



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

ANÁLISE DO MODELO DE ADAPTAÇÃO DA NORMA ALEMÃ ENEV 2007 PARA O CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO PARA A CIDADE DE PORTO ALEGRE, RS, COM BASE EM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O SOFTWARE ENERGY PLUS

Eduardo G. da Cunha (1)

(1) Departamento de Tecnologia da Construção – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Pelotas, Brasil – e-mail: eduardo.grala@ufpel.edu.br

RESUMO

Neste artigo, com base em simulações computacionais fazendo-se uso do software ENERGY PLUS versão 3.1, é analisada a viabilidade de utilização de uma adaptação realizada em 2009 (CUNHA E FRITSCH, 2009) da prescrição normativa de economia de energia alemã EnEV(2007), mais especificamente na definição da necessidade de aquecimento em período frio para uma residência unifamiliar para a cidade de Porto Alegre, RS. O primeiro trabalho desenvolvido em 2009, com base na EnEV(2007), foi caracterizado por um modelo de adaptação do cálculo de calor necessário para o aquecimento do espaço interior, oriundo da manutenção da temperatura interior da edificação constante em período frio, trabalhada na adaptação em três diferentes cenários (17°C, 19°C e 20°C), e em consonância com a NBR 15575(2008), e com a norma DIN 4108-6(2003). Para a adaptação do modelo alemão, foram desenvolvidas simulações, fazendo-se uso de planilhas eletrônicas adaptadas, para uma residência unifamiliar de 85 m², localizada na cidade de Porto Alegre, RS, com dois dormitórios, e com três diferentes configurações da envolvente exterior. Posteriormente, a residência com as diferentes configurações da envolvente foi simulada fazendo-se uso do ENERGY PLUS versão 3.1. Posteriormente, comparou-se os dados provenientes da simulação computacional com os gerados pelas planilhas eletrônicas do modelo de adaptação. A simulação permitiu a verificação da necessidade de revisão dos procedimentos de adaptação do contexto alemão para o brasileiro. Para os meses de junho, julho e agosto as diferenças verificadas entre os resultados do modelo adaptado e do software de simulação de desempenho térmico estiverem muito expressivas. Verifica-se, portanto, a necessidade de readequação da adaptação da norma alemã para o caso da cidade de Porto Alegre.

Palavras-chave: Normas de Eficiência Energética. Cálculo de carga térmica, simulação computacional, ENEV 2007.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Eficiência Energética das Edificações

A eficiência energética tem sido amplamente discutida no meio acadêmico e profissional. O Brasil já iniciou a sua caminhada no sentido da normatização das edificações objetivando um melhor desempenho térmico e, por conseguinte uma melhor eficiência energética. Os primeiros passos concretizados com a NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2008) são o início de uma longa jornada. Além disso, a homologação da versão final em 2009 do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços é um importante passo no sentido da inserção do tema eficiência energética no cenário da construção civil nacional.

Lamberts et al. (2004) caracteriza que um edifício é considerado energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário, considerando para tanto, menor consumo de energia. Dentro deste contexto, uma das formas de avaliação do consumo de energia na edificação é o cálculo da carga térmica de aquecimento e resfriamento. Com base na definição da necessidade de climatização artificial é possível verificar o desempenho energético de diferentes tipologias arquitetônicas. A seguir apresenta-se sucintamente uma metodologia de adaptação da norma de Eficiência Energética alemã EnEV 2007 para o cálculo de carga térmica de aquecimento para período frio desenvolvida em 2009 (CUNHA e FRTISCH, 2009) e analisada neste artigo.

1.2 Apresentação da EnEV 2007

Para entender a prescrição normativa é necessário, inicialmente, compreender as variáveis presentes no balanço energético da edificação. A prescrição normativa define a energia primária máxima anual por unidade de área para as edificações residenciais e não residenciais, apresenta o processo de cálculo e exigências construtivas a serem respeitadas.

A energia primária (Q_p) é caracterizada como energia necessária para manter a ambiência do espaço interior compatível com as condições de conforto prescritos na norma e caracterizadas mais a frente, somada à energia perdida, considerando o funcionamento dos sistemas, mais a energia necessária para o aquecimento da água de consumo, mais as perdas pela ventilação e transmissão, considerando ainda, os ganhos provenientes da radiação solar e do uso do ambiente, somada à energia necessária para o ganho, transformação e transmissão da fonte energética. A equação 6 exemplifica a definição apresentada.

