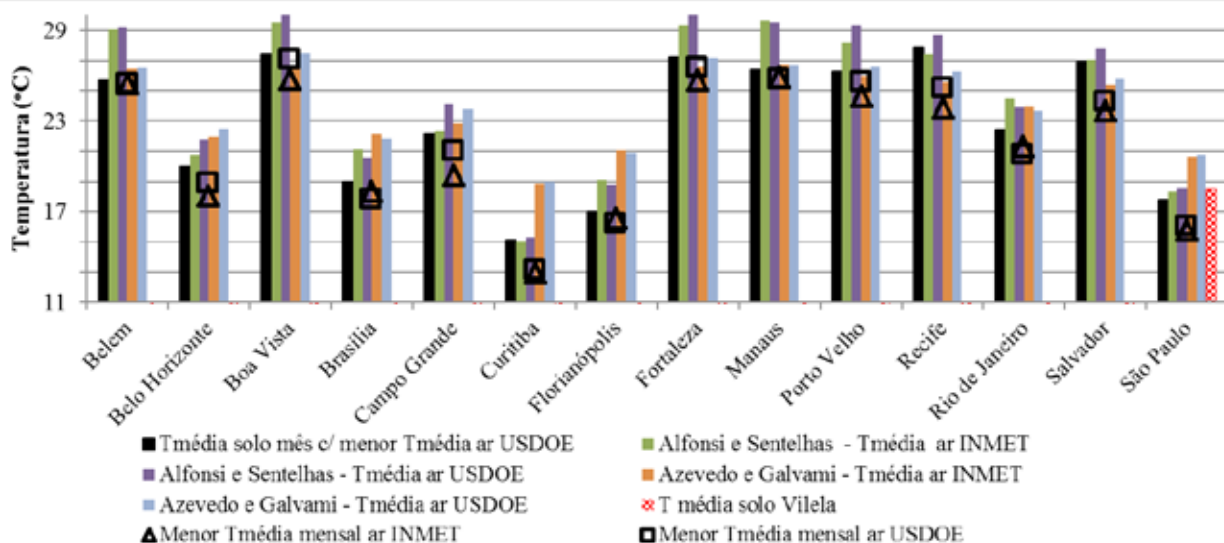


Figura 2 – Valores de temperatura do solo e do ar para o período de inverno.
 Fonte: Elaborado pelos autores.

(ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GAVAMI, 2003) não forneceram informações adequadas para a realização de simulações, em virtude de apresentarem valores extremos ou não apresentarem uma tendência perceptível de comportamento.

Por outro lado, há uma relação entre os valores da temperatura média do solo obtida de *United*

States Department of Energy (2015) e a temperatura média do ar, obtida tanto de United States Department of Energy (2015), quanto de Instituto Nacional de Meteorologia (2015). Porém, em algumas situações há uma variação significativa, de até 2 °C entre os valores dessas fontes. Esse fator aponta a possibilidade de se utilizar a temperatura média do ar para compor a temperatura do solo em profundidade de 50 cm quando não se dispõe de dados de temperatura do solo. Todavia, é fundamental efetuar análises para identificar o efeito que uma variação desta magnitude na temperatura do solo (2 °C) pode ter no desempenho térmico de uma edificação térrea. Também é importante verificar qual seria a forma mais adequada de inserir os dados de temperatura do solo no programa de simulação. Para tanto, foram efetuadas as atividades descritas nos itens 2.1.2 e 2.1.3.

2.1.2 Efeito da temperatura do solo e sua profundidade no desempenho térmico de habitação

Foram feitas simulações computacionais de uma habitação térrea em São Paulo (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO, 1997), conforme procedimentos da NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) com o programa EnergyPlus. A habitação foi exposta às condições climáticas de dias típicos de verão e de inverno (**Tabela 1**), com temperaturas do solo de 21 °C a 34 °C no verão e, de 4 °C a 18 °C no inverno, com intervalos de 2 °C (valores com duas unidades a mais que a temperatura máxima diária e duas a menos que a temperatura mínima diária, nos dias típicos de projeto). A edificação foi simulada com esses valores de temperatura superficial do solo em profundidades de 50 cm e 100 cm da superfície do solo.

Consideraram-se dois tipos de paredes: indicadas como "pesadas", com 15 cm de concreto comum e, "leves", com 1 cm de chapa cimentícia na face externa e gesso acartonado na face interna, ambas as habitações com telhado em telhas cerâmicas e forro de gesso acartonado.

2.1.3 Adequação dos dados de temperatura do solo obtidos de USDOE e da adoção de valores de Tabela 1 – Dados climáticos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dia	Temperatura máxima do ar exterior (°C)	Amplitude diária do ar exterior (°C)	Temperatura bulbo úmido (°C)	Radiação solar global - horizontal (W/m ²)	Temperatura do solo (°C)	Profundidade do solo (cm)
Verão	31,9	9,2	21,3	5180	21 a 34	50 e 100
Inverno	16,2	10	13,4	4420	4 a 18	

temperatura média mensal do ar do INMET como temperatura do solo

Foi verificado se os valores da temperatura máxima e mínima média mensal do solo, obtidos de United States Department of Energy (2015) e do Instituto Nacional de Meteorologia (2015) (neste caso utilizando a temperatura média mensal do ar para compor a média mensal do solo), são adequados para efetuar simulações computacionais da resposta térmica de habitações compondo dados de dias típicos de verão e de inverno, respectivamente. Para isso, reproduziu-se, por simulações computacionais com o programa EnergyPlus, a resposta térmica de um protótipo construído no IPT, para o qual há dados medidos (temperaturas do ar externo, interno, superficiais de pisos, paredes e forro). O protótipo tem dimensões 3,3 m x 4,3 m, feito com paredes de tijolos de barro revestidos com argamassa em ambas as faces, cobertura com forro de madeira e telhado em telhas cerâmicas. Há uma janela com 1,44 m² de área de vidro simples e transparente, orientada à direção sudeste e uma porta de madeira com área de 1,68 m².

O protótipo foi simulado inserindo-se valores da temperatura do solo na superfície em contato com o piso e em profundidade de 50 cm, com dados United States Department of Energy (2015) e Instituto Nacional de Meteorologia (2015). Foram utilizados valores médios mensais da temperatura do ar e do solo, das referidas fontes, em cada mês em que foram realizadas as medições no protótipo (julho e abril), como indicado na **Tabela 2**.

2.2 Resultados

Tabela 2 – Dados climáticos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dia	Temperatura máxima do ar exterior (°C)	Temperatura mínima do ar exterior (°C)	Temperatura média do ar exterior (°C)	Radiação solar global - horizontal (W/m ²)	Temperatura do solo ^c (°C)
23/abril ^a	29,0	17,1	21,8	3350 ^b	22,4 (média do solo, abril, USDOE (2015))
					19,7 (média do ar, abril, INMET (2015))
19/julho ^a	23,0	8,1	16,2	2630 ^b	17,8 (Média do solo, julho, USDOE (2015))
					15,8 (Média do ar, julho, INMET (2015))

^a Dados obtidos por medições.

^b Dados obtidos com uso do programa EnergyPlus, com modelo de céu da ASHRAE e nebulosidade de 50 %.

^c Temperatura na superfície externa e em profundidade de 50 cm. Solo com as seguintes características: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m³ e calor específico de 840 J/(kg.K).

2.2.1 Efeito da temperatura do solo e sua profundidade nos resultados das simulações

Os resultados obtidos são apresentados nas **Figuras 3 e 4**, respectivamente, para o verão e para o inverno. Observa-se que nas situações em que se atribui a temperatura do solo à sua superfície, a resposta térmica da edificação é afetada de modo mais significativo em comparação com situações com profundidade de 50 cm e 100 cm, principalmente aquela com sistema construtivo leve.

