Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15575 e SiNAT) – Método Detalhado

4

**Adriana Camargo de Brito
Elisa Morandé Sales
Fúlvio Vittorino
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu**

1. Resumo das Etapas de Trabalho

Neste capítulo, é apresentada uma proposta de aprimoramento do método detalhado para solução dos problemas encontrados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), que foram expostos no Capítulo 2. Para fundamentar a proposta, foram efetuadas as etapas indicadas nos itens 1.1 a 1.4. No item 2, é apresentada a proposta de procedimentos para a realização de avaliações pelo método detalhado.

1.1. Temperatura do Solo

Vários autores indicam a possibilidade de serem feitas correlações entre valores da temperatura do ar e os valores da temperatura do solo (COSTA; GODOY, 1962; GOEDERT, 1971; KUSUDA, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003; VILELA, 2004; USDOE, 2015; FLORIDES; KALOGIROU, 2004). Essas correlações tornam possível estimar o valor da temperatura do solo a partir da temperatura

do ar do local, grandeza geralmente disponível com maior frequência em estações meteorológicas.

Autores como Alfonsi e Sentelhas (1996) e Azevedo e Galvani (2003), apresentam equações com a finalidade de se fazer o cálculo da temperatura do solo em cidades brasileiras, para várias profundidades, com base na temperatura média mensal do ar no local. Esses dados são utilizados para fins agrícolas, não havendo informações sobre sua adequação em simulações da resposta térmica de edificações.

Por outro lado, pré-processadores, como os do *Energy Plus*, o *Basement* e o *Slab*, são algumas das ferramentas mais avançadas para calcular valores da temperatura da superfície do solo em contato com o piso da edificação, a partir de simulações iniciais, utilizando valores médios mensais da temperatura do solo, a 50 cm de profundidade, disponíveis no banco de dados do programa *EnergyPlus*, como indicado no manual do programa. Inclusive, o uso desses pré-processadores é recomendado pelo manual do RTQR, regulamento técnico que estabelece parâmetros para avaliação da eficiência energética de habitações brasileiras. Entretanto, essa forma de se obter os dados de temperatura do solo ainda depende fortemente das decisões do avaliador, fato que não satisfaz a necessidade de padronização de dados climáticos para utilização em simulações relacionadas à avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos.

1.1.1. Método

A fim de verificar quais seriam os valores da temperatura do solo ou os mecanismos para estimá-la, foram efetuadas análises dos dados, disponíveis em literatura, referentes à temperatura do ar ou do solo em cidades brasileiras (INMET, 2015; USDOE, 2015; ABNT, 2013). Foram consideradas somente as cidades com dados disponíveis nessas três fontes para possibilitar comparações, são elas: Belém – PA; Belo Horizonte – MG; Boa Vista – RR; Brasília – DF; Campo Grande – MS; Curitiba – PR; Florianópolis – SC; Fortaleza – CE; Manaus – AM; Porto Velho – RO; Recife – PE; Rio de Janeiro – RJ; Salvador – BA e São Paulo – SP. Além disso, foram utilizados mecanismos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros, que permitem estimar a temperatura do solo com base na temperatura do ar (ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003).

A temperatura do solo, na sua superfície e em profundidades menores que 40 cm, sofre influência direta do ambiente exterior, como indicado por vários autores (COSTA; GODOY, 1962; GOEDERT, 1971; KUSUDA, 1965; ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003; VILELA, 2004). Isso significa que a temperatura da superfície do solo em contato com a área construída pode ser afetada também pelo desempenho térmico da edificação. Nesse contexto, para proporcionar uma padronização dos dados de entrada em programas de simulações da resposta térmica de edifícios, uma opção seria considerar valores de temperatura do solo em maior profundidade, por serem pouco afetados pelas variações de parâmetros ambientais externos.

Desse modo, foi efetuada uma análise dos valores da temperatura do solo ou mecanismos para sua obtenção nas profundidades de 40 cm e 50 cm (considerando-se que a diferença de 10 cm não produzirá alterações significativas no valor de sua temperatura). Não foram contemplados dados referentes a profundidades maiores que 50 cm, pois não há informações em todas as fontes, impossibilitando análises comparativas.

