

DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE PROJETO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR COMPARANDO OS RESULTADOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS PRESCRITIVO E DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R

Juliana Al-Alam Pouey⁽¹⁾; Mariane Pinto Brandalise⁽²⁾; Antonio César Silveira Baptista da Silva⁽³⁾

(1) UFPel, e-mail: julianapouey@hotmail.com

(2) UFPel, e-mail: marianebrandalise@yahoo.com.br

(3) UFPel, e-mail: acsbs@ufpel.edu.br

Resumo

No presente artigo foi realizada a avaliação da eficiência energética da envoltória, de um projeto de residência unifamiliar por ambos os métodos possíveis pelo RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (2012), o método prescritivo, que é estabelecido por meio de equações de regressão múltipla de acordo com a zona bioclimática em que localiza-se o projeto, e o método por simulação computacional, onde são especificados parâmetros para modelagem. O objetivo principal é comparar os resultados e avaliar congruências e possíveis discrepâncias entre os dois métodos do Regulamento. A metodologia de avaliação das condições de conforto do RTQ-R utiliza os indicadores de graus-hora de resfriamento (GH_R) dos ambientes de permanência prolongada para a edificação naturalmente ventilada resultando em um equivalente numérico de resfriamento. Utiliza, ainda, o consumo relativo para aquecimento (C_A) dos ambientes de permanência prolongada, em se tratando da edificação condicionada artificialmente, que resulta no equivalente numérico de aquecimento. Estes equivalentes numéricos, de resfriamento e de aquecimento, compõem o equivalente numérico da envoltória. Tendo em vista que estes parâmetros de avaliação são os mesmos tanto para o método prescritivo como para o de simulação, é possível uma comparação direta dos valores de graus-hora e consumo relativo para aquecimento do projeto. Na comparação entre os dois métodos, observou-se um desempenho inferior da envoltória quando avaliada pelo método prescritivo, obtendo-se Nível B, enquanto que por simulação a envoltória atingiu Nível A de eficiência energética. A principal discrepância se dá no cálculo de graus-hora de resfriamento, constatação que pode contribuir para o aprimoramento futuro do RTQ-R para avaliação de eficiência energética de residências.

Palavras-chave: RTQ-R, eficiência energética, simulação computacional

Abstract

Herein we evaluated the energy efficiency of the envelope of a single-family residence project by both methods possible by RTQ-R - Technical Regulation on Quality Level for Energy Efficiency of Residential Buildings (2012), the prescriptive method, that is established through multiple regression equations according to bioclimatic zone in which the project is located, and the method by computer simulation, where you specify parameters for modeling. The main objective is to compare the results and evaluate possible congruencies and discrepancies between the two methods of Regulation. The methodology for the evaluation of comfort conditions of RTQ-R uses the indicators of cooling degree-hours (GH_R) environments for prolonged erection naturally ventilated resulting in a numerical equivalent cooling. Also uses the relative consumption for heating (C_A) environments prolonged, in the case of artificially conditioned building, which results in numerical equivalent heating. These

numerical equivalents, cooling and heating, make up the numeric equivalent of the envelope. Given that these parameters are the same for both the prescriptive method as for the simulation, it is possible a direct comparison of the values of degree-hour and relative consumption for heating project. In comparing the two methods was observed underperformed the envelope when evaluated by prescriptive, obtaining Level B, while for the simulation envelope reached the level of energy efficiency. The main discrepancy occurs in the calculation of degree-hour of cooling, a finding which may contribute to the improvement of future RTQ-R to assess the energy efficiency of residential.

Keywords: RTQ-R, energy efficiency, computational simulation

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros programas governamentais e legislações específicas que buscavam a eficiência energética em edificações surgiram na década de 70 na Europa, na França e Alemanha, mais especificamente, e nos Estados Unidos.

No Brasil, as iniciativas neste sentido demoraram a iniciar, mas nos últimos anos a quantidade de ações e regulamentações na área demonstram que o país busca recuperar o tempo perdido.