Dentro do contexto da energia primária está presente a necessidade de aquecimento no inverno e de refrigeração no verão. A variável calor necessário para o aquecimento é caracterizada como a energia necessária para manter a temperatura desejada do ar interior no período de inverno (Q_h). A variável energia necessária para o aquecimento de água destina-se ao aquecimento da água de consumo (Q_w). A necessidade de energia final é definida como a soma de Q_w , Q_h e da energia perdida no funcionamento do sistema (aquecimento e manutenção). Dentro do balanço energético estão ainda presentes os ganhos de calor considerando o uso do ambiente, iluminação artificial, equipamentos e a radiação solar direta (Q_i e Q_s). As perdas de calor por transmissão e ventilação são caracterizadas por H_T e H_v . A figura 1 apresenta esquematicamente as variáveis descritas.

1.2.1. Energia final e energia primária

1.2.1.1. Calor necessário para o aquecimento

Neste item é apresentado de forma resumida o processo de cálculo, objetivando possibilitar a compreensão geral da prescrição normativa. A primeira etapa na definição da energia final é o cálculo do calor necessário para manter a ambiência do espaço interior compatível com a prescrição normativa. Para isso utiliza-se o chamado processo de balanço mensal, indicado quando a superfície transparente é inferior a 30% da fachada. A equação 01 caracteriza o balanço mensal, que nada mais é do que a diferença entre as perdas por transmissão e ventilação e os ganhos pelo uso do espaço interior e pela radiação solar.

$$Q_h, H_p = F_{GT} (H_T + H_v) - \eta_{HP} (Q_s + Q_i) \quad (\text{eq.1})$$

Q_h, H_p – necessidade de calor para aquecimento (kWh/a);

F_{GT} - fator grau-dia ($F_{GT}=66$ kWh);

H_T – perdas de calor específicas por transmissão (condução e convecção na envoltória) (W/K);

H_V – perdas de calor pela ventilação (W/K);

η_{HP} – grau de utilização para ganhos térmicos ($\eta_{HP}=0,95$);

Q_S – ganho solar (kWh/a);

Q_i – ganho térmico interno (kWh/a).

As perdas de calor por transmissão (H_T) são calculadas por intermédio da equação 2.

$$H_T = \sum (F_{x,i} \cdot U_i \cdot A_i) + \Delta U_{WB} \cdot A \quad (\text{eq.2})$$

F_x - fator de correção da temperatura (varia de 0,5 a 1 – relacionado às diferentes superfícies da edificação e diferentes temperaturas do contexto exterior ao compartimento);

U_i – coeficiente global de transmissão térmica (W/m²K);

A_i – área da superfície (m²);

ΔU_{WB} – pontes de calor (partes da edificação em contato com o contexto exterior sem isolamento adequado – $\Delta U_{WB} = 0,10$ W/(m²K) sem comprovação, $\Delta U_{WB} = 0,05$ W/(m²K) com comprovação segundo a DIN 4108, parte 2 e $\Delta U_{WB} < 0,05$ W/(m²K) com comprovação detalhada).

As perdas pela ventilação natural (H_V) são caracterizadas pela equação 3.

$$H_V = 0,16 \text{ ou } 0,19 \cdot n \cdot V \quad (\text{eq.3})$$

n – índice de troca de ar ($n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ sem comprovação, $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ com comprovação da estanqueidade do edifício – ventilação da janela (insuflamento e exaustão), $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$ com comprovação da estanqueidade da edificação com exaustão do ar);

V – volume do local (m³).

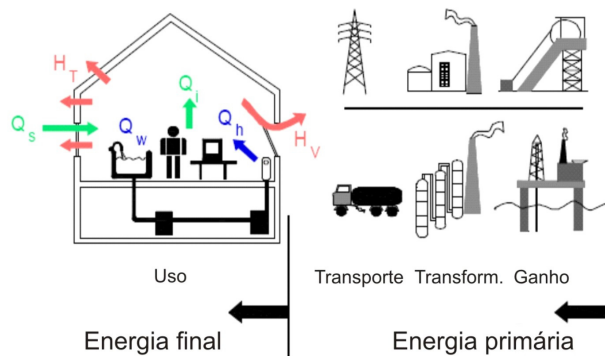


Figura 1 – Variáveis presentes no balanço energético da edificação

Fonte: adaptado e traduzido de Maas (2007)

O limite para a taxa de ventilação natural é de 3 e para ventilação mecânica é de 1,5.

O ganho solar (Q_S) e o ganho pela utilização do espaço são caracterizados pelas equações 4 e 5.

$$Q_S = \sum (I_j \cdot 0,567 \cdot A_{W,i} \cdot g_i) \quad (\text{eq.4})$$

I_j - radiação solar;

- sul: 270 kWh/(m²a); - leste e oeste: 155 kWh/(m²a); - norte: 100 kWh/(m²a);

- telhado (inclinação < 30°: 225 kWh/(m²a));

$A_{W,i}$ – área da janela (m²);

g_i – fator solar do vidro.

$$Q_i = 22 \cdot A_N \quad (\text{eq.5})$$

A_N – área útil da edificação (m²).