Como o intuito é propor valores da temperatura do solo para dias típicos de projeto em períodos de verão e inverno, selecionaram-se os maiores e os menores valores da temperatura média mensal do ar, obtidos nas normais climatológicas do INMET (2015) e nos arquivos do USDOE (2015). Esses valores foram utilizados nas equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) e Azevedo e Galvani (2003) para obtenção da temperatura do solo em profundidade de 40 cm.

Quanto às temperaturas do solo apresentadas por USDOE (2015), foram escolhidos os valores médios mensais dessa grandeza, em profundidade de 50 cm, que correspondem aos meses em que há os maiores e os menores valores médios mensais da temperatura do ar. Efetuou-se esse procedimento, pois, geralmente, os valores da temperatura do solo são defasados em relação aos da temperatura do ar, devido à sua inércia térmica. Assim, os maiores valores da temperatura do solo não ocorrem, necessariamente, no mesmo mês em que há o maior valor da temperatura do ar. Na Figura 1, é apresentado um exemplo dessa ocorrência, a partir de valores das temperaturas médias mensais do solo e do ar obtidos no USDOE (2015) e temperaturas médias mensais do ar fornecidas pelo INMET (2015) para a cidade de São Paulo.

Figura 1. Temperaturas médias mensais do ar e do solo em São Paulo.

Na Figura 2, são apresentados os valores da temperatura do solo, resultantes das referidas equações; as temperaturas médias mensais do solo em profundidade de 50 cm, obtidas de USDOE (2015) e as temperaturas médias mensais do ar, conforme INMET (2015) e USDOE (2015). Na Figura 3, são apresentados os mesmos fatores para as temperaturas médias e mínimas do ar e do solo.

Os valores da temperatura do solo obtidos com as equações de Alfonsi e Sentelhas (1996) são significativamente maiores do que os apresentados pelo USDOE (2015), ficando acima, inclusive, do valor médio da temperatura do ar, sendo extremos para uma profundidade de 40 cm. Com as equações de Azevedo e Galvani (2003), os valores da temperatura do solo são mais próximos daqueles indicados pelo USDOE (2015), apontando a possibilidade de sua eventual utilização a fim de gerar valores de temperatura do solo para serem usados em simulações. Porém, dependendo da cidade, os valores para essa grandeza são maiores ou menores que os apresentados pelo USDOE (2015), não sendo possível identificar uma tendência.

Para a cidade de São Paulo (Figuras 2 e 3), cujos dados de temperatura do solo foram medidos por Vilela (2004), identificou-se que os valores da temperatura média do solo em profundidade de 50 cm, obtida por meio de interpolação de dados medidos pelo autor em outras profundidades, são da mesma ordem de grandeza dos valores apresentados pelo USDOE (2015).

Figura 2. Temp. solo prof. 40 cm com as equações; Maior. temp. média mensal solo prof. 50 cm, USDOE (2015); Maior temp. média mensal do ar INMET (2015) e USDOE (2015).

Figura 3. Temp. solo prof. 40 cm com as equações (2003); Menor temp. média mensal solo prof. 50 cm, USDOE (2016); Menor temp. média mensal do ar INMET (2015) e USDOE (2015).

Observou-se uma relação entre os valores da temperatura média mensal do solo apresentados pelo USDOE (2015), em profundidade 50 cm, e a temperatura média mensal do ar (INMET e USDOE). Porém, tal relação não é linear, não havendo dados suficientes para a obtenção de uma equação que a represente. As diferenças encontradas entre a temperatura média do solo e a temperatura média do ar variam de 0°C a 2°C, dependendo da cidade, com exceção dos dados de Salvador, lugar em que essa diferença chega a 3,4°C.

Os valores fornecidos pelo USDOE quanto à temperatura do solo são, geralmente, obtidos por cálculos (cujas equações não são indicadas nos documentos dos dados climáticos) e constituem, praticamente, a única referência que se tem dessa grandeza para a realização de simulações computacionais da resposta térmica de edificações. Em relação à cidade de São Paulo, para a qual há dados adicionais medidos por Vilela (2004), observa-se uma consistência dos dados calculados pelo USDOE para essa localidade, uma vez que pertencem à mesma ordem de grandeza de dados medidos, o que indica a adequação do método de cálculo para a obtenção de valores da temperatura do solo.