As edificações são responsáveis por mais de 45% do consumo de energia elétrica no país, sendo 23,8% consumido pelas edificações residenciais e outros 23,1% na soma entre os edifícios comerciais e públicos (BEN, 2011). Neste sentido, é crescente a discussão sobre o desempenho termoenergético de edificações, tanto no setor residencial, quanto no comercial e público.

Alguns dos maiores avanços na área da eficiência energética de edificações no país foram as publicações do RTQ-C - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, em 2009, e do RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, em 2010. Estes regulamentos visam à busca de uma produção arquitetônica mais eficiente energeticamente, com estimativa de até 50% de economia da energia gasta nas edificações.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (2012), recentemente atualizado pela portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012, é o mais recente dos regulamentos de eficiência energética de edificações, e possui poucos projetos avaliados no país, principalmente pelo método de simulação, por isso a importância da aplicação prática e comparação de resultados.

O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Esta pode ser concedida para o projeto, avaliado pelo método prescritivo ou por simulação computacional. No RTQ-R são avaliados a envoltória e o sistema de aquecimento de água das unidades habitacionais, bem como os sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente artigo é comparar os resultados e avaliar congruências e possíveis discrepâncias entre os dois métodos de avaliação do nível de eficiência energética da envoltória do RTQ-R para edificação naturalmente ventilada, o método prescritivo e o método de simulação.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em avaliar o nível de eficiência energética da envoltória de uma residência unifamiliar obtido, através do método prescritivo e do método de simulação, presentes no RTQ-R.

Posteriormente, baseando-se nos resultados alcançados, estes foram comparados, tendo em vista que estes parâmetros de avaliação são os mesmos tanto para o método prescritivo como para o de simulação, é possível uma comparação direta dos valores de graus-hora e consumo relativo para aquecimento do projeto.

3.1. Apresentação do Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico da residência unifamiliar, o qual foi utilizado para avaliação, foi proposto a partir de recomendações bioclimáticas para as características da cidade de Pelotas-RS, buscando ao máximo o conforto por meios passivos para os usuários e, conseqüentemente, a máxima eficiência energética da edificação.

A seguir, a Figura 1 mostra as plantas baixas, a Figura 2 apresenta o corte da edificação, demonstrando suas estratégias bioclimáticas para o inverno e para o verão respectivamente. Por fim, a Figura 3 apresenta as perspectivas noroeste e sudoeste do projeto arquitetônico avaliado.

Figura 1 - Planta Baixa do pavimento térreo e pavimento superior do projeto

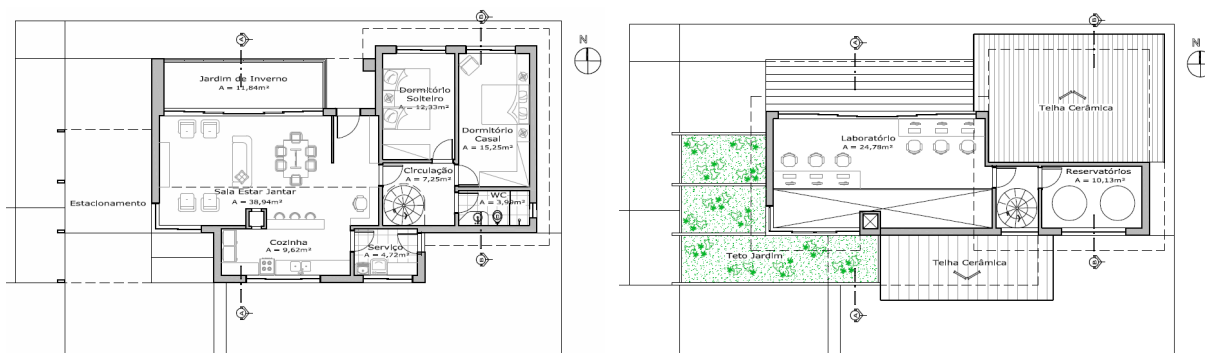


Figura 2 – Cortes do projeto (inverno e verão)