2.2.2. Adequação dos dados de temperatura do solo obtidos de USDOE e do INMET

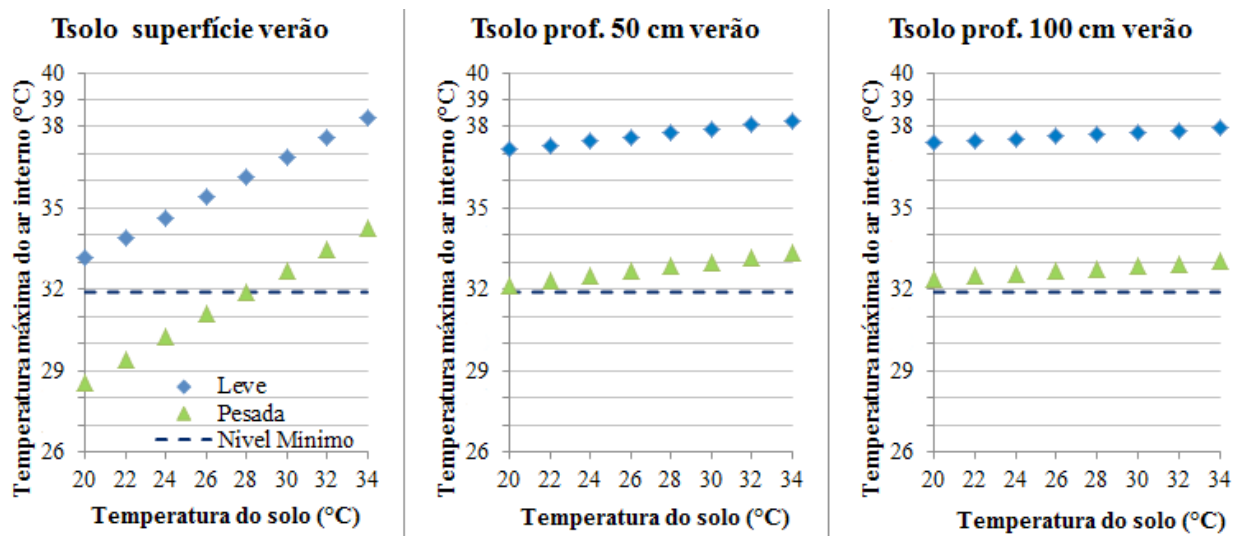


Figura 3 – Temperatura máxima do ar interior de habitação em dia típico de verão com três sistemas construtivos em função da temperatura do solo em três profundidades.

Fonte: Elaborado pelos autores.

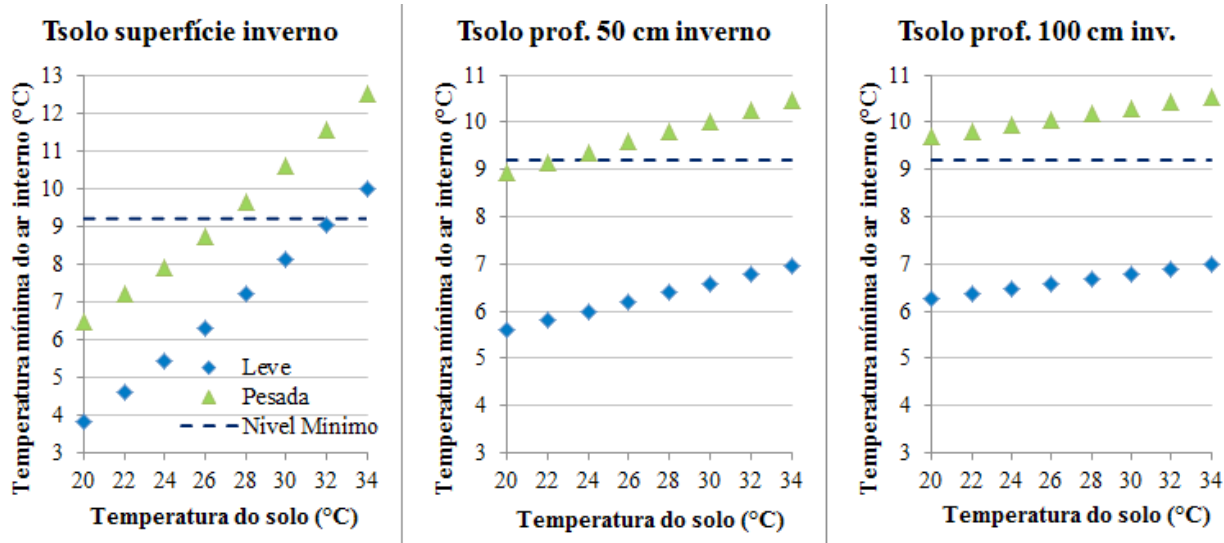


Figura 4 – Temperatura mínima do ar interior de habitação em dia típico de inverno com três sistemas construtivos em função da temperatura do solo em três profundidades.
 Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente, para períodos de abril e de julho. São indicados os valores das temperaturas do ar externo e do ar interno, obtida nas simulações, considerando as várias informações de temperaturas do solo e profundidade, além de dados de temperatura do ar externo, interno e superficiais do piso, obtidas nas medições.

Em abril, as temperaturas máximas do ar interior obtidas por simulações diferem dos valores medidos

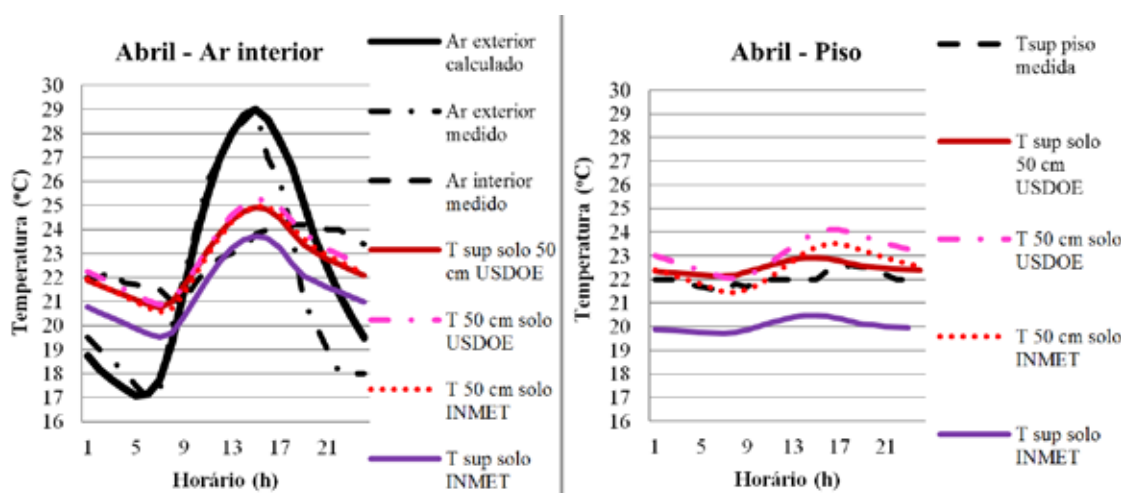


Figura 5 – Temperatura do ar (à esquerda) e do piso (à direita) em abril
 Fonte: Elaborado pelos autores.