As equações utilizadas para estimar a temperatura média do solo com base na temperatura média do ar, elaboradas por pesquisadores brasileiros (ALFONSI; SENTELHAS, 1996; AZEVEDO; GALVANI, 2003), não forneceram informações adequadas para a realização de simulações, seja por apresentarem valores extremos da temperatura do solo, seja por não haver uma tendência perceptível do comportamento dos dados obtidos em relação aos dados de outras fontes (USDOE, 2015).

Por outro lado, identificou-se uma relação entre os valores da temperatura média do solo (USDOE, 2015) e a temperatura média do ar (USDOE, 2015; INMET, 2015), porém com uma variação significativa, que chega a 2°C, de modo geral. Considerando-se a possibilidade de, eventualmente, na ausência de dados medidos da temperatura do solo, utilizar a temperatura média do ar para compor a temperatura do solo em profundidade de 50 cm, seria necessário verificar qual o efeito que variações da ordem de 2°C na temperatura do solo podem ter na resposta térmica da edificação. Outro fator a ser abordado é a forma de inserir os dados de temperatura do solo no programa computacional, fator que pode afetar de modo significativo o desempenho térmico dos recintos. Para elucidar esses

fatores, foram efetuadas simulações computacionais da resposta térmica de edificações em duas etapas, como descrito nos itens a seguir.

Efeito da Temperatura do Solo e sua Profundidade

Para verificar o efeito da temperatura do solo e da maneira de inserir esses dados no programa computacional, foram realizadas simulações computacionais de uma habitação térrea típica de interesse social (CDHU, 1997), exposta às condições climáticas de dias típicos de verão e de inverno da cidade de São Paulo, presentes na Norma NBR 15575 (ABNT, 2013), 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. Esses valores compreendem duas unidades a mais que a temperatura máxima diária e duas unidades a menos que a temperatura mínima diária nos dias típicos de projeto de verão e inverno. As características climáticas dos dias típicos são indicadas na Tabela 1. O piso da edificação foi simulado com esses valores de temperaturas superficial do solo e em profundidades de 50 cm e 100 cm do solo.

A edificação foi simulada com dois tipos de paredes: uma utilizando chapa cimentícia na face externa e gesso acartonado na face interna e a outra com 15 cm de concreto comum, intitulados sistemas leve e pesado, respectivamente. A cobertura da edificação tem forro de gesso acartonado e telhado constituído de telhas cerâmicas. As simulações foram feitas com base na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com a edificação ventilada a uma taxa de 1 Ren/h e janelas sem sombreamento, voltadas à direção oeste no verão e sul no inverno. Foram analisados os dados obtidos para a sala.

Adequação de Dados Disponíveis de Temperatura do Solo

Para verificar a adequação dos valores de temperatura do solo provenientes do USDOE (2015) e dos valores dessa grandeza adotando-se a temperatura média mensal do ar (INMET, 2015), foram realizadas simulações computacionais para reproduzir a resposta térmica de um protótipo, com dimensões 3,3 m × 4,3 m, para o qual se dispõe de dados medidos conforme descrito a seguir. As paredes são feitas de tijolos de barro revestidos com argamassa em ambas as faces, a cobertura tem forro de madeira e telhado em telhas cerâmicas. A janela possui vidro simples e transparente, com dimensões 1,2 m × 1,2 m, voltada para a direção sudeste,

sem elementos de proteção solar e uma porta de madeira com dimensões 0,8 m × 2,1 m.

O protótipo, construído no terreno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo – IPT, foi objeto de medições de parâmetros ambientais que incluem temperatura do ar externo, interno e temperaturas superficiais de teto, paredes e piso, em vários períodos, com as janelas e portas fechadas, não estando mais disponível por ter sido demolido em função de demandas internas do instituto. Os dados das medições que foram selecionados correspondem ao terceiro dia de uma série de dias com características iguais, nos meses de abril e julho, que fazem parte de arquivo de medições do IPT.

A simulação da resposta térmica do protótipo foi obtida com a inserção de valores da temperatura do solo na superfície em contato com o piso da edificação e em profundidade de 50 cm, utilizando valores da temperatura do solo a partir de dados contidos no documento do USDOE (2015) e da temperatura do ar fornecida pelo INMET (2015). Foram utilizados valores médios mensais da temperatura do ar e do solo, presentes nas referidas fontes, para cada mês em que foram realizadas as medições (julho e abril). Os dados climáticos utilizados nas simulações são indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climáticos referentes aos dias das simulações.