Com base na definição do calor necessário para o aquecimento dos espaços interiores é possível calcular o calor necessário para o aquecimento da água de consumo, como também a necessidade de energia primária, caracterizada na equação 6.

$$Q_P = (Q_h + Q_{tw}) \cdot e_p \quad (\text{eq.6})$$

Q_P – necessidade de energia primária (kWh/m²a);

Q_h – necessidade de calor de aquecimento (kWh/a);

Q_{tw} - necessidade de calor para água quente de consumo ($Q_{tw} = 12,5$ kWh/m²a);

e_p – número empregado para o (coeficiente) equipamento.

Existem três possibilidades para calcular a energia primária, considerando neste momento a influência dos equipamentos no processo de cálculo: processo com diagrama, com tabela e completo. O processo com diagrama utiliza um valor padrão para analisar a influência dos equipamentos e tubulações no processo; o com a tabela possibilita a utilização de alguns dados do fabricante – produto padrão; já o processo completo permite a utilização de todos os dados do equipamento segundo o fabricante (geração de calor, tamanho das tubulações,...). De posse da área útil a ser aquecida, conjuntamente com a necessidade de calor para o aquecimento do espaço interior, é possível determinar o coeficiente dos equipamentos, e, por conseguinte, determinar o valor da necessidade de energia primária. O valor encontrado é comparado com o valor máximo permissível para determinada edificação com compactidade “x”, (relação A/V – área sobre volume).

É importante ressaltar que a prescrição normativa considera ainda, para o período de verão, um adicional para o cálculo do valor da necessidade de energia primária. Para as edificações residenciais com mais de 30% da área da fachada com superfície transparente é necessária também a comprovação detalhada do desempenho no verão. Para as demais edificações residenciais a energia primária necessária varia de 2,7 a 18,9 kWh/m². Considera-se para efeitos de cálculo o valor de 16,2 kWh/m² como necessidade de energia primária anual para o resfriamento do ar interior no período de verão.

Os princípios básicos de cálculo da prescrição de eficiência energética para edifícios residenciais são definidos pelas normas DIN 4108 parte 6 (2003), assim como DIN 4701 – 10 (2001) e DIN 4701 – 12 (2003). De acordo com a DIN 4108 parte 6 (2003) são calculadas as perdas por ventilação e transmissão, como também os ganhos solares passivos e os devido às fontes internas de calor. Desta análise resulta a necessidade de aquecimento (Qh). A necessidade de aquecimento para a água potável é fixada em 12,5 kWh/m².

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a metodologia desenvolvida em 2009 por Cunha e Fritsch de adaptação da norma alemã EnEV 2007 para o cálculo simplificado de carga térmica de aquecimento para a cidade de Porto Alegre, RS, com base em simulações computacionais com o software EnergyPlus.

3 METODOLOGIA

O problema de pesquisa é definido pela seguinte questão: é possível utilizar o modelo simplificado de cálculo de carga térmica de aquecimento adaptado do contexto alemão para o caso de Porto Alegre?

Nesse contexto, a pesquisa foi elaborada em quatro etapas, caracterizadas a seguir:

- 1- Adaptação do modelo simplificado de cálculo de carga térmica de aquecimento da norma alemã EnEV 2007 para o caso de Porto Alegre (CUNHA e FRITSCH, 2009);
- 2- Cálculo da carga térmica de aquecimento para uma residência localizada em Porto Alegre com 85 m², considerando três configurações da envolvente no que diz respeito ao isolamento térmico (CUNHA e FRITSCH, 2009);
- 3- Cálculo da carga térmica de aquecimento para uma residência localizada em Porto Alegre com 85 m² com base na utilização do software Energy Plus versão 3.1 considerando três configurações da envolvente no que diz respeito ao isolamento térmico;
- 4- Comparação dos resultados e análise da viabilidade de utilização do modelo simplificado adaptado para o contexto de Porto Alegre, RS, para o cálculo de carga térmica de aquecimento.

Na primeira etapa foi determinada a temperatura interna limite, necessária para o cálculo do número de graus-dia e graus-hora. Ainda como processo de adaptação foram calculados o número de graus-hora, graus-dia, as irradiâncias médias mensais, como também as variáveis para determinação das perdas por transmissão e ventilação.