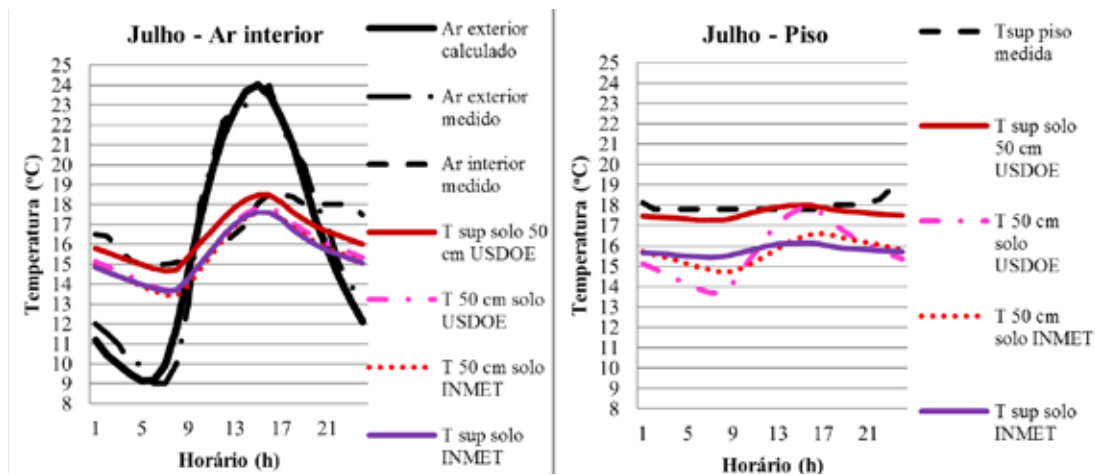


Figura 6 – Temperatura do ar (à esquerda) e do piso (à direita) em julho
 Fonte: Elaborado pelos autores.

de 0,6 °C a 1,2 °C. A temperatura superficial máxima do piso interno, nas simulações, difere dos valores medidos com variação de 0,5 °C a 1,3 °C. A maior diferença entre dados medidos e simulados é obtida com a temperatura superficial do solo de INMET.

Em julho, as temperaturas máxima e mínima do ar interior, estão mais próximas dos valores medidos, com a temperatura superficial do solo de USDOE. Nos demais casos, há uma diferença da ordem de 0,6 °C entre valores medidos e calculados da temperatura máxima do ar interior e, da ordem de 1,5 °C abaixo do valor mínimo medido. A temperatura superficial do piso interno difere dos dados medidos em até 2 °C, sendo os valores mais próximos dos medidos aqueles obtidos com a temperatura do solo de USDOE na superfície.

2.2.3 Conclusões

Quanto ao efeito da temperatura do solo e sua profundidade, observou-se que uma variação de 2 °C na temperatura do solo tem impacto pouco significativo na resposta térmica da edificação quando simulada em profundidade de 50 cm ou mais. Como os dados de temperatura média mensal obtidos do INMET apresentam uma diferença de até 2 °C dos dados de temperatura do solo obtidos do USDOE, na ausência de informações, pode-se adotar valores da temperatura média mensal do ar para compor valores da temperatura do solo nessa profundidade, sem comprometer o resultado da avaliação. Quanto aos valores da temperatura do solo, como em maior profundidade, a temperatura do solo é pouco afetada pelas condições térmicas externas, simular a temperatura do solo em profundidade de 50 cm pode ser uma opção mais adequada.

2.2.4 Valores sugeridos da temperatura do solo

Na **Tabela 3**, são apresentados valores de temperatura do solo obtidos de United States Department of Energy (2015), sendo a maior temperatura média mensal do solo para período de verão e a menor, para o inverno, em profundidade de 50 cm, adotando-se a data com tais valores nas simulações.

Para outros tipos de simulações, é possível utilizar valores da temperatura média mensal do ar obtidas do INMET, para compor valores da temperatura do solo em profundidade de 50 cm como indicado no item 2.1.1, para escolher meses representativos de verão e de inverno.

2.3 Dias típicos de projeto das Zonas Bioclimáticas 2 e 5

Tabela 3 – Dados sugeridos para a temperatura do solo de cidades brasileiras para simulações computacionais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cidade	Dia típico de verão		Dia típico de inverno	
	Dia do ano	Temperatura média mensal do solo profundidade 50 cm ^a	Dia do ano	Temperatura média mensal do solo profundidade 50 cm ^a
Belém	15.02	25,7	-	-
Belo Horizonte	15.02	23,0	15.07	20,0
Boa Vista	15.09	28,6	-	-
Brasília	15.09	21,5	15.07	19,0
Campo Grande	15.01	25,8	-	-
Curitiba	15.02	20,8	15.06	15,1
Florianópolis	15.02	24,1	15.02	17,0
Fortaleza	15.01	27,3	-	-
Manaus	15.09	26,7	-	-
Porto Velho	15.10	25,7	-	-
Recife	15.03	28,2	-	-
Rio de Janeiro	15.02	26,5	-	-
Salvador	15.02	24,5	-	-
São Paulo	15.02	21,4	15.02	17,8

Nota: a Temperatura do solo em profundidade de 50 cm. Características do solo: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m³ e calor específico de 840 J/(kg.K).

2.3.1 Método

Com base em dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (2015) no período de 1981 a 2011, para as cidades de São Lourenço – MG e Vitória da Conquista – BA, respectivamente, Zonas Bioclimáticas 2 e 5, e valores de radiação solar incidente no plano horizontal obtidos de Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (2015), foram determinados dias típicos de projeto de verão e de inverno para as duas cidades.

Isso foi feito conforme o método apresentado por Akutsu e Vittorino (1991), que consiste em identificar os meses de verão e de inverno, com base nas médias das temperaturas máximas diárias e as médias das temperaturas mínimas diárias, e a determinação dos dias típicos com frequência de ocorrência de 10 %. Os valores de temperatura do solo para Vitória da Conquista foram obtidos de United States Department of Energy (2017) e, para São Lourenço, foram adotados valores da média mensal do ar.

2.3.2 Resultados e Proposta

Na **Tabela 4**, são apresentados os dias típicos de projeto de verão e de inverno determinados para as Zonas Bioclimáticas 2 e 5.

Tabela 4 – Dados de dias típicos de verão para cidades nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Zona Bioclimática	Cidade	Dia Típico	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária da temperatura do ar (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar global – plano horizontal (Wh/m ²)	Temperatura média mensal do solo em prof. de 50 cm	Dia do ano
2	São Lourenço – MG	Verão	31,8	11,7	21,6	5307	23,4	15.02
		Inverno	19,2	16,6	14,0	3595	16,2	15.07
5	Vitória da Conquista – BA	Verão	31,7	10,3	21,0	5030	21,9	15.02
		Inverno	20,4	9,7	15,1	4110	20,5	15.07

2.4 Dados climáticos de cidades para avaliações no SINAT

2.4.1 Método

Foram analisados dados climáticos de cidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) que constam na mesma Zona Bioclimática (considerando somente zonas com dados de mais de uma cidade), além da realização de simulações computacionais de um apartamento (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO, 1997) exposto às condições climáticas dessas cidades. O apartamento foi simulado com o programa EnergyPlus, conforme procedimentos da Norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), sendo localizado no último pavimento de edificação, composto por paredes e lajes de 10 cm de concreto e telhado em telhas cerâmicas. São apresentados os resultados para a sala, que foram os mais críticos.

2.4.2 Resultados

Nas Figuras 7 e 8, são apresentados os intervalos de variação dos valores da temperatura do ar externo e os valores da radiação solar global nos dias típicos de verão, respectivamente, para cidades da Zona Bioclimática 8 e para as Zonas 3, 6 e 7, além dos dias típicos de inverno para cidades da Zona 3.

