

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR ESTRUTURADA EM AÇO

Larissa Cristina Morais Trindade⁽¹⁾; Vanessa Aparecida Caieiro da Costa⁽²⁾; Marielle Ferreira Silva⁽³⁾; Luma Caroline de Barros⁽⁴⁾; Henor Artur de Souza⁽⁵⁾

(1) UFOP, e-mail: lactrindade@yahoo.com.br

(2) UFOP, e-mail: vanessa_caieiro@yahoo.com.br

(3) UFOP, e-mail: mariellearq@hotmail.com

(4) UFOP, e-mail: luma.caroline91@hotmail.com

(5) UFOP, e-mail: henorster@gmail.com

Resumo

A construção estruturada em aço vem se tornando uma opção forte de construção, pois seu sistema de construção é rápido, com possibilidade de montagem e desmontagem da estrutura e possibilitando uma maior flexibilidade no projeto arquitetônico. Uma proposta de projeto residencial estruturado em aço é o modelo com a utilização de pórticos de estabilizações bidirecionais. Os pórticos de estabilizações bidirecionais são os principais elementos estruturais da construção e consistem em pórticos espaciais que proporcionam estabilidade em duas direções perpendiculares quando submetidos a ações horizontais. Esse sistema é mais eficiente que os convencionais, uma vez que o sistema de cobertura dos pórticos resulta numa só estrutura que une paredes e cobertura, apresentando maior resistência a ações como fortes ventos e até mesmo a abalos sísmicos. Neste trabalho avalia-se o desempenho térmico de uma proposta de habitação unifamiliar, com o sistema estrutural utilizando estes pórticos. Analisa-se o desempenho térmico para as zonas bioclimáticas propostas na norma de desempenho NBR 15220 observando-se os critérios e diretrizes mínimos de desempenho estabelecidos pelo Sistema Nacional de Aprovações Técnicas (SINAT) em conformidade com a norma 15575, utilizando-se o programa EnergyPlus. Os resultados mostram que o sistema de fechamento utilizado, que é adequado e compatível com o sistema estrutural proposto em pórticos, apresenta o desempenho térmico mínimo exigido pelo SINAT, quando observados as condições de ventilação e as cores utilizadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico, Simulação numérica, Pórticos de estabilizações bidirecionais.

Abstract

The steel-framed building has become a strong choice for construction for its building construction system is fast, and brings the possibility of assembling and disassembling the structure, and allows a greater flexibility in the architectural design. One of the options for steel-structured residential projects is the model using 2D stabilizing frameworks. The 2D stabilizing frameworks are the construction main structural elements and consist of spatial frames that provide stability in two perpendicular directions when subjected to horizontal actions. This system is more efficient than the convectional ones, since the covering system of the frames results in a single structure that comprises walls and roof and shows greater resistance to actions such as strong winds and even earthquakes. This paper assesses the thermal performance of a proposed single-family dwelling, with the structural system using these frames. It is analyzed the thermal performance for the bioclimatic zones proposed in the performance standard NBR 15220 in compliance with the minimum performance criteria and guidelines established by the national system of Technical Approvals (SINAT) in accordance with the standard NBR 15575, using the EnergyPlus program. The results show that the closure system used, which is appropriate and compatible with the proposed frame-structured

system, presents the minimum thermal performance required by SINAT, when observed the ventilation conditions and the proper colors are used.

Keywords: *Thermal performance, Numerical simulation, 2D stabilizing framework.*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de minimização dos impactos ambientais gerados pelas edificações e a difusão dos conceitos de desenvolvimento sustentável exigem da indústria da construção civil propostas de projetos energeticamente eficientes e que satisfaçam as necessidades diárias de seus usuários, em relação ao conforto (JANSSEN; CARMELIET; HENS, 2004).