Dia	Temp. máx. ar exterior (°C)	Temp. mín. ar exterior (°C)	Temp. média ar exterior (°C)	Radiação solar global – horizontal (W/m ²)	Temperatura do solo ^c (°C)
23/abr ^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/jul ^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 a partir do uso do programa *EnergyPlus*, com modelo de céu da ASHRAE e nebulosidade de 50%, correspondente a céu parcialmente encoberto.

^c Temperatura na superfície 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).

1.1.2. Resultados

Efeito da Temperatura do Solo e sua Profundidade

Na Figura 4, são apresentados os valores máximos diários das temperaturas do ar interior da sala de uma habitação em São Paulo, com dois sistemas construtivos em função da temperatura do solo e sua profundidade e, na Figura 5, são indicados os mesmos parâmetros em relação à temperatura mínima do ar interior no dia típico de inverno.

Figura 4. 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.

Figura 5. 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.

Nas simulações em que a temperatura do solo é atribuída à superfície externa do piso, há um efeito significativo na temperatura máxima ou mínima do ar interior em comparação com os casos com temperatura do solo em profundidade de 50 cm ou 100 cm. Uma variação de 2°C na temperatura superficial do solo produz uma alteração da ordem de 1°C no valor da temperatura máxima ou mínima do ar interior com sistema pesado e 1,7°C com sistema leve. Isso repercute de modo mais significativo também no atendimento ao nível mínimo de desempenho térmico. Por outro lado, a mesma variação de 2°C na temperatura do solo, mas simulada em profundidade de 50 cm e 100 cm, resulta em alteração menor que 0,2°C. no valor da temperatura máxima ou mínima do ar interior.

Adequação de Valores Disponíveis da Temperatura do Solo

Nas Figuras 6 e 7, são apresentados os valores das temperaturas do ar externo, do ar interno e a temperatura superficial interna do piso, obtidos nas medições e simulações para dias em abril e julho, com valores de temperatura do solo provenientes de várias fontes, simulados em várias profundidades.

Nas simulações do dia 23 de abril (Figura 6), as temperaturas máximas do ar interior obtidas por simulações diferem dos valores medidos de 0,6°C a 1,2°C. A maior temperatura máxima do ar interior é obtida com dados de temperatura do solo do USDOE, em profundidade de 50 cm (25,2°C), e a menor, com a temperatura superficial do solo como a temperatura média mensal do ar, por meio do INMET (19,7°C). Nas situações com temperatura do solo em profundidade de 50 cm e com a temperatura superficial do solo oferecida pelo USDOE, as temperaturas máximas do ar interior apresentam a mesma ordem de grandeza (em torno de 25°C), sendo a medida da temperatura máxima 24,2°C. A temperatura superficial máxima do piso interno, nas simulações, difere dos valores medidos com variação de 0,5°C a 1,3°C.

Figura 6. Temperatura do ar e do piso no dia 23/04.

Nas simulações para o dia 20 de julho (Figura 7), os resultados obtidos para a temperatura máxima e mínima do ar interior estão mais próximos dos valores medidos, com a temperatura superficial do solo de USDOE (17,8°C). 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.

Figura 7. Temperatura do ar e do piso no dia 20/07.

Considerando-se que não foram feitos ajustes nos dados de entrada para que as temperaturas obtidas nas simulações fossem coincidentes com as obtidas nas medições, os dados obtidos para os dias de abril e julho, com os vários valores da temperatura do solo e profundidades, seriam aceitáveis por propiciarem valores da temperatura do ar interior da mesma ordem de grandeza dos valores medidos.

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. De modo geral, considerando-se que os dados de temperatura média mensal obtidos pelo INMET apresentam uma diferença de até 2°C em relação aos dados de temperatura do solo obtidos pelo USDOE, nos casos em que não há informações sobre essa grandeza, 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 do desempenho térmico da edificação.

Quanto aos valores da temperatura do solo, independentemente da forma de simular a temperatura do solo, seja na superfície ou em maior profundidade, os resultados obtidos são da mesma ordem de grandeza, condição que torna possível utilizar qualquer um deles nas avaliações. Entretanto, considerando que, 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.