Nas Figuras 9 e 10, são apresentados os resultados das simulações computacionais para a sala, respectivamente para a Zona 8 e demais zonas, incluindo os valores limites para atendimento do nível "Mínimo" de desempenho térmico em cada período (verão e inverno).

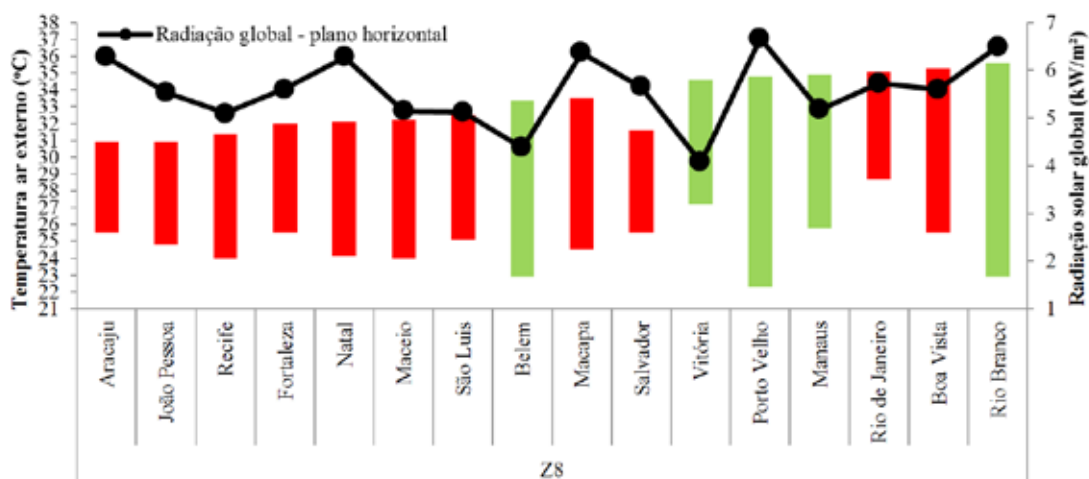


Figura 7 – Temperatura do ar externo e radiação solar global incidente no plano horizontal para cidades da Zona Bioclimática 8 constantes da norma.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Nota: Radiação solar global obtida de CRESESP-CEPEL para as cidades de Macapá e Boa Vista, pois não constam na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

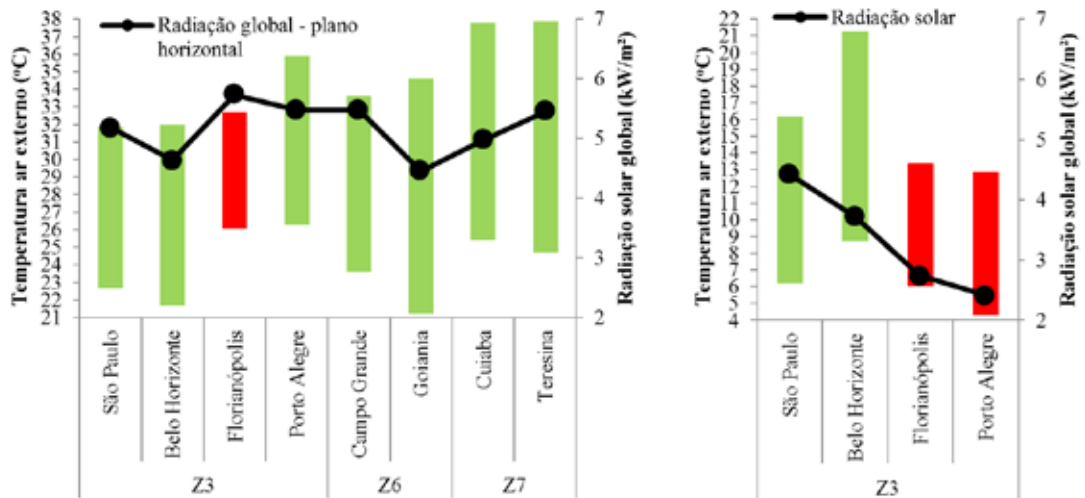


Figura 8 – Temperatura do ar externo e radiação solar global em cidades das Zonas 3, 6 e 7 constantes da norma NBR 15575 – dia típico de verão (à esquerda) e dia típico de inverno (à direita).
 Fonte: Elaborado pelos autores com dados da norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Nota: Radiação solar global obtida de CRESESP-CEPEL para a cidade de Florianópolis, pois não consta na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

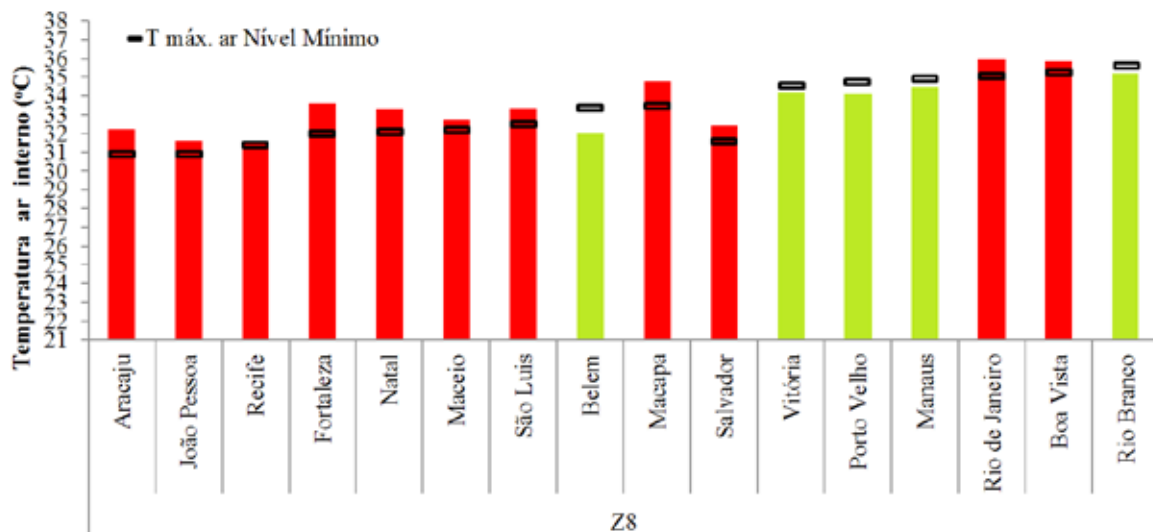


Figura 9 – Temperatura máxima do ar interno obtidos na sala em apartamentos da Zona Bioclimática 8 e valor máximo da temperatura do ar para atender nível "Mínimo".
 Fonte: Elaborado pelos autores.