Neste sentido a indústria da construção tem concentrado esforços no desenvolvimento de sistemas fechamentos (paredes e cobertura) com melhor desempenho térmico, uma vez que o envelope (forma e tipo de fechamento) desempenha um papel de grande influência nas condições ambientais internas, sendo, portanto, fator determinante no desempenho térmico da edificação. A adequação do projeto arquitetônico às condições do clima onde ele está inserido aumenta a qualidade da edificação proporcionando condições favoráveis de conforto térmico aos ocupantes, além de melhoria da qualidade do ar interno.

Em função das variações diárias da temperatura do ambiente, a capacidade térmica da envoltória pode ser parâmetro importante no controle de ganho e perda de calor da edificação. O uso da inércia térmica contribui para a diminuição dos picos diários de temperatura e favorece o atraso da condução do calor através da envoltória (BRITO et al., 2010; 2011).

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste em verificar se as condições do ambiente interno são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes. Neste contexto, a norma NBR 15.575 (ABNT; 2008) estabelece que a edificação deve possuir características que atendam as exigências de desempenho térmico levando em consideração a região onde ela se encontra e suas características bioclimáticas que são definidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005), observando-se o comportamento térmico interativo entre fachada, cobertura e piso.

2. OBJETIVO

Nesse trabalho avalia-se o desempenho térmico de uma proposta de habitação unifamiliar, com o sistema estrutural utilizando pórticos de estabilizações bidirecionais, observando-se os critérios e diretrizes mínimos de desempenho estabelecidos pelo Sistema Nacional de Aprovações Técnicas (SINAT) em conformidade com a norma NBR 15.575.

3. METODOLOGIA

A avaliação do desempenho térmico da edificação é realizada por meio de simulação computacional utilizando o programa EnergyPlus, versão 3.1 (CRAWLEY et al., 2000). O procedimento de avaliação de desempenho térmico de uma edificação via simulação numérica fornece a resposta global da construção em relação às interações térmicas e mássicas entre o ambiente interno e ambiente externo, contemplando-se as seguintes etapas: (a) caracterização da edificação e seu perfil de ocupação; (b) caracterização e configuração dos fechamentos e estratégias bioclimáticas incorporadas no projeto; (c) caracterização das variáveis climáticas; (d) caracterização das exigências humanas de conforto térmico; (e) simulação numérica das interações térmicas e de massa entre o ambiente externo e interno; e (f) obtenção da evolução temporal da temperatura e umidade relativa do ar interno.

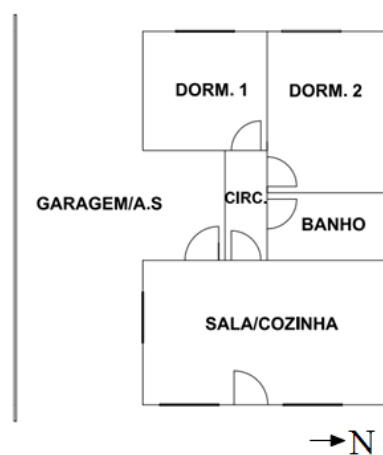
3.1. Caracterização da edificação

A edificação analisada é uma habitação térrea unifamiliar, com sistema estrutural utilizando pórticos de estabilizações bidirecionais. A edificação possui uma volumetria simples com a composição marcada pela utilização da cobertura arqueada que tem a dupla função de parede e cobertura, com área total de 87,30 m², área útil de 48,923 m² e 28,13 m² destinados a garagem e área de serviço (SILVA; SOUZA; ARAÚJO, 2011), Figura 1.

Figura 1 – Edificação analisada



(a) Maquete eletrônica do projeto

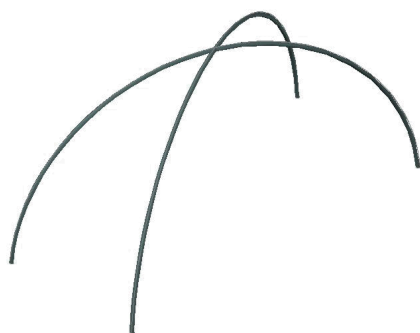


(b) Planta baixa

Fonte: SILVA, 2011.