1.1.3. Valores Sugeridos da Temperatura do Solo

Para compor dados de dias típicos de verão, para as cidades cujos dados climáticos foram abordados neste trabalho, selecionou-se a maior temperatura média mensal do ar (USDOE, 2015), escolhendo-se o valor da temperatura média do solo em profundidade de 50 cm no mês de referência. O mesmo procedimento foi feito para os dias típicos de inverno, considerando-se o menor valor da temperatura mínima mensal do ar. Para a realização das simulações, foi selecionado um dia em meados do mês, que apresentava a maior temperatura média mensal do ar para o verão e mínima para o inverno (dia 15).

Na Tabela 2, são apresentados os valores de referência da temperatura média mensal do solo e os dias do ano ideais para a realização das simulações computacionais da resposta térmica de edificações em dias típicos de verão e de inverno, constates na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), especialmente, com o intuito de padronizar dados de entrada a serem inseridos em simulações para a avaliação do desempenho térmico potencial de sistemas construtivos.

Para outros tipos de simulações, na ausência de dados de temperatura do solo, é possível utilizar valores da temperatura média mensal do ar obtidas no INMET, com o intuito de compor valores da temperatura do solo em profundidade de 50 cm, seguindo o procedimento descrito no primeiro parágrafo deste item, a fim de escolher meses representativos de verão e inverno.

Tabela 2. Dados sugeridos para a temperatura do solo em cidades brasileiras.

Cidade	Dia típico de verão		Dia típico de inverno	
	Dia do ano	Temp. média mensal do solo – prof. 50 cm ^a	Dia do ano	Temp.média mensal do solo – prof. 50 cm ^a
Belém	15/fev.	25,7	-	-
Belo Horizonte	15/fev.	23,0	15/jul.	20,0
Boa Vista	15/set.	28,6	-	-
Brasília	15/set.	21,5	15/jul.	19,0
Campo Grande	15/jan.	25,8	-	-
Curitiba	15/fev.	20,8	15/jun.	15,1
Florianópolis	15/fev.	24,1	15/jul.	17,0
Fortaleza	15/jan.	27,3	-	-
Manaus	15/set.	26,7	-	-
Porto Velho	15/out.	25,7	-	-
Recife	15/mar.	28,2	-	-
Rio de Janeiro	15/fev.	26,5	-	-
Salvador	15/fev.	24,5	-	-
São Paulo	15/fev.	21,4	15/jul.	17,8

^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).

1.2. Dias Típicos de Projeto das Zonas Bioclimáticas 2 e 5

Foram determinados os dias típicos de projeto para as cidades de São Lourenço – MG e Vitória da Conquista – BA, pertencentes, respectivamente, às Zonas Bioclimáticas 2 e 5, cujas informações de temperatura do ar, referentes ao período de 1981 a 2011, foram obtidas no INMET (2015). Os dados de radiação solar incidente no plano horizontal foram obtidos no CRESESP-CEPEL (2015). Essas cidades foram escolhidas em decorrência de disponibilidade de dados.

Foram determinados os meses de verão e de inverno designados como “mais quentes” e “mais frios”, tendo como referência as médias das temperaturas máximas diárias e as médias das temperaturas mínimas diárias, conforme método apresentado por Akutsu e Vittorino (1991). Posteriormente foram estabelecidos os valores da temperatura máxima e mínima diárias, que caracterizam dias típicos de verão e de inverno nos locais analisados, com frequência de ocorrência da ordem de 10% (AKUTSU;

VITTORINO, 1991). Com base nesses valores e nos valores de umidade relativa correspondentes, foram obtidos os valores da temperatura de bulbo úmido. Quanto à temperatura do solo, como recentemente houve uma atualização de dados de cidades brasileiras nos arquivos climáticos do *EnergyPlus*, foi extraída desta fonte a informação para a cidade de Vitória da Conquista (USDOE, 2017). Para a cidade de São Lourenço, por sua vez, foram utilizados dados do INMET (2015) referentes à temperatura média mensal do ar, conforme procedimentos citados anteriormente (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de dias típicos de verão propostos para cidades nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5.