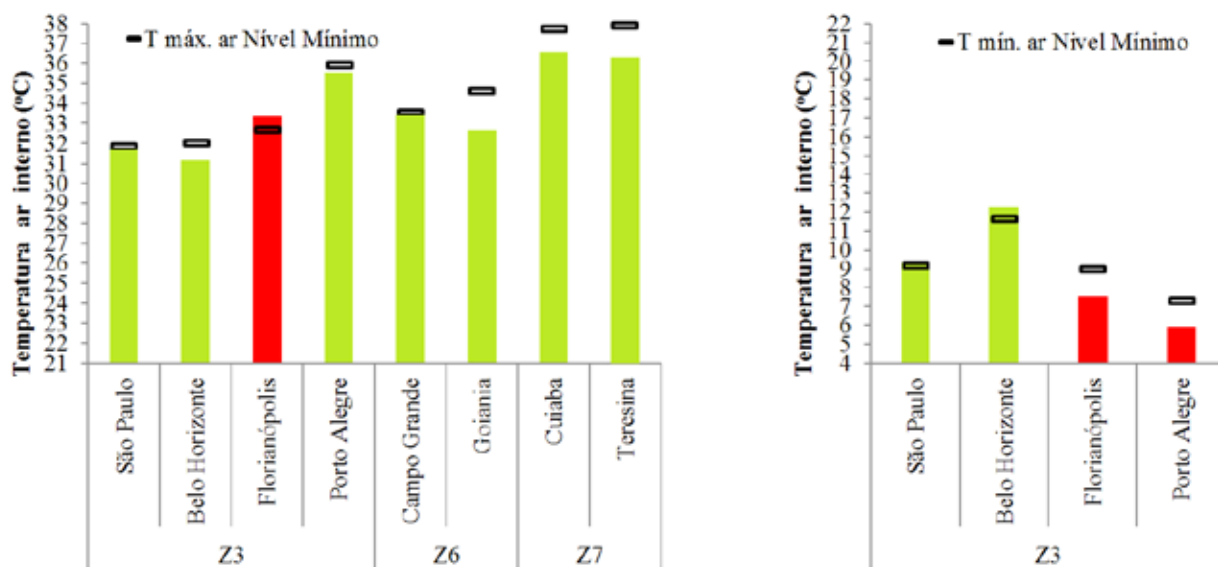


Figura 10 – Temperatura máxima do ar interno obtidos na sala em apartamentos das Zonas Bioclimáticas 3, 6 e 7 (à esquerda) e Temperatura mínima do ar nos ambientes no inverno (à direita).
Fonte: Elaborado pelos autores.

A habitação atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em dias típicos de verão nas cidades de Belém, Vitória, Porto Velho, Manaus e Rio Branco (destacadas em verde na **Figura 9**), que possuem duas características marcantes: amplitude diária acima de 7 °C (Belém, Porto Velho e Rio Branco) ou radiação solar global menor que 5 kW/m² (Vitória). Nas demais cidades, nas quais o dia típico de projeto é caracterizado por amplitude diária menor que 7 °C e radiação maior que 5 kW/m², a habitação não atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico. Isso mostra que há, pelo menos, dois grupos de cidades com características climáticas diferentes do ponto de vista do desempenho térmico de uma edificação, mas que constam na mesma Zona Bioclimática 8. É evidente que seria necessário analisar as condições climáticas de mais cidades para possibilitar a delimitação de novas zonas. Entretanto, essas informações permitem ao menos estabelecer referências para se avaliar o desempenho térmico na Zona Bioclimática 8 com maior confiabilidade nos resultados, reduzindo a possibilidade de se aprovar um sistema construtivo que atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em toda a Zona Bioclimática 8, quando na realidade, isso não é válido para todas as cidades que fazem parte dela.

Problemas semelhantes ocorrem nas cidades da Zona Bioclimática 3, em que a habitação avaliada não atende o nível "Mínimo" de desempenho térmico em Florianópolis (no verão e inverno) e em Porto Alegre (no inverno), destacadas em vermelho na **Figura 10**. Isso indica que nessa zona há cidades com três climas diferentes. São Paulo e Belo Horizonte têm dias típicos de verão semelhantes (amplitude diária da temperatura do ar e radiação solar da mesma ordem de grandeza), embora, em São Paulo, o inverno seja mais rigoroso. Florianópolis tem um dia típico de verão com menor amplitude diária que as outras cidades (7,4 °C), o que já caracteriza um clima diferente dessas, com inverno rigoroso.

Porto Alegre apresenta grande amplitude diária e temperaturas do ar significativamente maiores no verão e menores no inverno. Os dias típicos das cidades das Zonas Bioclimáticas 6 e 7 apresentam as mesmas características, embora não seja possível garantir que outras cidades nessas zonas tem clima semelhante a elas.

2.4.3 Sugestões

Para reduzir a possibilidade de aprovar um sistema construtivo que não tenha características adequadas ao clima do local, para a Zona Bioclimática 8, podem ser escolhidas duas cidades para avaliações no âmbito do SINAT: uma com amplitude diária acima de 7 °C ou radiação solar global menor que 5 kW/m² (Belém, Vitória, Porto Velho, Manaus, Rio Branco) e outra com amplitude diária menor que 7 °C e radiação maior que 5 kW/m² (Aracaju, João Pessoa, Recife, Fortaleza, Natal, Maceió, São Luis, Macapá, Salvador, Rio de Janeiro, Boa Vista). A aprovação do sistema construtivo nas duas cidades indica maior probabilidade de atendimento do nível "Mínimo" nas demais cidades da Zona Bioclimática 8. Quanto à Zona Bioclimática 3, de modo análogo, poderiam ser adotadas duas cidades: com amplitude diária maior que 7 °C (São Paulo, Belo Horizonte e Porto Alegre) e menor ou igual a 7 °C (Florianópolis).

2.5 Outras variáveis de simulação

Foram efetuadas discussões com a Instituição de Avaliação Técnica Falcão Bauer e com a Caixa Econômica Federal visando à padronização de dados climáticos para a realização de simulações no âmbito do SINAT. Com a Caixa, especificamente, foram desenvolvidos projetos de referência para as simulações, com base nas dimensões típicas das habitações financiadas por esse órgão, bem como exigências de tamanhos de aberturas, além da padronização de aspectos inerentes ao sistema construtivo, como cores das superfícies externas de telhados e conteúdo mínimo de um relatório de avaliação de desempenho térmico.

3 Proposta de procedimentos para avaliar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo

Na avaliação do desempenho térmico de edificações não climatizadas pelo método detalhado, conforme a norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), inicialmente deve-se selecionar a opção mais adequada ao objetivo da avaliação, como indicado nos itens a seguir:

- a. Identificar o desempenho térmico de uma edificação específica a ser construída em determinado terreno; e
- b. Identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo.

Para avaliar uma edificação específica, como descrito no objetivo (a), podem ser abordadas todas as circunstâncias particulares da edificação, tais como: exposição ao microclima do local, forma e parâmetros físicos e térmicos da envoltória, sua implantação, orientação solar das fachadas, condições de ventilação dos ambientes, dentre outras. A edificação pode ser analisada por simulações computacionais ou medições.

Nas simulações, pode ser utilizado tanto o modelo simplificado de ventilação natural ou modelos complexos que indiquem a eficiência da ventilação em função dos fatores geométricos da edificação, quanto à posição de aberturas e disposição de paredes. Nas medições, é necessário ter maiores cuidados para verificar qual é o rigor da avaliação, comparando as características do dia medido com os dias típicos de projeto (temperatura do ar externo, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar global incidente no plano horizontal), além de analisar dados do terceiro dia de uma sequência de três dias. Os resultados da avaliação são aplicáveis exclusivamente à edificação avaliada, no local considerado, não podendo ser generalizados.

Para identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo, deve ser utilizado o método detalhado por simulações computacionais previsto na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), além dos procedimentos complementares indicados a seguir.

3.1 Simulações

Os procedimentos padronizados de ensaio incluem: condições climáticas de cidades representativas de cada Zona Bioclimática Brasileira; orientação solar das fachadas de dormitórios e salas; cores das superfícies externas das paredes e da cobertura; condições de ocupação e de ventilação dos ambientes, além da geometria da edificação (projetos padrão de ensaio).

É necessário que seja utilizado programa de simulação computacional que apresenta a resposta térmica de edificações considerando condições transientes de trocas térmicas, levando em consideração o efeito da inércia térmica. O programa EnergyPlus é reconhecido para fazer as simulações e é de domínio público, sugerindo-se sua adoção para efetuar as simulações.