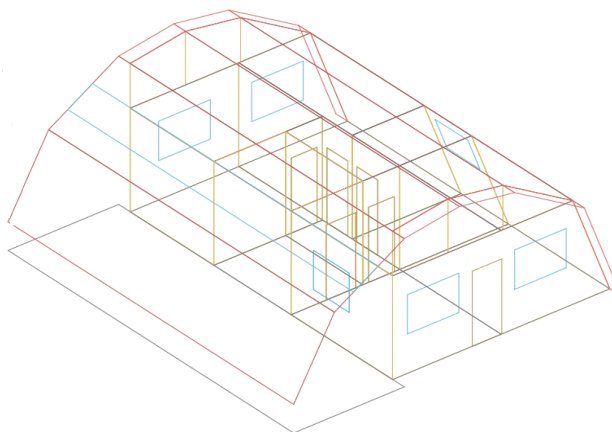
Os pórticos de estabilizações bidirecionais consistem em pórticos espaciais, que proporcionam o equilíbrio da construção em duas direções perpendiculares quando submetida a ações horizontais, Figura 2.

Figura 2 – Modelo



(a) Pórticos de estabilizações bidirecionais

Fonte: SILVA, 2011.



(b) Perspectiva do modelo simulado

A cobertura é a telha termo-acústica, tipo sanduíche, com isolamento térmico rígido (poliuretano). Os forros são constituídos de painéis OSB (*oriented strand board*). Para os fechamentos verticais foi adotado o sistema de fechamento multicamada composto por duas placas cimentícias intermediadas por lã de vidro, como fechamento externo, e por duas placas

de gesso acartonado intermediadas por lã de vidro, como fechamento interno (Figura 3), com as propriedades mostradas na Tabela 1.

Figura 3: Desenho esquemático dos fechamentos

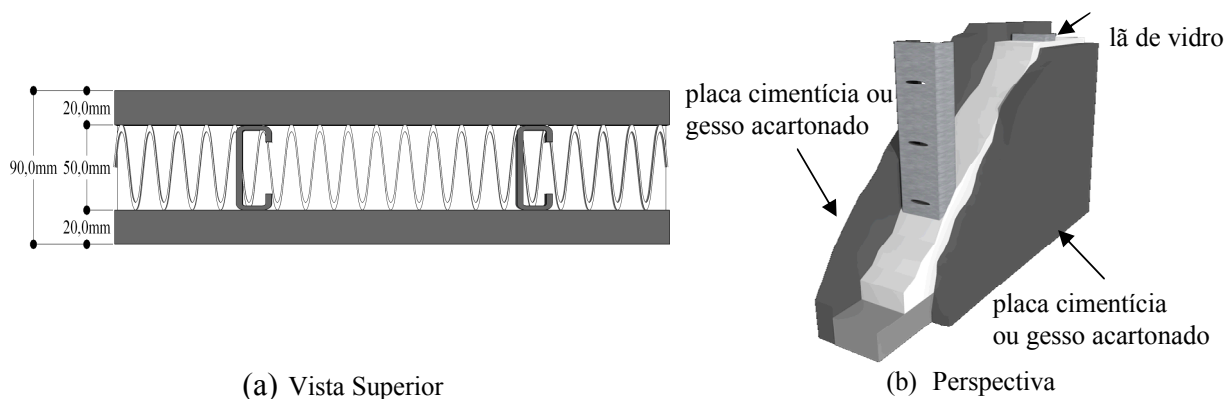


Tabela 1: Propriedades dos materiais

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade de térmica (W/(m°K))	Massa específica (kg/m³)	Calor específico (J/(kg°K))
Gesso acartonado	liso	0,02	0,35	1000	840
Lã de vidro	rugoso	0,05	0,045	100	700
Placa cimentícia	média	0,02	0,95	2200	840
Placa OSB	média	0,018	0,12	550	2.300
Poliuretano	rugoso	0,1	0,03	30	837
Chapa metálica	liso	0,001	55	7800	460