Zona Bioclimática	2		5	
Cidade	São Lourenço – MG		Vitória da Conquista – BA	
Dia Típico	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Temp. Máxima Diária (°C)	31,8	19,2	31,7	20,4
Amplitude Diária da Temp. do Ar (°C)	11,7	16,6	10,3	9,7
Temp. de Bulbo Úmido (°C)	21,6	14,0	21,0	15,1
Radiação Solar Global – Plano Horizontal (Wh/m²)	5307	3595	5030	4110
Temp. Média Mensal do Solo em Prof. de 50 cm	23,4	16,2	21,9	20,5
Dia do Ano	15/fev.	15/jul.	15/fev.	15/jul.

1.3. Dados Climáticos de Cidades para Avaliações no SiNAT

Foi efetuada uma análise dos dados climáticos das cidades indicadas na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), com o intuito de identificar razões que possam justificar os diferentes comportamentos térmicos de edificações iguais expostas às condições climáticas de uma mesma zona. Também foram feitas simulações computacionais da resposta térmica de apartamento com vários sistemas construtivos, localizados no último pavimento da edificação, em contato com a cobertura e afastados do solo, sem a contribuição da sua inércia térmica, representando ambientes com condições térmicas mais críticas. São apresentados resultados somente para um tipo de sistema construtivo, com a intenção de ilustrar os fatores a serem abordados.

O projeto do apartamento foi obtido no documento elaborado pela CDHU (CDHU, 1997), que determina paredes com 10 cm de concreto comum, lajes de piso e de cobertura com a mesma espessura e material e telhado com telhas cerâmicas. Foram simulados, a partir dos procedimentos oferecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), com ambientes ventilados a uma taxa de 1 Ren/h e janelas sem sombreamento, voltadas para a direção oeste no verão e sul no inverno. Foram analisados os resultados obtidos para a sala por terem sido considerados os mais críticos, sendo determinantes do nível de desempenho térmico obtido pela edificação.

Nas Figuras 8 e 9, são indicados os intervalos de temperatura do ar externo e radiação solar global nos dias típicos de verão para cidades das Zonas Bioclimáticas 3, 6, 7 e 8, e dias típicos de inverno para cidades da Zona Bioclimática 3. Na Figura 10, são apresentados, respectivamente, os valores máximos diários da temperatura do ar interior, obtidos nos recintos expostos às condições climáticas de cidades da Zona Bioclimática 8 e, os valores limites para atendimento ao nível “Mínimo” de desempenho térmico nos dias típicos de verão.

Na Figura 11, são apresentados os valores máximos da temperatura do ar interior nos ambientes em cidades das Zonas Bioclimáticas 3, 6 e 7, além dos valores mínimos diários da temperatura do ar interior em cidades da Zona Bioclimática 3, bem como os valores limites para atendimento ao nível “Mínimo” de desempenho térmico nos dias típicos de verão e de inverno.

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, 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 precisão, reduzindo

a possibilidade de 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.

Figura 8. Temperatura do ar externo e radiação solar global incidente no plano horizontal para cidades da Zona Bioclimática 8, constantes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Nota: Radiação solar global obtida no CRESESP-CEPEL para as cidades de Macapá e Boa Vista, pois não constam na norma NBR 15575 (ABNT, 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 ao nível “Mínimo” de desempenho térmico.

Figura 10. Temp. do ar externo e radiação solar global em cidades das Zonas 3, 6 e 7, constantes na norma NBR 15575 (ABNT, 2013) – dia típico de verão (à esquerda) e dia típico de inverno (à direita). Nota: Radiação solar global obtida no CRESESP-CEPEL para a cidade de Florianópolis, pois não consta na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Figura 11. 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).

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). Isso indica que nessa zona há cidades com três climas diferentes. São Paulo e Belo Horizonte tem 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, com inverno rigoroso. Porto Alegre apresenta grande amplitude diária e temperaturas do ar significativamente maiores no verão e menores no inverno.

Os dias típicos nas cidades das Zonas Bioclimáticas 6 e 7 apresentam as mesmas características, embora não seja possível garantir que outras cidades nessas zonas apresentem clima semelhante a elas.