Na segunda etapa foi calculada a carga térmica de aquecimento com base no modelo simplificado desenvolvido. Foram determinadas três configurações do envelope da residência quanto à resistência térmica para a realização das simulações, caracterizadas na tabela 1. Com base em três diferentes

cenários quanto à temperatura interna a ser mantida (17°C, 19°C e 20°C), foi determinada a carga térmica de aquecimento. A temperatura de 17°C foi definida com base na NBR 15575 (nível superior – inverno), já a temperatura de 20°C acordando com a DIN 4108-6 (temperatura mínima interior no inverno). A temperatura de 19°C foi definida como intermediária entre a NBR 15575 e DIN 4108-6.

Tabela 1– Características da envolvente das configurações testadas

Configuração 01 – menor isolamento térmico, Configuração 03 – maior isolamento térmico						
Envolvente	Descrição C01	Descrição C02	Descrição C03	Coeficiente global de transmissão térmica (W/m ² °C)		
				C01	C02	C03
Paredes externas	Parede em tijolo maciço, 10 cm	Parede em tijolo 6 furos, com 26 cm	Parede em tijolo 6 furos, dupla, 46 cm	3,70	1,52	0,98
Telhado	Telha cerâmica e laje de concreto, 10 cm	Telha cerâmica e forro de madeira (1 cm)	Telha cerâmica e laje de concreto, 10 cm, 5 cm lã de vidro sobre a laje	1,84	1,84	0,62
Piso	Concreto armado simples	Em concreto com 1 cm de madeira	Em concreto com 1 cm de madeira	5,08	1,81	1,81
Janela	Vidro simples 3 mm	Vidro simples 3 mm	Vidro duplo 3 mm + 3mm	5,30	5,30	3,36
Porta externa	Em madeira maciça, 5 cm	Em madeira maciça, 5 cm	Em madeira maciça, 5 cm	1,9	1,9	1,9

Na terceira etapa foi simulado o desempenho térmico da edificação com base na utilização do software Energy Plus. De posse do arquivo climático de Porto Alegre, RS, como também das características construtivas dos três sistemas verificou-se a carga térmica de aquecimento para a cidade de Porto Alegre, RS. Os dados encontrados para o mês de junho sugeriram problemas no arquivo climático de Porto Alegre. As cargas térmicas para o mês de junho sempre estiveram abaixo das cargas térmicas de maio e julho. Considerando que as normais climatológicas apontam para o mês de junho como o mais rigoroso, os dados verificados junto à simulação foram melhor analisados com base na observação da simulação com um segundo arquivo climático do interior do RS. Nesse sentido, utilizou-se também o arquivo climático de Passo Fundo, RS, com o intuito de analisar o comportamento das diferentes configurações nos meses de maio e julho.

Na quarta e última etapa foram comparados os valores das cargas térmicas de aquecimento para as três configurações providas da análise junto ao software Energy Plus versão 3.1.

3.1 Modelo de adaptação de cálculo de carga térmica de aquecimento com base na EnEV 2007

3.1.1. Determinação das temperaturas internas limite

Conforme caracterizada na metodologia do trabalho foram consideradas três diferentes temperaturas internas mínimas limite nas simulações. As mesmas estão próximas e também dentro da zona de conforto – 17°C (NBR 15575), 19°C e 20°C (DIN 4108-6). Para cada uma das três situações simuladas foi definida a temperatura mínima limite, a qual é utilizada para a definição do número graus-dia, e posteriormente, o número de dias frios, e a necessidade de aquecimento (Qh), conforme Tabela 2. Ou seja, considerando as relações da resistência da envolvente da edificação com a área (intervalos “h”), como também os ganhos térmicos, conforme Equação 3, verificam-se as novas temperaturas internas de referência para a determinação da variável graus-dia. Nesse sentido, na Tabela 2 são apresentados os novos valores de referência para as temperaturas internas considerando

os ganhos e perdas térmicas das diferentes relações entre a resistência da envolvente exterior e a área da edificação.

Tabela 2 – Cálculo das temperaturas mínimas limite (T_{ML})

Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 17^{\circ}\text{C}$ (NBR)			Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 19^{\circ}\text{C}$			Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 20^{\circ}\text{C}$ (DIN)		
H	5	15,00	H	5	17,00	h	5	18,00
T_{ML}			T_{ML}			T_{ML}		
14,77			16,77			17,77		
H	7	15,00	H	7	17,00	h	7	18,00
T_{ML}			T_{ML}			T_{ML}		
15,41			17,41			18,41		
H	9	16,00	H	9	18,00	h	9	19,00
T_{ML}			T_{ML}			T_{ML}		
15,76			17,76			18,76		
H	11	16,00	H	11	18,00	h	11	19,00
T_{ML}			T_{ML}			T_{ML}		
15,99			17,99			18,99		

3.1.2. Variáveis adaptadas para o caso de Porto Alegre

Com base no entendimento das variáveis envolvidas, como também na utilização dos dados de Goulart et al. (1998), foram gerados os dados para a cidade de Porto Alegre, com o objetivo de calcular a necessidade de aquecimento para o período de inverno. A Tabela 3 apresenta os dados calculados para o mês de junho. Os dados foram determinados para os 12 meses do ano.