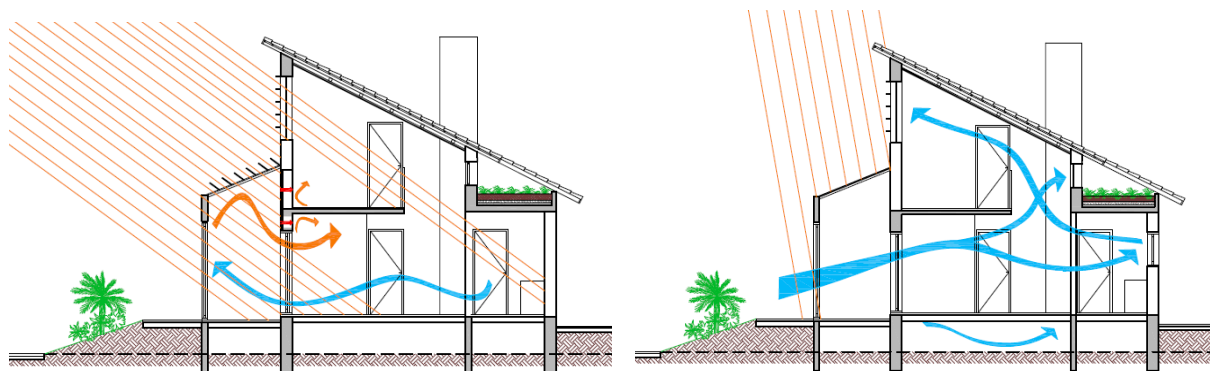
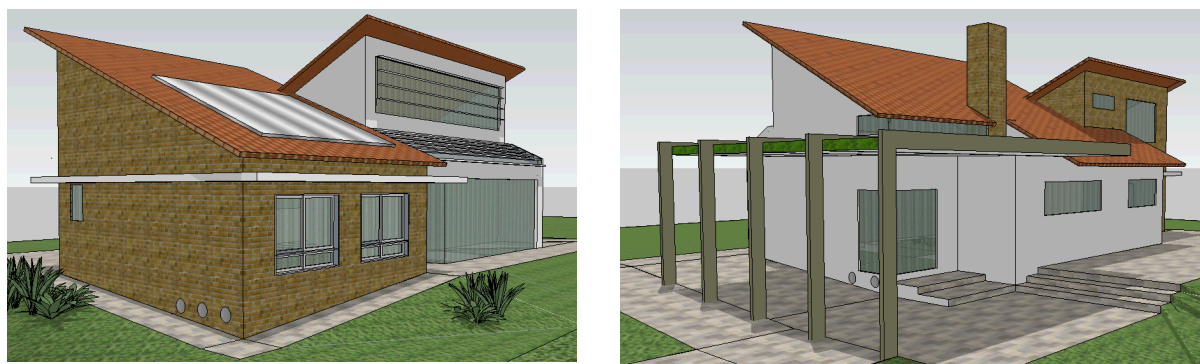


Figura 3 – Perspectiva nordeste e sudoeste do projeto



3.2. Apresentação dos parâmetros de Avaliação da Eficiência Energética da Envoltória segundo o RTQ-R

O RTQ-R (2012) visa classificar os edifícios de acordo com cinco níveis, de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente). Esta classificação pode ser realizada pela avaliação da Eficiência Energética da Envoltória (EqNumEnv) pelo Método Prescritivo e pelo Método de Simulação.

Em ambos os métodos, o EqNumEnv é calculado a partir da determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento (EqNumEnv_{RESFR}) e aquecimento (EqNumEnv_A) e definido por uma equação, de acordo com a zona bioclimática (ZB) do projeto. No caso da ZB 2 a equação é apresentada na Equação 01, a seguir.