1.3.1. Sugestões

No intuito de contornar os problemas encontrados no zoneamento, reduzindo 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 a fim de se realizar 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 Luís, Macapá, Salvador, Rio de Janeiro, Boa Vista). A aprovação do sistema construtivo nas duas cidades indica maior probabilidade de atendimento ao nível “Mínimo” nas demais da Zona Bioclimática 8. Quanto à Zona Bioclimática 3, de modo análogo, poderiam ser adotadas duas cidades: com amplitude diária em dias típicos de projeto maior que 7°C (São Paulo, Belo Horizonte e Porto Alegre) e menor ou igual a 7°C (Florianópolis).

Outra possibilidade seria adotar um novo zoneamento, como o que é apresentado por Akutsu (1998), que leva em conta as temperaturas máximas e mínimas mensais e a amplitude anual da temperatura do ar. Embora esse zoneamento seja mais adequado que o apresentado na norma NBR 15220

(ABNT, 2008) para fazer avaliações do desempenho térmico de edificações, precisaria ser atualizado e complementado com a inclusão de informações sobre radiação solar.

1.4. 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, baseados nas dimensões típicas das habitações financiadas por esse órgão, bem como nas 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.

2. 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 (ABNT, 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;
- 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 a 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, incidente 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 (ABNT, 2013), além dos procedimentos complementares indicados no item 2.1.

2.1. 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 um programa de simulação computacional que apresente a resposta térmica de edificações considerando condições transientes de trocas térmicas, levando em consideração o efeito da inércia térmica. O programa *EnergyPlus* é reconhecido por fazer tais simulações, é de domínio público, sugerindo-se sua adoção para efetuar as simulações.

2.1.1. Condições Climáticas

Devem ser consideradas as condições climáticas para os dias típicos de projeto no verão e no inverno em cidades representativas das Zonas Bioclimáticas Brasileiras, de acordo com a Tabela 4. 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 4. Dados de dias típicos de verão e inverno.

Período	Zona Biocl.	Cidade	UF	Dia do ano	Temp. do solo – prof. 50 cm (°C)	Temp. Máx. Bulbo Seco (°C)	Amplitude diária da temp. do ar (°C)	Temp. Bulbo Úmido (TBS Máx.) (°C)	Radiação solar global incidente no plano horizontal (kW/m²)
Verão	1	Curitiba	PR	15/ fev.	20,8	31,4	10,2	21,3	2,77
	2	São Lourenço	MG	15/ fev.	23,4	31,8	11,7	21,6	5,30
	3	São Paulo	SP	15/ fev.	21,4	31,9	9,2	21,3	5,18
		Florianópolis	SC	15/ fev.	24,1	32,7	6,6	24,4	5,73 ^a
	4	Brasília	DF	15/ set.	21,5	31,2	12,5	20,9	4,62
	5	Vitória da Conquista	BA	15/ fev.	21,9	31,7	10,3	21,0	5,03
	6	Cuiabá	MT	15/ out.	25,7	37,8	12,4	24,8	4,97
	7	Campo Grande	MG	15/ jan.	25,8	33,6	10	23,6	5,48
	8	Manaus	AM	15/ set.	26,7	34,9	9,1	26,4	5,18
		Recife	PE	15/ mar.	28,2	31,4	7,4	24,7	5,10
Inverno	1	Curitiba	PR	15/ jun.	15,1	12,3	11,6	11	1,66
	2	São Lourenço	MG	15/ jul.	16,2	19,2	16,6	14,0	3,59
	3	São Paulo	SP	15/ jul.	17,8	16,2	10	13,4	4,42
		Florianópolis	SC	15/ jul.	17,0	13,4	7,4	13,4	2,74 ^a
	4	Brasília	DF	15/ jul.	19,0	22,2	12,2	14,8	4,25
	5	Vitória da Conquista	BA	15/ jul.	20,5	20,4	9,7	15,1	4,11

^a Radiação solar global de Florianópolis obtida no CRESESP-CEPEL, pois não consta na norma NBR 15575 (ABNT, 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 nas referidas tabelas 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 ao 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 nas referidas tabelas, os resultados da avaliação não serão aceitos.

2.1.2. Projeto Padrão de Ensaio

Devem ser considerados os projetos padrão de ensaio indicados no Anexo, 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 o piso em contato com outra edificação idêntica em vez de estar em contato com o solo.

2.1.3. Simulações dos Ambientes

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

- a) Apartamento ou ambiente localizado no último pavimento, com sala e dormitório em contato com a cobertura da edificação;
- b) 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.
- 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.