Tabela 3 – Determinação dos dados fonte para a caracterização da necessidade de aquecimento

Dados climáticos padrão - mês de junho								
Perdas térmicas relacionadas à área útil e temperatura	$h = (HT + HV) / AN$	≤ 5	> 5 (9)	≤ 5	> 5 (9)	≤ 5	≤ 5 (9)	$W/(m^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
Temperatura Limite T_{ML}	$\Delta H_q =$	15 $^{\circ}\text{C}$	16 $^{\circ}\text{C}$	17 $^{\circ}\text{C}$	18 $^{\circ}\text{C}$	18 $^{\circ}\text{C}$	19 $^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Duração do período de aquec.	$t_{HP} =$	14	17	21	23	23	25	d/m
Número graus-dia	$G_t =$	44,26	61,72	83,11	106,35	106,35	131,43	Celsius d/m
correspondente Fator número graus-dia	$F_{GT} =$	1,06	1,48	1,99	2,55	2,55	3,15	$\text{k}^{\circ}\text{Ch/m}$
considerando o resfriamento noturno	$\Delta H_q \cdot F_{GT} = 0,95 \cdot F_{GT} =$	1,01	1,41	1,89	2,42	2,42	3,00	$\text{k}^{\circ}\text{Ch/m}$
Radiação solar no período de aquecimento								
Sudeste até sudoeste		6,1	7,4	13,0	13,1	13,1	15,1	$\text{KWh/m}^2\text{m}$
Noroeste até Nordeste		91,9	111,6	161,3	159,0	159,0	182,9	$\text{KWh/m}^2\text{m}$
Outras Orientações		32,7	39,7	75,1	76,2	76,2	87,7	$\text{KWh/m}^2\text{m}$
Superfícies de telhado com orientação $< 30^{\circ}$		66,9	81,3	153,2	157,4	157,4	181,0	$\text{KWh/m}^2\text{m}$
		$\theta = 17^{\circ}\text{C}$ NBR 15575		$\theta = 19^{\circ}\text{C}$		$\theta = 20^{\circ}\text{C}$ DIN 4108		

É importante salientar que a ênfase dada à adaptação neste primeiro trabalho vincula-se às variáveis climáticas. Para o ajuste das perdas térmicas por transmissão foi necessária a adaptação da equação de referência com base na consideração das temperaturas do solo, referenciadas por Bittencourt e Cândida (2008), para o contexto do sul do país.

Para o caso das perdas por ventilação foi ajustada a equação alemã com base na consideração de uma renovação por hora do ar interior, referenciada pela NBR 15575 (2008), por Viegas (1996) e Toledo (1999). No que diz respeito aos ganhos térmicos provenientes da radiação solar, com base na utilização do software Luz do Sol, Roriz (1995), foram determinadas as irradiâncias diárias para a latitude 30° .

3.2 Cálculo da carga térmica de aquecimento com base no modelo de adaptação

Na Tabela 4, observa-se a energia necessária mensalmente para o aquecimento das três configurações, considerando a manutenção da temperatura interna em 17°C . A configuração 3 com a envolvente possuindo uma maior resistência térmica apresentou uma menor necessidade de aquecimento, chegando Q_h a respectivamente 240,58 kWh/ano, 727,38 kWh/ano e 1289,07 kWh/ano para a

manutenção das temperaturas internas em 17°C, 19°C e 20°C respectivamente. Esses resultados indicaram uma necessidade de aquecimento por unidade de área, Q_h' , na faixa de 3,3 kWh/m²ano, 9,9 kWh/m²ano e 17,6 kWh/m²ano respectivamente.

Observando os Gráficos 1a e 1b verificam-se as maiores necessidades de energia para o aquecimento do espaço interior nos meses de junho e julho, o que é previsível, considerando a análise prévia das temperaturas médias. Para a configuração 1 é necessário o aquecimento do espaço interior entre os meses de abril e outubro. Já para a configuração 2, o período de aquecimento é um pouco menor, entre maio e agosto. Para a configuração 3 o período de aquecimento compreende apenas os meses de junho e julho. Ou seja, para a configuração 1 seria necessário o aquecimento, considerando a manutenção da temperatura interior em 17°C, em praticamente 7 meses do ano, enquanto que para a configuração 3, esse período seria de apenas de 2 meses. Um aspecto marcante na análise é a diferença entre a necessidade de aquecimento para a configuração 1, muito recorrente em habitações de interesse social, com paredes de tijolo maciço com 10 cm de espessura, e a configuração 3, com uma maior inércia térmica e de melhor padrão construtivo, chegando próximo dos 1800% de economia.