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}} + 0,56 \times \text{EqNumEnv}_A \quad [\text{Eq. 01}]$$

Em tal equação, o EqNumEnv_{Resfr} é obtido por meio do cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada avaliado e ponderado pela área útil do ambiente, através da sua equação para a zona bioclimática considerada. Da mesma forma, o EqNumEnv_A é obtido por meio do cálculo do consumo de energia para aquecimento (C_A).

O RTQ-R (2012) fornece o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento a partir dos intervalos de GHR, e de aquecimento a partir dos intervalos de C_A apresentados na Tabela 01 e Tabela 02, respectivamente, abaixo:

Tabela 01: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb _{Resfr}	Condição
A	5	GHR ≤ 2.310
B	4	2.310 < GHR ≤ 4.396
C	3	4.396 < GHR ≤ 6.481
D	2	6.481 < GHR ≤ 8.567
E	1	GHR > 8.567

Fonte: (Adaptado de RTQ-R, 2012)

Tabela 02: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb _A	Condição
A	5	C _A ≤ 15,591
B	4	15,591 < C _A ≤ 31,182
C	3	31,182 < C _A ≤ 46,772
D	2	46,772 < C _A ≤ 62,363
E	1	C _A > 62,363

Fonte: (Adaptado de RTQ-R, 2012)

Após encontrar a pontuação obtida para os equivalentes numéricos de aquecimento e resfriamento, obtem-se a classificação do nível de eficiência energética da edificação, apresentada na Tabela 03, a seguir.

Tabela 03: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Condição	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: (Adaptado de RTQ-R, 2012)

3.2.1 Determinação da Eficiência da Envoltória pelo Método Prescritivo

Neste método, o desempenho térmico da envoltória é determinado por meio de equações de regressão múltipla, de acordo com a zona bioclimática em que o projeto está localizado. Uma equação para o cálculo do GH_R e outra para o do C_A .

3.2.2 Determinação da Eficiência da Envoltória pelo Método de Simulação

Neste método, o desempenho da envoltória é determinado por meio de simulação computacional, onde modela-se a geometria da edificação a ser avaliada de acordo com os parâmetros especificados pelo RTQ-R. São eles: modelagem e controle do sistema de ventilação natural; taxas de infiltração de ar; padrão de ocupação; atividade; cargas internas de equipamentos; padrão de uso da iluminação; temperatura do solo.

É realizada a simulação da edificação naturalmente ventilada para obtenção do GH_R , e da edificação condicionada artificialmente para obtenção do C_A , e, posteriormente, estes resultados de desempenho do projeto são comparados com os valores de referência do RTQ-R.

Segundo o pré-requisito específico do arquivo climático do método de simulação do RTQ-R (2012), os arquivos climáticos utilizados para simulações devem ser os disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou os publicados no sítio do Procel Info, em formatos como TRY e TMY, e devem fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação.

Tal pré-requisito define, ainda, que os dados climáticos devem ser representativos da zona bioclimática de localização do projeto avaliado. Tendo em vista que Pelotas ainda não possui um TRY ou TMY, utilizou-se os dados climáticos do TMY de Santa Maria, representativo da zona bioclimática 2, a qual Pelotas está inserida.

3.3. Apresentação dos Resultados da Avaliação pelo Método Prescritivo

A Figura 4, a seguir, apresenta as variáveis obtidas em cada ambiente de permanência prolongada do projeto, para serem inseridas no cálculo das equações do método prescritivo que resultam nos valores de GH_R e CA .