2.1.4. 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 5.

Tabela 5. Absortância à radiação solar de superfícies externas de telhados ou coberturas.

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

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”.

2.1.5. 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.

2.1.6. 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.

2.1.7. 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.

2.1.8. Sombreamento de Janelas e Ventilação de Ambientes

Os recintos devem ser simulados considerando as quatro situações apresentadas abaixo 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 pela norma NBR 15575 (ABNT, 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 1,0 Ren/h (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. Essa 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 reduzam em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente. Considerar o ambiente com ventilação a uma taxa de 1,0 Ren/h (uma renovação do volume de ar do ambiente por hora), durante as 24 horas do dia. Essa condição de simulação é denominada como condição com sombreamento, “SOMB”;
- c) Ambiente ventilado a uma taxa de 5,0 Ren/h (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. Essa condição de simulação é denominada como condição com ventilação, “VENT”;
- 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 5,0 Ren/h 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 1,0 Ren/h (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. Essa condição de simulação é denominada como condição padrão, “PADRÃO”.

2.1.9. 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 (ABNT, 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 ao 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;
- b) Atendimento ao 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.
- c) Para informações sobre os critérios referentes aos outros níveis de desempenho térmico, consultar o Anexo E da parte 1 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

2.1.10. 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 6);
- 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 (ABNT, 2013);
- f) Apresentação de tabelas com os resultados do atendimento a critérios referentes aos níveis de desempenho térmico da habitação no período de verão e no período de inverno (Tabelas 7 e 8). 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 contendo o resumo de todas as condições que proporcionam o atendimento aos níveis de desempenho, como indicado no exemplo da Tabela 9;
- h) Conclusão com a indicação clara do atendimento ou não a critérios referentes aos níveis de desempenho térmico constantes na norma. Assinatura de um responsável técnico.

Tabela 6. Área envidraçada na fachada dos ambientes por tipologia.

Ambiente	Casa Térrea	Casa térrea geminada	Casa sobrepоста	Apartamento
Dorm. Casal	15%	20%	15%	15%
Dorm. Solt.	18%	28%	18%	18%
Sala e Coz.	22%	21%	22%	18%

Tabela 7. Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no verão.

Zona Bioclimática	Temp. máx. ar ext.	Cor da parede ext.	Dormitório/Condição				Sala/Condição			
			CP	Somb.	Vent.	Somb. + Vent.	CP	Somb.	Vent.	Somb. + Vent.
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

- nível de desempenho térmico abaixo do “Mínimo”;
- nível de desempenho térmico “Mínimo”;
- nível de desempenho térmico “Intermediário”;
- nível de desempenho térmico “Superior”.

Tabela 8. Resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação no inverno.

Zona Bioclimática	Temp. máx. ar ext.	Cor da parede ext.	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

– nível de desempenho térmico abaixo do “Mínimo”;
– nível de desempenho térmico “Mínimo”;
– nível de desempenho térmico “Intermediário”;
– nível de desempenho térmico “Superior”.

Tabela 9. Resumo dos resultados da avaliação do desempenho térmico da edificação com indicação do atendimento ao nível “Mínimo” de desempenho.

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

2.1.11. Informações Básicas do DATec

O DATec deve reunir as tabelas com o resultado das condições em que a habitação atende, pelo menos, o nível “Mínimo”, além de disponibilizar 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.

Anexos – Projetos padrão de ensaio

Figura A1. Projeto de casa térrea.

Figura A2. Projeto de casa térrea germinada.

Figura A3. Projeto de casa sobreposta.

Corte
Apartamento B

Figura A4. Projeto de apartamento.

Referências

- AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 150 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- 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, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- 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.
- AZEVEDO, T. R.; GALVANI, 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 – CRESESP-CEPEL. **Dados de radiação solar**. Acesso em: 2015.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO – CDHU. **Caderno de Tipologias**. 1997.
- 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, 3rd International Conference on Sustainable Energy, 2004. Nottingham. **Proceedings...** Nottingham, 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**. <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 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 p. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de pós-graduação em energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** – Energy Efficiency and Renewable Energy – Building Technologies Program. <https://energyplus.net/> – Acessos em: jan. 2015 e fev. 2017.