Tabela 4 – apresentação da aplicação do modelo adaptado em três diferentes configurações da envolvente

Aspectos analisados	CONFIGURAÇÃO 01			CONFIGURAÇÃO 02			CONFIGURAÇÃO 03		
H _T (W/°C)	790,49			484,28			282,21		
H _V (W/°C)	62,42			62,42			62,42		
h (W/m ² °C)	11,61			7,44			4,69		
Q _i (kWh/mês)	134,34			134,34			134,34		
Necessidade de calor de aquecimento para as 3 configurações kWh/ano - Q _h									
Temperatura x características da envolvente	17°C	19°C	20°C	17°C	19°C	20°C	17°C	19°C	20°C
(Q _h) h < 5 (kWh/ano) Configuração 03	-	-	-	-	-	-	240,58	727,38	1289,07
(Q _h) h > 5 (kWh/ano) Configurações 01 e 02	4661,96	8842,41	11573,14	1858,94	4091,42	5595,60	-	-	-
Necessidade de calor de aquecimento para as 3 configurações - kWh/m ² ano - Q _h '									
Temperatura x características da envolvente	17°C	19°C	20°C	17°C	19°C	20°C	17°C	19°C	20°C
(Q _h ')h < 5 (kWh/m ² ano) Configuração 03	-	-	-	-	-	-	3,3	9,9	17,6
(Q _h ')h > 5 (kWh/m ² ano) Configurações 01 e 02	63,50	120,4	157,6	25,3	55,7	76,2	-	-	-

3.3 Cálculo da carga térmica de aquecimento com base na utilização do software Energy Plus versão 3.1

3.3.1 Definição do modelo computacional – arquivo climático e zonas térmicas

Inicialmente, foram definidas as zonas térmicas do modelo. A residência foi modelada em sete zonas térmicas, cada uma representando os seguintes ambientes: dormitório casal, dormitório solteiro, área de serviço, cozinha, banheiro, sala de estar e jantar, corredor e área do reservatório de água potável, acima da cozinha. As figuras 1a e 1b ilustram a planta esquemática do modelo, com suas dimensões, e a perspectiva volumétrica. Este modelo inicial foi construído com todas as coberturas horizontais, de forma a simplificar a entrada de dados. O arquivo climático utilizado, inicialmente, foi o disponibilizado no site do LABEEE para a cidade de Porto Alegre, RS. Posteriormente, foi também utilizado o arquivo climático de Passo Fundo, RS, para a verificação das incoerências apresentadas nos resultados do mês de junho para o arquivo climático de Porto Alegre. Para o período de inverno, acordando com a NBR 15575, determinou-se 1000W de carga interna de calor. Considerou-se que as aberturas estariam fechadas ao longo das simulações. Considerou-se uma taxa de uma renovação do ar por hora (1 ren/hora) proveniente da infiltração em portas e janelas.

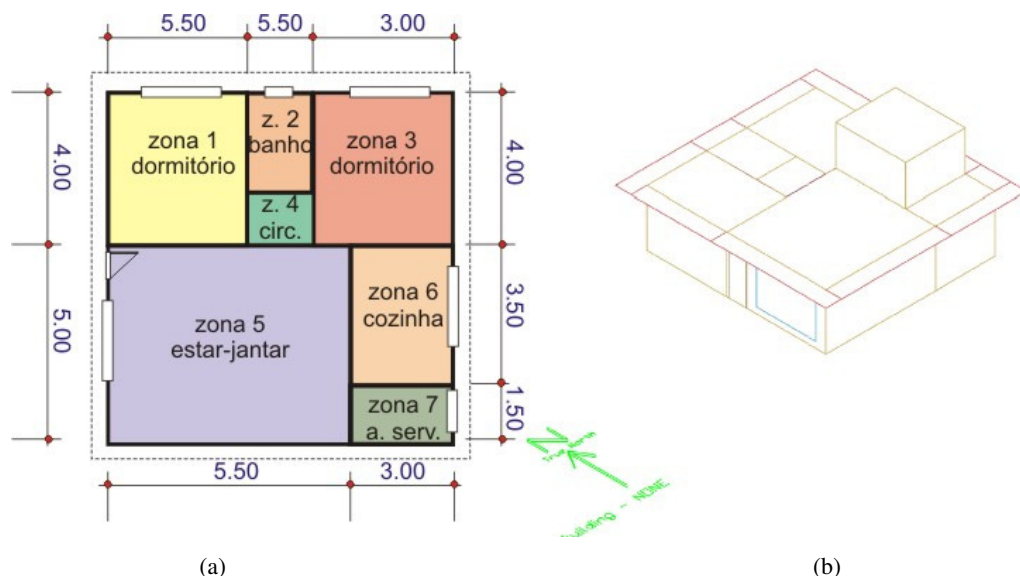


Figura 1 – a) Definição das zonas do modelo e b) perspectiva volumétrica da edificação com simplificação do telhado