3.1.1 Condições climáticas

Devem ser consideradas as condições climáticas de dias típicos de verão e de inverno de cidades representativas das Zonas Bioclimáticas Brasileiras, de acordo com a **Tabela 5**. Deve-se adotar direção do vento perpendicular à fachada do ambiente analisado e velocidade do vento de 1 m/s, como padrão para todas as cidades representativas das Zonas Bioclimáticas.

Tabela 5 – Dados de dias típicos de verão e inverno.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (2015); Norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Período	Zona Biocl.	Cidade	UF	Dia do ano	Temperatura do solo – prof. 50 cm (°C)	Temperatura máxima Bulbo Seco (°C)	Amplitude diária da temperatura do ar (°C)	Temperatura Bulbo Úmido (TBS máximo) (°C)	Radiação solar global incidente no plano horizontal (kW/m ²)
Verão	1	Curitiba	PR	15.02	20,8	31,4	10,2	21,3	2,77
	2	São Lourenço	MG	15.02	23,4	31,8	11,7	21,6	5,30
	3	São Paulo	SP	15.02	21,4	31,9	9,2	21,3	5,18
		Florianópolis	SC	15.02	24,1	32,7	6,6	24,4	5,73 ^a
	4	Brasília	DF	15.09	21,5	31,2	12,5	20,9	4,62
	5	Vitória da Conquista	BA	15.02	21,9	31,7	10,3	21,0	5,03
	6	Cuiabá	MT	15.10	25,7	37,8	12,4	24,8	4,97
	7	Campo Grande	MG	15.01	25,8	33,6	10	23,6	5,48
Inverno	1	Manaus	AM	15.09	26,7	34,9	9,1	26,4	5,18
		Recife	PE	15.02	28,2	31,4	7,4	24,7	5,10
	1	Curitiba	PR	15.06	15,1	12,3	11,6	11	1,66
	2	São Lourenço	MG	15.07	16,2	19,2	16,6	14,0	3,59
	3	São Paulo	SP	15.07	17,8	16,2	10	13,4	4,42
		Florianópolis	SC	15.07	17,0	13,4	7,4	13,4	2,74 ^a
	4	Brasília	DF	15.07	19,0	22,2	12,2	14,8	4,25
	5	Vitória da Conquista	BA	15.07	20,5	20,4	9,7	15,1	4,11

^a Radiação solar global de Florianópolis obtida de CRESESP-CEPEL, não consta na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSAO, 2013)

^b Temperatura do solo para ser simulada em profundidade de 50 cm. Características do solo: condutividade térmica de 0,6 W/(m.K), massa específica de 1700 kg/m³ e calor específico de 840 J/(kg.K).

Observa-se que os resultados das avaliações do desempenho térmico de edificações nas cidades indicadas na **Tabela 5** podem ser estendidos a outras cidades, desde que alocadas na mesma Zona Bioclimática considerada na avaliação. Para as Zonas Bioclimáticas que têm duas cidades indicadas, a edificação deve atender o nível "Mínimo" em ambas para que os resultados sejam estendidos às outras cidades da Zona. Caso isso não ocorra, os resultados serão válidos somente para a cidade na qual o sistema construtivo foi aprovado. Caso sejam utilizados dados geográficos e climáticos diferentes dos apresentados na **Tabela 5**, os resultados da avaliação não serão aceitos.

3.1.2 Projeto padrão de ensaio

Devem ser considerados os projetos padrão de ensaio indicados nas **Figuras 11 e 12**, que incluem casa térrea isolada e geminada, casa sobreposta e apartamento. Caso seja necessário avaliar um sobrado, pode ser analisada a casa térrea geminada, simulada com parede em contato com outra edificação idêntica ao invés de estar em contato com o solo.

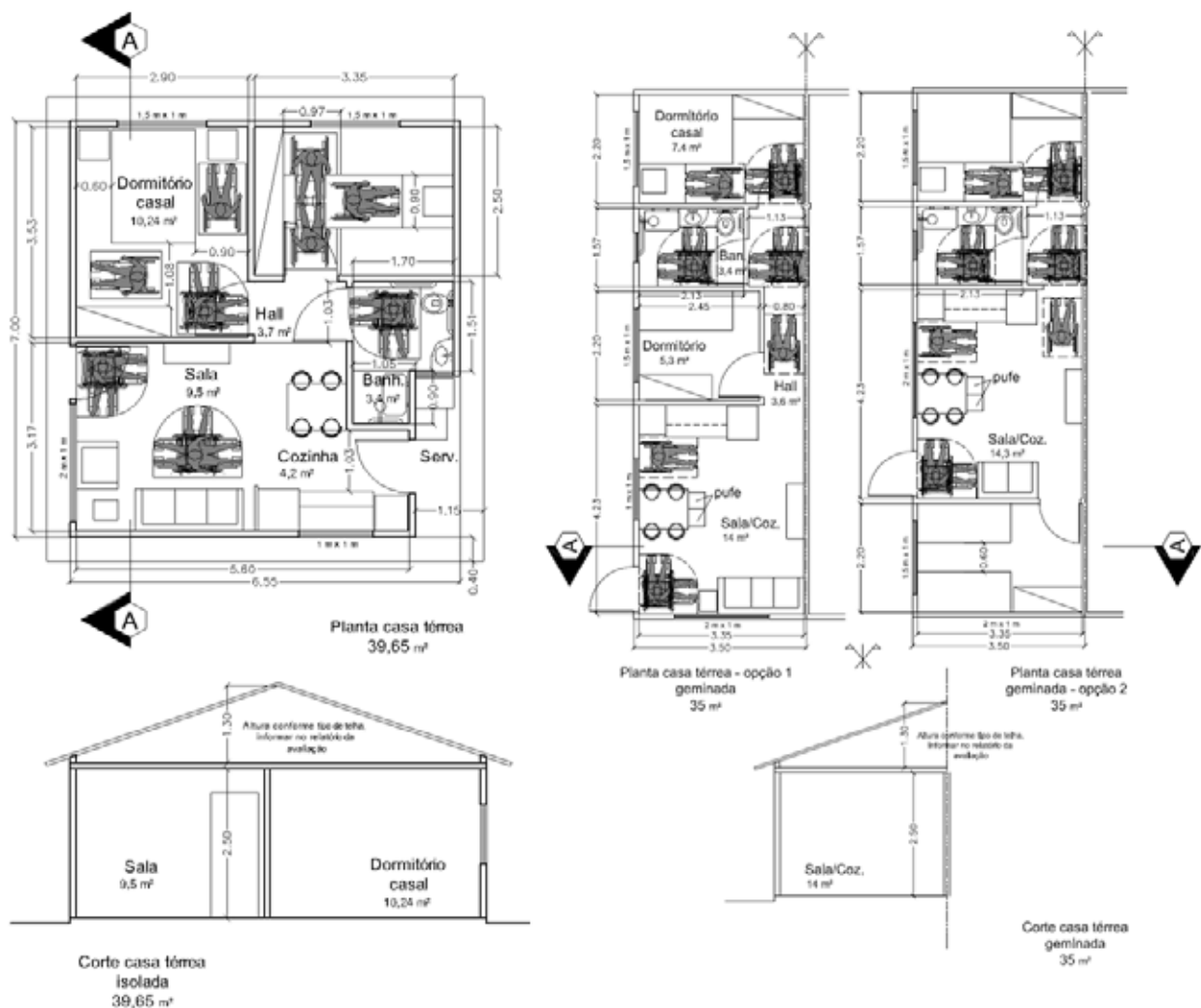


Figura 11 – Projetos padrão para casa térrea isolada e geminada.
Fonte: Elaborado pelos autores.