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005); CLARKE, 1985

3.2. Parâmetros e critérios da simulação numérica

De acordo com a Sistema Nacional de Aprovações Técnicas (SINAT, 2010) em conformidade com a norma NBR 15575 (ABNT, 2008), o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior para o dia típico de verão e maior ou igual ao valor mínimo acrescido de 3°C, para o dia típico de inverno. Para maior conforto dos usuários, recomenda-se para o nível mínimo os valores conforme apresentados na Tabela 2.

Deve-se também considerar a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, em relação à absorção a radiação solar simulando-se para as cores clara ($\alpha = 0,3$), média ($\alpha = 0,5$) e escura ($\alpha = 0,7$), nas seguintes condições: (a) condição padrão: ambientes com ventilação somente por infiltração através de frestas em janelas e portas, a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h) e

janelas sem sombreamento; (b) condição de sombreamento: proteção solar externa ou interna que impeça a entrada de radiação solar direta ou reduza em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente; (c) condição de ventilação com sombreamento: ambiente ventilado a uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h); (d) condição de ventilação sem sombreamento: ambiente ventilado a uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h).

Tabela 2 – Critério de avaliação para desempenho térmico mínimo

Verão	Zonas 1 a 7	Zona 8
	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
Inverno	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado

$T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius;

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius;

Fonte: Adaptado da norma NBR 15575 (ABNT, 2008)

As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores locais horários da radiação solar, da temperatura e umidade relativa do ar e também pela velocidade predominante do vento. A simulação foi realizada considerando uma cidade representativa de cada uma das oito zonas bioclimáticas, sugeridas pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e os dias de projeto de verão e de inverno. Os dados climáticos foram extraídos no site do programa *EnergyPlus* (DOE, 2008) para todas as zonas bioclimáticas, exceto para a zona bioclimática 5, cujos dados foram extraídos do CPTEC (2009). A partir desses dados foram definidos os dias típicos de verão e inverno, considerando as temperaturas máximas e mínimas dos meses de janeiro e junho, respectivamente. As cidades consideradas na simulação numérica são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Zonas bioclimáticas e respectivas cidades simuladas

ZONA BIOCLIMÁTICA		Latitude	Longitude	Fuso Horário	Altitude
1	Curitiba (PR)	S 25° 31'	W 49° 10'	-3.0 h	908 m
2	Santa Maria (RS)	S 29° 42'	W 53° 42'	-3.0 h	114 m
3	Belo Horizonte (MG)	S 19° 51'	W 43° 57'	-3.0 h	785 m
4	Brasília (DF)	S 15° 52'	W 47° 55'	-3.0 h	1.061 m
5	Iguape (SP)	S 24° 40'	W 47° 32'	-3.0 h	10 m
6	Campo Grande (MS)	S 20° 28'	W 54° 40'	-4.0 h	556 m
7	Porto Nacional (TO)	S 10° 41'	W 48° 24'	-3.0 h	290 m
8	Manaus (AM)	S 3° 7'	W 60° 1'	-4.0 h	72 m

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para efeito da avaliação do desempenho foram analisados os dados obtidos para as zonas

térmicas sala e dormitório, conforme método detalhado na norma NBR 15.575 (ABNT, 2008), de forma a considerar as piores condições de exposição para cada ambiente no dia típico de projeto, ou seja, janela dos dormitórios e salas voltadas para oeste no dia típico de verão e para o sul no dia típico de inverno.

Nas Tabelas 4 a 7 faz-se um resumo dos resultados obtidos considerando-se os parâmetros cor e ventilação para as condições sem e com sombreamento, destacando-se as situações que não atendem ao critério mínimo estabelecido (Tabela 2).