3.3.2 Definição do modelo computacional – caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nas três configurações utilizadas são caracterizados nas tabelas 5 e 6, acordando com a NBR 15220. Com relação aos ganhos térmicos provenientes da ocupação considerou-se a edificação sem usuários, sem iluminação e equipamentos.

Tabela 5 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Resistência térmica [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
Manta de lã de rocha	0,44
Câmara de ar com superfície de alta emissividade, espessura 6,0 cm - fluxo descendente	0,21
Câmara de ar com superfície de alta emissividade, espessura 6,0 cm - fluxo ascendente	0,14
Câmara de ar com superfície de baixa emissividade, espessura 4,0 cm - fluxo descendente	0,43
Câmara de ar com superfície de baixa emissividade, espessura 4,0 cm - fluxo ascendente	0,25

Tabela 6 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]	Densidade [kg/m^3]	Calor específico [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]	Absortância
Argamassa reboco	1,15	2100	1000	0,20
Concreto armado maciço	1,75	2400	1000	0,30
Madeira para porta e forro	0,15	500	1340	0,20
Telha cerâmica	1,05	2000	920	0,40
Tijolo cerâmico maciço, com argamassa de assentamento	1,05	1800	920	0,30
Tijolo cerâmico furado, com argamassa de assentamento	0,90	1400	920	0,30
Vidro comum	2500	1,00	804	

O dado de saída analisado na simulação foi a carga térmica de aquecimento necessária para manutenção das temperaturas de setpoint (17°C , 19°C e 20°C) para as configurações 1, 2 e 3.

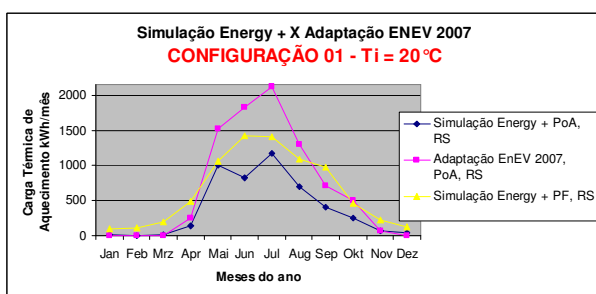
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Foi observado que a simulação da necessidade de carga térmica de aquecimento baseada na adaptação da norma alemã EnEV 2007 está superdimensionada para edificações com baixo isolamento térmico e subdimensionada para edificações com alto. A simulação com o software Energy Plus permitiu a verificação da necessidade de revisão dos procedimentos de adaptação do contexto alemão para o

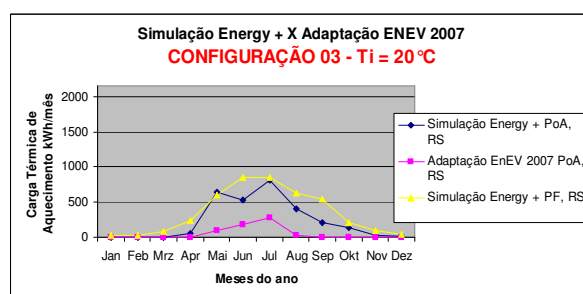
contexto brasileiro. Os intervalos de perdas unitárias por transmissão utilizados para a determinação da temperatura limite mínima, que por sua vez, é referencial para a determinação do número de graus-hora e dia devem ser revistos.

Para as temperaturas internas de 17°C, 19°C e 20°C, para as configurações 1 e 2, nos meses de junho, julho e agosto as diferenças verificadas entre os resultados do modelo adaptado e do software de simulação de desempenho térmico estiveram muito expressivas, chegando em alguns casos, como no mês de julho, pelo menos ao dobro do valor de referência. Já para o caso da configuração 3 ocorreu o inverso, ou seja, os dados referentes ao resultado das simulações com base no modelo alemão adaptado estiverem subdimensionados, chegando em algumas vezes a 1/3 do valor de referência. Com base na análise desses dados verifica-se a necessidade de readequação da adaptação da norma alemã para o caso da cidade de Porto Alegre, RS. Conforme colocado, inicialmente, a readequação passa, além da definição dos intervalos de perdas unitárias por transmissão, pela redefinição, das irradiâncias médias mensais, da constante da equação dos ganhos térmicos decorrentes da infiltração, da duração do período de aquecimento, e do número graus-dia.

Um dado importante também a ser destacado é a incoerência dos valores dos ganhos térmicos, considerando as simulações com o software Energy Plus correspondentes ao mês de junho. A carga térmica de aquecimento no mês de junho foi inferior a dos meses de maio, julho e agosto, o que num primeiro momento não é coerente com base na análise do clima de Porto Alegre. Os dados observados em Goulart (1998, p.178) apontam para o mês de junho, considerando a temperatura interna em 17°C, 92,1 graus-dia e 2.597,1 graus-hora. Já para os meses de julho e agosto respectivamente os valores são 101,5, 76,9, 2.876,6 e 2.318,2. Considerando ainda o solstício de inverno no dia 21 de junho, os resultados verificados da menor carga térmica de aquecimento demonstram-se incoerentes, apontando para problemas no arquivo climático de Porto Alegre, RS. Um outro aspecto que reforça a análise são os resultados das simulações para a cidade de Passo Fundo, latitude 28° 15' 46", elevada em média 746 m acima do nível do mar, localizada no norte do estado do RS, conforme gráficos 1 e 2.



(a)

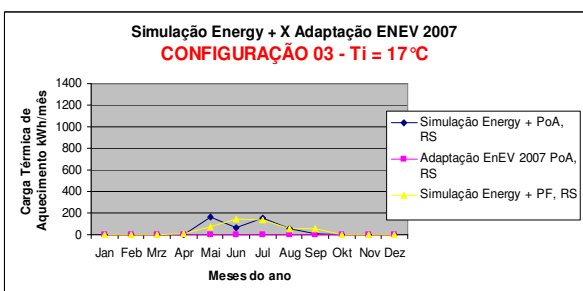
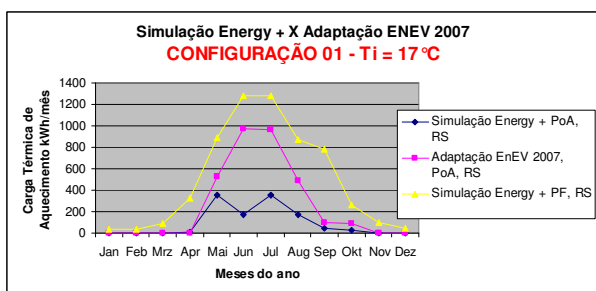


(b)

Gráfico 1 – a) Resultado das simulações, configuração 1, temperatura interna de 20°C e b) configuração 3, temperatura interna de 20°C

Os resultados apontaram para uma carga térmica de aquecimento superior, de certa forma regular, a de Porto Alegre, RS, com um destaque para a incoerência do resultado do mês de junho.

Como próxima etapa de trabalho no que diz respeito à continuidade foi prevista a readequação do modelo adaptativo desenvolvido a partir da norma alemã EnEV 2007 para o cálculo de carga térmica de aquecimento para a cidade de Porto Alegre, RS.



(a)

(b)

Gráfico 2 – a) Resultado das simulações, configuração 1, temperatura interna de 17°C, e b) Configuração 3, temperatura interna de 17°C

5 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15575 - **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro, 2008.
- BITTENCOURT, Leonardo. CÂNDIDO, Cristina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 3ed., 2008.
- CUNHA, E. G.; FRITSCH, Rodrigo Carlos. **Determinação da necessidade de aquecimento de edificações residenciais na cidade de porto alegre, RS, com base no processo simplificado de estimativa da norma alemã ENEV 2007**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009.
- DIN V 4108-6 - **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarf**. Berlin: Beuth, 2003.
- DIN V 4701-10 – **Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten**. Berlin: Beuth, 2003.
- Goulart, S. V. G., Lamberts, R. e Firmino, S., **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: UFSC, 1998.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MAAS, Anton. Vorlesungsskript. **Die Energieeinsparungsverordnung EnEV 2007 – Wohngebäude**. Kassel, 2007.
- RORIZ, Maurício. **Software Luz do Sol**. São Carlos, São Paulo, 1995.
- TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação natural das habitações**. Maceió: EDUFAL, 1999.
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden** (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24.7.2007, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2007, Teil 1, Nr. 34, S. 1519-1563. 2007.
- VIEGAS, João Carlos. **Ventilação Natural de Edifícios de Habitação**. Lisboa: LNEC, 2 ed, 1996.

6 AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer ao CNPq pelo apoio à realização de parte da pesquisa.