Figura 4 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e CA

Zona Bioclimática	ZB	ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Nome do Ambiente	Sala	Dormit. Solteiro	Dormit. Casal	Mezanino
	Identificação	casa bioclimatica	casa bioclimatica	casa bioclimatica	casa bioclimatica
Cobertura	AUamb	48,50	12,33	15,25	24,78
	Ucob	0,62	0,52	0,52	0,62
	CTcob	34,00	250,00	250,00	34,00
Paredes Externas	ccob	0,75	0,75	0,75	0,75
	Upar	0,58	0,58	0,58	0,58
	CTpar	243,00	249,00	248,00	232,00
Característica construtiva	opar	0,16	0,70	0,70	0,16
	CTbaixa	0	0	0	0
Situação do piso e cobertura	CTalta	0	0	0	0
	cob	0	1	1	1
	solo	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	pil	0	0	0	0
	APambN	11,05	4,19	4,06	8,74
	APambS	18,11	0,00	0,00	0,00
	APambL	0,00	0,00	13,64	2,55
Áreas de Aberturas Externas	APambO	11,19	5,66	0,00	8,26
	AAbN	15,47	3,20	3,20	12,80
	AAbS	8,30	0,00	0,00	0,00
	AAbL	0,00	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	AAbO	2,43	0,00	0,00	0,00
	Fvent	0,51	0,38	0,38	0,50
	Somb	0,28	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	AparInt	29,75	20,8	19,11	0,36
	PD	3,65	2,55	2,55	2,9
	Caltura	0,075	0,207	0,167	0,117
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	1	1	1	1
	vid	1	1	1	1
	Uvid	3,185	3,185	3,185	3,185
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	B	C	C	C
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	2780	6417	5799	5296
		7,065	8,388	9,189	7,859

3.3.1 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento – EqNumEnvResfr

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional para resfriamento (EqNumEnv_{Resfr}) é obtido por meio da ponderação dos EqNumEnvAmb_{Resfr} pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AU_{amb}), calculado na Tabela 04.

Tabela 04: Determinação do EqNumEnv_{Resfr}

Ambiente- Local	GH _R	EqNumEnvAmb _{Resfr}	AU _{amb} (m ²)	EqNumEnv _{Resfr}
Sala	2780	B – 4	48,50	
Dormitório Solteiro	6417	C – 3	24,78	3,48
Dormitório Casal	5799	C – 3	15,25	
Mezanino	5296	C – 3	12,33	B
Total			100,86	

3.3.2 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento - EqNumEnv_A

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional para Aquecimento (EqNumEnv_A) também é obtido por meio da ponderação dos EqNumEnvAmb_A pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AU_{amb}), calculado na Tabela 05.

Tabela 05: Determinação do EqNumEnv_A

Ambiente- Local	C _A	EqNumEnvAmb _A	AU _{amb} (m ²)	EqNumEnv _A
Sala	7,065	A - 5	48,50	
Dormitório Solteiro	8,388	A - 5	24,78	5
Dormitório Casal	9,189	A - 5	15,25	A
Mezanino	7,859	A - 5	12,33	
Total			100,86	

Utilizando-se os equivalentes numéricos obtidos pelo método prescritivo para a determinação do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), conforme a equação para ZB 2, tem-se o resultado de 4,33 que equivale, segundo o RTQ-R, ao Nível B.

3.4. Apresentação dos Resultados da Avaliação pelo Método de Simulação

De acordo com os valores obtidos na simulação para GH_R e C_A, determina-se o EqNumEnvAmb_{Resfr} e o EqNumEnvAmb_A de cada ambiente de permanência prolongada da unidade habitacional, apresentados a seguir.

3.4.1 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento - EqNumEnv_{Resfr}

A Tabela 06 apresenta os graus-hora de resfriamento dos períodos de verão e inverno somados, chegando-se aos totais referentes ao ano.

Tabela 06: Totais de GH_R no ano por ambiente.

Ambiente	GH _R Verão	GH _R Inverno	GH _R Ano
Sala	1537	661	2198
Mezanino	2531	1173	3704
Dormitório Casal	861	267	1128
Dormitório Solteiro	924	465	1389

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional para resfriamento (EqNumEnv_{Resfr}) é obtido por meio da ponderação dos EqNumEnvAmb_{Resfr} pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AU_{amb}), calculado na Tabela 07:

Tabela 07: Determinação do EqNumEnv_{Resfr}

Ambiente- Local	GH _R	EqNumEnvAmb _{Resfr}	AU _{amb} (m ²)	EqNumEnv _{Resfr}
Sala	2198	A - 5	48,50	
Dormitório Solteiro	3704	B - 4	24,78	4,75
Dormitório Casal	1128	A - 5	15,25	A
Mezanino	1389	A - 5	12,33	
Total			100,86	

3.4.2 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento - EqNumEnv_A

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento é determinado com o mesmo procedimento do de resfriamento, porém utilizando-se os valores de consumo relativo para aquecimento (C_A), apresentados na Tabela 08 e Tabela 09.

Tabela 08: Totais de C_A no ano por ambiente

Ambiente	C_A Inverno	C_A Verão	C_A Ano
Sala	13,935	0,038	13,973
Mezanino	0,039	0	0,039
Dormitório Casal	13,247	0,355	13,602
Dormitório Solteiro	12,484	0,244	12,728

Tabela 09: Determinação do EqNumEnv_A

Ambiente- Local	C_A	EqNumEnvAmb _A	AU _{amb} (m ²)	EqNumEnv _A
Sala	13,973	A - 5	48,50	
Dormitório Solteiro	0,039	A - 5	24,78	5
Dormitório Casal	13,602	A - 5	15,25	A
Mezanino	12,728	A - 5	12,33	
Total			100,86	

Utilizando-se os equivalentes numéricos obtidos pelo método de simulação para a determinação do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), conforme a equação para ZB 2, tem-se o resultado de 4,89 que equivale, segundo o RTQ-R, ao Nível A.

4. CONCLUSÕES

Conforme se observa no artigo, o nível de eficiência energética da envoltória obtido por meio da avaliação segundo o método prescritivo foi o Nível B, enquanto que o alcançado por meio da avaliação segundo o Método de Simulação foi o Nível A.

Considerando-se os equivalentes numéricos de aquecimento podemos constatar que em se tratando do consumo de energia para aquecimento o projeto alcançou Nível A em todos os ambientes de permanência prolongada, em ambos os métodos, comprovando a congruência dos resultados dos dois métodos. Possivelmente as variáveis, isolamento térmico em coberturas e paredes externas, vidro duplo e transmitância do vidro, consideradas no cálculo do prescritivo, favoreceram alcançar o nível A, mesmo nível encontrado na simulação.

No entanto, ao avaliar-se os equivalentes numéricos de resfriamento pelos dois métodos encontra-se uma diferença bastante considerável. Por simulação chega-se ao Nível A em todos ambientes avaliados, enquanto que pelo método prescritivo encontra-se o Nível B para a sala e o Nível C para os dormitórios e mezanino.

Acredita-se que, possivelmente, estes valores foram influenciados pelo fato de que algumas estratégias projetadas e consideradas na simulação não foram levadas em consideração no método prescritivo, tais como a ventilação do porão no período do verão com aberturas para o interior da edificação, a possibilidade de ventilação cruzada nos dormitórios utilizando as bandeiras ventiláveis das portas destes conjuntamente com saídas de ar altas na circulação, dentre outras.

Isto demonstra a possibilidade de a partir do método de simulação, o qual é uma aproximação da realidade, tirar-se proveito de características peculiares do projeto, principalmente

tratando-se de uma residência unifamiliar, onde as possibilidades de variações da geometria e zonas térmicas interligadas é bem maior, o que no prescritivo é restringido pelas variáveis consideradas na equação.

Estudos futuros considerando variáveis específicas podem levar a um maior conhecimento de quais destas variáveis influenciam mais nos resultados.

REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2011: Ano Base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 2011

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R. Eletrobrás, 2012.

POUEY, J. A. Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.