Tabela 4: Condições mínimas conforme exigências da diretriz SINAT (1 ren/h) – Inverno.

INVERNO													
Z. B.	T _{amb}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h	
		Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.
1	12,3	15,2	15,7	15,2	15,6	15,2	15,7	15,2	15,6	15,2	15,7	15,2	15,7
2	15,8	16,5	16,9	16,5	16,8	16,6	16,9	16,5	16,8	16,6	16,9	16,5	16,8
3	16,5	17,1	17,3	17,1	17,3	17,1	17,4	17,1	17,3	17,1	17,4	17,1	17,3
4	15,0	16,5	16,9	16,5	17,0	16,6	16,9	16,5	24,9	16,6	17,0	16,5	16,9
5	17,5	17,5	17,7	17,5	17,7	17,5	17,8	17,5	17,7	17,5	17,8	17,5	17,7

Tabela 5: Condições mínimas conforme exigências da diretriz SINAT (5 ren/h) – Inverno.

INVERNO													
Z. B.	T _{amb}	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.
1	12,3	13,3	13,7	13,3	13,7	13,3	13,8	13,3	13,7	13,3	13,8	13,3	13,8
2	15,8	15,2	15,5	15,2	15,5	15,2	15,5	15,2	15,5	15,3	15,5	15,3	15,5
3	16,5	15,9	16,1	15,9	16,1	15,9	16,1	15,9	16,1	15,9	16,1	15,9	16,1
4	15,0	15,0	15,4	15,0	15,4	15,0	15,4	15,1	15,4	15,1	15,4	15,1	15,4
5	17,5	16,4	16,6	16,4	16,6	16,4	16,6	16,4	16,6	16,4	16,6	16,4	16,6

Observa-se por meio dos resultados obtidos (Tabelas 4 e 5) que o sistema de fechamento vertical utilizado (fechamento externo com transmitância térmica menor em relação ao fechamento interno) apresenta o desempenho térmico mínimo exigido, quando observados as condições de ventilação (1 ren/h), independentemente das cores utilizadas e da condição de sombreamento, no período de inverno.

Tabela 6: Condições mínimas conforme exigências da diretriz SINAT (1 ren/h) – Verão.

VERÃO													
Z. B.	$T_{e,max}$	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 com sombr.; 1 ren/h	
		Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.
1	24,8	24,3	27,6	23,6	25,3	24,8	28,1	23,8	25,1	25,1	28,5	24,1	26,1
2	29,3	26,6	29,7	26,0	27,2	27,0	30,3	26,2	27,7	27,4	30,7	26,4	28,1
3	27,6	25,9	28,9	25,2	26,5	26,2	28,3	25,4	26,9	26,8	29,9	25,7	27,3
4	26,1	24,9	28,0	24,3	26,0	25,2	28,6	24,6	26,0	25,5	29,0	24,8	26,4
5	33,6	29,0	31,7	28,4	29,3	29,5	32,2	28,6	29,7	29,9	32,6	28,9	30,1
6	30,3	27,0	29,8	26,4	27,4	27,4	30,2	26,6	27,8	27,8	30,6	26,8	28,1
7	29,8	26,7	29,2	26,2	27,0	27,0	29,6	26,3	27,2	27,3	29,8	26,4	27,5
8	29,8	27,3	29,3	26,6	27,3	27,7	29,7	26,7	27,7	28,0	30,1	26,9	28,0

Tabela 7: Condições mínimas conforme exigências da diretriz SINAT (5 ren/h) – Verão.