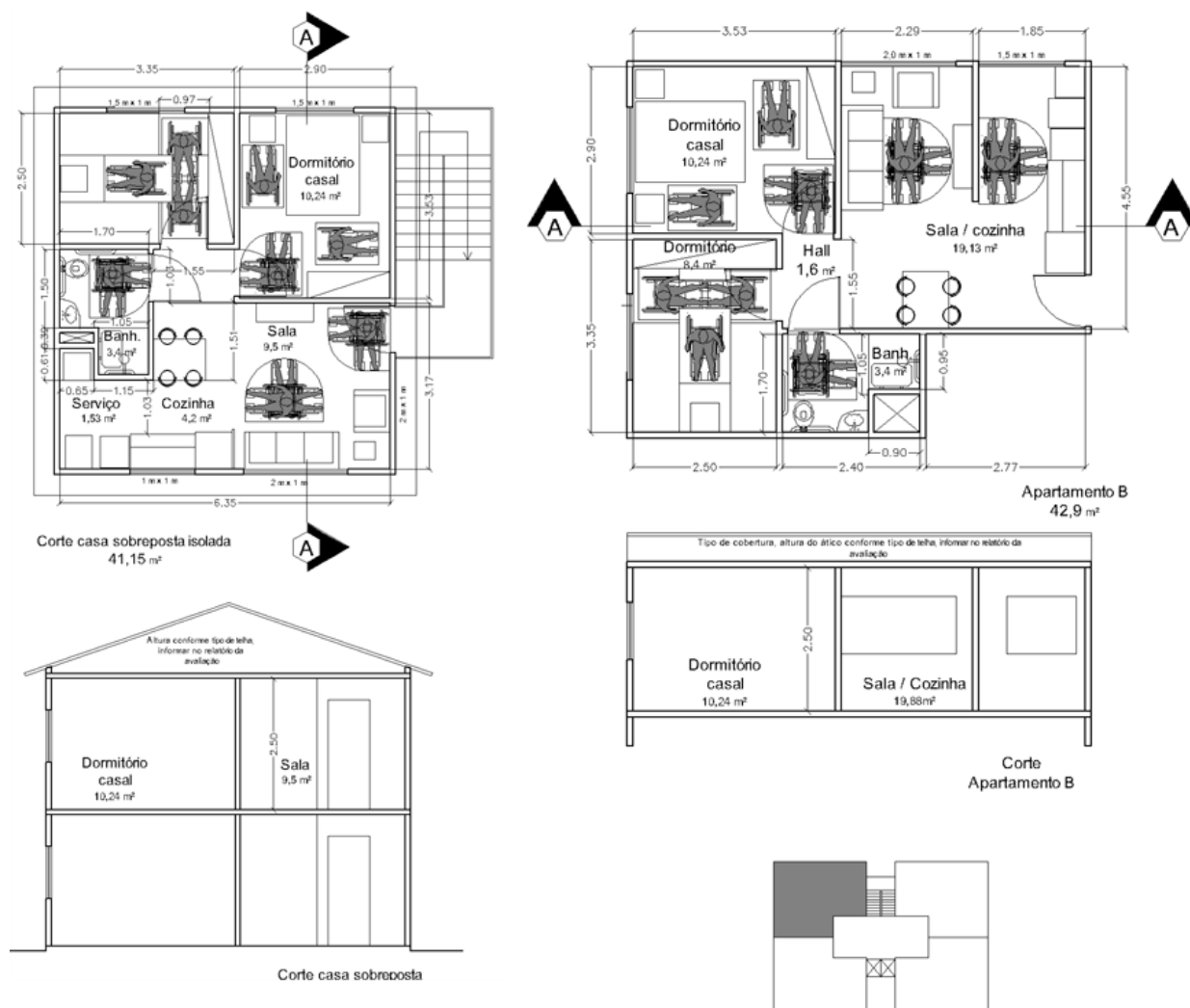


Figura 12 – Projetos padrão para casa sobreposta e apartamento.
 Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1.3 Simulações dos ambientes

O projeto da unidade habitacional deve ser simulado por completo, com cada ambiente representando uma zona térmica. Deve-se adotar a situação mais crítica de exposição à radiação solar, como disposto a seguir:

- Apartamento ou ambiente localizado no último pavimento, com sala e dormitório em contato com a cobertura da edificação;
- Ambiente sala e ambiente dormitório com maior área envidraçada na fachada, com janela voltada para a direção Oeste e uma parede para Norte, no período de verão. No período de inverno, a janela deve ser voltada para a direção Sul e uma parede para Leste;

- c. Ambiente sala e ambiente dormitório com o maior número de paredes expostas ao clima, tanto no verão quanto no inverno; e
- d. As simulações são realizadas para os dois ambientes, sala e dormitório, posicionados individualmente na situação mais crítica. Isso significa que deve ser feita uma primeira simulação posicionando-se a sala na situação mais crítica e uma segunda simulação, posicionando-se o dormitório na situação mais crítica. Em ambas as situações, são obtidos os resultados para todos os ambientes, adotando-se, para efeito da análise, os resultados mais desfavoráveis.

3.1.4 Absortância à radiação solar de superfícies

Considerar superfícies externas das fachadas em cores claras, médias e escuras, com absortância à radiação solar de 0,3, 0,5 e 0,7, respectivamente e superfícies externas das telhas do telhado conforme indicado na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Absortância à radiação solar de superfícies externas de telhados ou coberturas.

Fonte: Elaborados pelos autores.

Tipo de cobertura ou cor	Absortância da superfície externa da cobertura
Cerâmica	0,7
Fibrocimento	0,7
Concreto	0,7
Cobertura em cor clara, com absortância de 0,3	0,5
Cobertura em cor média, com absortância de 0,5	0,7
Cobertura em cor escura, com absortância de 0,7	0,9

Nota: É obrigatória a apresentação de resultados de simulações considerando as absortâncias das superfícies da cobertura previstas nesta tabela, que representam condições que poderão ser encontradas em coberturas "envelhecidas".

3.1.5 Ático

As simulações devem ser realizadas considerando ático "não ventilado", com as dimensões previstas nos projetos padrão. Caso o sistema construtivo da cobertura necessite de uma inclinação diferente daquelas indicadas nos projetos, essa informação deve ser destacada no relatório da avaliação, incluindo as dimensões utilizadas.

3.1.6 Pé direito

Utilizar o pé direito indicado nos projetos padrão. Caso o sistema construtivo não contemple forro, adotar a inclinação do telhado do projeto padrão. Para coberturas sem forro e com inclinação diferente da prevista no projeto padrão, essa informação deve ser destacada no relatório da avaliação, incluindo as dimensões utilizadas.

3.1.7 Ocupação

Os recintos devem ser simulados sem a presença de pessoas, equipamentos e iluminação, de modo a se obter informações somente da resposta térmica da edificação decorrente da sua interação com o clima do local.

3.1.8 Sombreamento de janelas e ventilação de ambientes

Os recintos devem ser simulados considerando as quatro situações abaixo apresentadas para o período de verão e a situação apresentada para o período de inverno. Devem ser utilizados os modelos de ventilação simplificados que permitem a inclusão do número de renovações do ar nos ambientes padronizado na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Ressalta-se a importância desse fator para padronização do ensaio, pois tais modelos não levam em conta especificidades da geometria.

Período de verão

- a. Ambiente com ventilação a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora, durante as 24 horas do dia, com janelas sem sombreamento. Considerar a área total da janela como envidraçada, ou seja, sem sombreamento. Esta condição de simulação é denominada como condição padrão, "PADRÃO";
- b. Janelas sombreadas, ou seja, com proteção solar como cortinas ou outros elementos, que impeçam a entrada de radiação solar direta ou que reduzam em 50 % a incidência da radiação solar global no ambiente. Considerar o ambiente com ventilação a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora, durante as 24 horas do dia. Esta condição de simulação é denominada como condição com sombreamento, "SOMB";
- c. Ambiente ventilado a uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora, durante as 24 horas do dia. Considerar a janela com sua área total envidraçada, ou seja, sem sombreamento. Esta condição de simulação é denominada como condição com ventilação, "VENT"; e
- d. Simulação com a combinação das duas opções anteriormente expostas em "b" e "c", ou seja, condição com sombreamento e ventilação, denominada como "SOMB + VENT". Considerar, portanto, ambiente ventilado a uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora e janelas sombreadas, ou seja, com proteção solar que impeça a entrada de radiação solar direta ou reduzam em 50 % a incidência da radiação solar global no ambiente.

Período de inverno

Ambiente com ventilação a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora, durante as 24 horas do dia, com janelas sem sombreamento, ou seja, considerar a janela com sua área total envidraçada; esta condição de simulação é denominada como condição padrão, "PADRÃO".

3.1.9 Análise dos resultados

Analisar a resposta térmica tanto de salas como de dormitórios, ou seja, dos ambientes de ocupação prolongada, que apresentem condições mais críticas de exposição à radiação solar no período considerado.

Para que se considere que a habitação atende aos critérios referentes ao nível mínimo de desempenho térmico previsto na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), é necessário que salas e dormitórios atendam o nível mínimo de desempenho térmico no verão e no inverno, como disposto a seguir:

- a. Atendimento do nível de desempenho térmico mínimo no verão: o nível mínimo (M) é atendido quando o valor máximo diário da temperatura do ar interior é menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior; e
- b. Atendimento do nível de desempenho térmico mínimo no inverno: o nível mínimo (M) é atendido quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interior é maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior acrescido de 3 °C.

Para informações sobre os critérios referentes aos outros níveis de desempenho térmico, consultar o Anexo E da parte 1 da norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

3.1.10 Informações básicas do relatório da avaliação

- a. Projeto arquitetônico da edificação, incluindo plantas, cortes e vistas. Os cortes devem apresentar seções do ático, se houver;
- b. Descrição do sistema construtivo e da edificação considerada (paredes, cobertura, pisos, janelas, portas.) destacando detalhes das paredes, de seus componentes e revestimentos, cor da cobertura, pé direito, área envidraçada na fachada em relação à área de piso dos ambientes (**Tabela 7**);
- c. Detalhamento do sistema construtivo, disposição e espessuras de camadas;
- d. Propriedades térmicas e físicas dos materiais, que compõem o sistema construtivo, como condutividade térmica, calor específico, massa específica e emissividade das superfícies;
- e. Descrição do método utilizado na avaliação conforma a norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013);
- f. Apresentação de tabelas com os resultados do atendimento dos critérios referentes aos níveis de desempenho térmico da habitação no período de verão e no período de inverno (**Tabelas 8 e 9**). Deve haver uma legenda com a indicação das cores que representam os níveis de desempenho térmico;
- g. Indicação do resultado final da avaliação em uma tabela com o resumo de todas as condições que proporcionam o atendimento dos níveis de desempenho, como indicado no exemplo da **Tabela 10**; e
- h. Conclusão com a indicação clara do atendimento ou não dos critérios referentes aos níveis de desempenho térmico constantes na norma. Assinatura de um responsável técnico.

Tabela 7 – Área envidraçada na fachada dos ambientes por tipologia.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ambiente	Casa Térrea	Casa térrea geminada	Casa Sobreposta	Apartamento
Dormitório Casal	15 %	20 %	15 %	15 %
Dormitório Solteiro	18 %	28 %	18 %	18 %
Sala e Cozinha	22 %	21 %	22 %	18 %

Tabela 8 – Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no verão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Zona Biocl.	Temperatura máxima ar exterior	Cor da parede exterior	Dormitório / Condição				Sala / Condição			
			CP	Sombreamento	Ventilação	Sombreamento + Ventilação	CP	Sombreamento	Ventilação	Sombreamento + Ventilação
X	Valor	Clara	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Média	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Escura	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
...	Valor	Clara	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Média	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
		Escura	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

Legenda: Vermelho: nível de desempenho térmico abaixo do "Mínimo";

Amarelo: nível de desempenho térmico "Mínimo";

Verde: nível de desempenho térmico "Intermediário";

Azul: nível de desempenho térmico "Superior".

3.1.11 Informações básicas do DATEC

O DATEC deve conter as tabelas com o resultado das condições nas quais a habitação atende, pelo menos, o nível "Mínimo", além de uma descrição sucinta da tipologia e características da habitação avaliada, incluindo a cor da cobertura, altura do ático se houver, pé direito, área envidraçada na fachada em relação à área de piso dos ambientes. A avaliação será válida somente para edificações com as características descritas no DATEC. Caso o construtor necessite fazer uma habitação com um projeto com maior área envidraçada na fachada ou cor mais escura na cobertura, por exemplo, será necessário fazer uma nova avaliação do projeto específico.

Tabela 9 – Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no inverno.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Zona Bioclimática	Temperatura máxima ar exterior	Cor da parede exterior	Dormitório / Condição	Sala / Condição
			CP	CP
1	Valor	Clara	valor	valor
		Média	valor	valor
		Escura	valor	valor
...	Valor	Clara	valor	valor
		Média	valor	valor
		Escura	valor	valor

Legenda: Vermelho: nível de desempenho térmico abaixo do "Mínimo";

Amarelo: nível de desempenho térmico "Mínimo";

Verde: nível de desempenho térmico "Intermediário";

Azul: nível de desempenho térmico "Superior".

Tabela 10 – Resumo dos resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação com indicação do atendimento ao nível "Mínimo" de desempenho.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Zona Bioclimática	Cor do acabamento externo das paredes			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média	Atende com qualquer cor
...	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor	Atende com qualquer cor
...

4 Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP – Inovação e Pesquisa pelo financiamento da pesquisa da qual esta publicação faz parte.

5 Referências

- AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de procedimentos para o tratamento de dados climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1990. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 1991.
- ALFONSI, R. R.; SENTELHAS, P. C. Estimativa da temperatura do solo através da temperatura do ar em abrigo meteorológico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 57-61, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- AZEVEDO, T. R.; GAVANI, E. Ajuste do ciclo médio mensal horário da temperatura do solo em função da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 123-130, 2003.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB. **Dados de radiação solar**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 12 jan. 2015.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO. Casas térreas e sobrados. In: **Caderno de Tipologias**. São Paulo: CDHU, 1997. 41 p.
- COSTA, A. O. L.; GODOY, H. Contribuição para o conhecimento do clima do solo de Ribeirão Preto, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 689-742, 1962.
- FLORIDES, G.; KALOGIROU, S. Measurements of ground temperature at various depths. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY, 3., 2004, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: [s. n.], 2004. (Technologies on CD-ROM, Nottingham, UK).
- GOEDERT, C. O. Temperatura do planossolo em Pelotas, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 9-11, 1971.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do período de 1961 – 1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- KUSUDA, T.; ACHENBACH, P. R. Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the

United States. **ASHRAE Transactions**, v. 71, part 1, 1965.

VILELA, M. M. **Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade**. 2004. 278 f. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** – Energy Efficiency and Renewable Energy – Building Technologies Program. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

_____. ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** – Energy Efficiency and Renewable Energy – Building Technologies Program. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.