VERÃO													
Z. B.	$T_{e,max}$	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h		Caso 3 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 4 com sombr.; 5 ren/h	
		Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.
1	24,8	24,3	26,7	24,0	24,8	24,5	27,0	24,1	25,1	24,6	27,3	24,3	25,4
2	29,3	27,5	29,5	27,2	27,7	27,7	29,8	27,3	28,0	27,8	30,1	27,5	28,2
3	27,6	26,3	28,6	26,0	26,9	26,5	28,2	26,23	27,2	26,6	29,2	26,3	27,4
4	26,1	25,2	27,4	24,9	25,7	25,4	27,8	25,1	26,0	25,5	28,1	25,2	26,1
5	33,6	30,8	32,6	30,4	30,8	30,9	32,9	30,5	31,0	31,0	33,1	30,6	31,2
6	30,3	28,2	30,0	27,8	28,2	28,3	30,2	27,9	28,5	28,4	30,5	28,0	28,7
7	29,8	27,9	29,6	27,6	28,1	27,9	29,9	27,6	28,3	28,0	30,0	27,7	28,4
8	29,8	28,2	30,0	27,8	28,2	28,3	29,8	27,9	28,4	28,4	30,0	28,0	28,6

Em relação ao período de verão, observa-se pelos resultados obtidos (Tabelas 6 e 7), que somente é atendida a condição de desempenho térmico mínimo exigido pela norma para a condição de cor clara ($\alpha = 0,3$), com sombreamento e taxa de ventilação correspondente a 5 ren/h para todas as zonas climáticas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que a cobertura (telha termo-acústica, tipo sanduíche, com isolamento térmico rígido em poliuretano) e o sistema de fechamentos (externo composto por duas placas cimentícias intermediadas por lã de vidro e interno composto por duas placas de gesso acartonado intermediadas por lã de vidro) utilizados, compatíveis com o sistema

estrutural proposto em pórticos, apresentam o desempenho térmico mínimo exigido, quando observados as condições de ventilação (1 ren/h) independentemente das cores utilizadas, no período de inverno e no caso de verão somente cor clara, com sombreamento e com taxa de ventilação de 5 ren/h.

O emprego de paredes internas com maior transmitância térmica que as paredes externas, como o caso aqui utilizado, produziram uma diminuição na inércia térmica da edificação resultando em algumas situações que não atendem a condição de nível mínimo de desempenho térmico estabelecido pela norma.

Desse modo, fechamentos internos mais leves podem prejudicar a inércia térmica de uma edificação, dependendo das características das paredes externas, da cobertura e do clima local.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Desempenho, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho, 2008.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; TRIBESS, A.. Emprego do programa computacional EnergyPlus na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário. In: Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2011, Ouro Preto. **Proceedings of XXXII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering**, 2011.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F. V.; AQUILINO, M. M. Sustentabilidade e conforto ambiental em edificações. **Tecnhe**, 162:62-65, 2010.

CLARKE, J. A. **Energy simulation in building design**. Bristol: Adam Hilger Ltda, 1985.

CPTEC. Banco de dados climatológicos. Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: nov. 2009.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE L. K.; PEDERSEN, C. O.; WINKELMANN, F. C. EnergyPlus: Energy Simulation Program. **ASHRAE Journal**. Atlanta: ASHRAE, v.42, p. 49-56, 2000.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm>. Acesso em: abr. 2008.

JANSSEN, H.; CARMELIET, J.; HENS, H. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground. **Building and Environment**, n. 39. p. 825-836, 2004.

SILVA, Cristina Evangelista. **Sistema de Cobertura com Pórticos de Estabilização Bidirecionais em Perfis Metálicos de Seção Circular co Costura para Construção Residencial Industrializada**. 2011. Dissertação (Mestrado em Construção Metálicas) - PROPEC, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

SILVA, C. E.; SOUZA, H. A.; ARAÚJO, E. C. Análise computacional de pórticos de aço para equilíbrio bidirecional por elementos finitos. In: Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2011, Ouro Preto. **Proceedings of XXXII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering**, 2011. v. 1. p. 1-11., 2011.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos**. Brasília, 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPEMIG.