



AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL DE FLORIANÓPOLIS DE ACORDO COM O MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R

Laiane Susan Silva Almeida (1), Arthur Santos Silva (2), Kathlen Schneider (3), Enedir Ghisi (4)

(1) Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, laiane.almeida@posgrad.ufsc.br

(2) Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, arthurssilva07@gmail.com

(3) Graduanda em Engenharia Civil, kathlenschneider@hotmail.com

(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx. Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar a eficiência energética da envoltória de 22 habitações de interesse social localizadas na região de Florianópolis-SC, através da aplicação do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Foi elaborado um questionário a ser aplicado nas edificações durante auditoria, contendo informações necessárias para a análise. Os dados foram coletados através de medição e observação das características construtivas, e tratados para viabilizar o cálculo do equivalente numérico da envoltória das habitações. A classificação final predominante da envoltória das habitações foi nível “D”, atingindo no máximo nível “C”. Observou-se que grau hora para resfriamento foi o requisito mais rigoroso, fazendo com que a maior parte das habitações atingisse nível “E”. O não atendimento aos pré-requisitos da cobertura (transmitância térmica) pode ser a causa da grande parte do baixo desempenho das habitações.

Palavras-chave: RTQ-R, Habitação de Interesse Social, Envoltória.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the energy efficiency of the envelope of 22 low-income houses located in Florianópolis-SC, by applying the prescriptive method of the Technical Quality Regulation for Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). A questionnaire was developed to be applied in houses during the audit, containing the information needed for the analysis. Data were collected through measurement and observation of the constructive characteristics and treated to enable the calculation of the numerical equivalent of the envelope of the houses. The predominant final classification of the envelope of the houses was level “D”, reaching a maximum level “C”. It was observed that the degree-hour for cooling was the strictest requirement as most of the houses reached level “E”. The unmet prerequisites of roof (thermal transmittance) can be the main cause for the poor performance of the houses.

Keywords: RTQ-R, Low-income House, Envelope.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Abiko (1995), o termo Habitação de Interesse Social (HIS) define uma série de soluções de moradia voltada à população de baixa renda. Nessas edificações, as áreas dos ambientes são reduzidas e os projetos são simplificados, porém as necessidades dos moradores são iguais aos de qualquer outra habitação (BRASIL, 2005).

A HIS é caracterizada por Larcher (2005) como sendo designada à população de baixa renda; financiada pelo Governo, porém não necessariamente produzida por ele; interage com uma série de fatores sociais, econômicos e ambientais; e é garantida pela constituição como direito e condição de cidadania.

Motivado pela redução de impostos de alguns bens de consumo e também pelo aumento da renda per capita, em 2009 o setor residencial brasileiro apresentou a maior taxa de crescimento do consumo, sendo de 6,5% (BEN, 2010). Segundo o Relatório Final do Balanço Energético Nacional de 2012 (EPE, 2012), no ano base de 2011, o consumo de energia do setor residencial foi igual a 23,5% do consumo final de energia elétrica do Brasil.

A redução do consumo de energia em edificações e a redução da geração de energia são metas governamentais que podem ser alcançadas através da eficiência energética. Indiretamente, a eficiência energética em edificações também agrega outros valores, como preservação dos recursos ambientais, proteção da saúde, qualidade de vida e produtividade da população (BRASIL, 2005).

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi publicado em 2010 e tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares (BRASIL, 2012). A classificação do nível de eficiência energética possibilita a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). A ENCE classifica a eficiência da habitação em faixas de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente).

O RTQ-R propõe dois métodos para determinação da eficiência energética da envoltória: o método prescritivo e o método de simulação. No método prescritivo, o desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional (UH) é determinado pelo seu Equivalente Numérico, estabelecido através das equações de regressão múltipla, de acordo com a Zona Bioclimática em que a UH está inserida (BRASIL, 2012).

Já no método de simulação, o desempenho térmico da envoltória da UH é definido pelo seu Equivalente Numérico, determinado através dos resultados (graus hora para resfriamento e consumo de energia para aquecimento e para refrigeração) obtidos através de simulação computacional, também de acordo com a Zona Bioclimática em que a UH está inserida (BRASIL, 2012).

Nogueira *et al.* (2012) analisaram a envoltória de uma residência unifamiliar em Maceió-AL pelo método prescritivo do RTQ-R. Foi determinada a classificação do nível de eficiência energética da residência e investigado o efeito de diferentes combinações de componentes construtivos e soluções de ventilação na residência. Foi constatado que os parâmetros físicos, como a absorvância solar da cobertura, são mais importantes nos graus hora de resfriamento do que o tamanho das aberturas para ventilação. Segundo os autores, o método prescritivo deveria dar mais ênfase à ventilação natural.

Marin e Amorim (2012) compararam os resultados do desempenho térmico da envoltória de duas casas, uma de arquitetura vernácula (sobrado construído de parte alvenaria e parte madeira) e uma de arquitetura contemporânea (edificação térrea, parte em contato com solo e parte em balanço, uma fachada completamente envidraçada), localizadas em Antônio Prado-RS. O desempenho energético da envoltória da casa de arquitetura contemporânea, segundo a avaliação pelo método prescritivo do RTQ-R, é superior ao da casa de arquitetura vernácula, o que contrariou o resultado esperado pelas autoras.

Tendo em vista que o assunto é relativamente recente e que não há muitos estudos publicados relatando experiências de aplicação do RTQ-R, percebe-se a grande necessidade de estudos de caso que permitam a consolidação do método e sua aplicabilidade.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência energética da envoltória de 22 habitações de interesse social (HIS) da região de Florianópolis-SC por meio de auditorias e aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

3. MÉTODO

O trabalho abrange a determinação de dados da envoltória de 22 habitações de interesse social de Florianópolis, suas propriedades térmicas e físicas, de forma a serem determinados os Equivalentes Numéricos da Envoltória de acordo com o RTQ-R pelo método prescritivo.

O método do trabalho é dividido em: (1) formulação e organização do questionário, (2) auditorias nas habitações de interesse social, (3) aplicação do RTQ-R e (4) tratamento dos dados.

3.1. Questionário de Geometria e Materiais

O questionário de Geometria e Materiais foi elaborado para conduzir e padronizar a coleta de dados em campo, uma vez que, para todas as habitações visitadas, pudesse ser aplicado apenas um questionário para serem obtidas as informações necessárias para a determinação da eficiência da envoltória.

Foram elaborados campos para a criação de croquis, inserção de dados das aberturas, seguido de dados sobre os cômodos, e sobre os materiais que compõem as paredes, os pisos e as coberturas.

3.2. Auditorias e coleta de dados

Foram selecionadas algumas habitações de interesse social de Florianópolis para participar da pesquisa estruturada, todas localizadas em comunidades de baixa renda (ver algumas fotos na Figura 1). Os moradores que aceitaram participar da pesquisa foram entrevistados acerca de suas condições socioeconômicas e os dados referentes à habitação foram medidos e coletados a partir do Questionário de Geometria e Materiais.

Primeiramente foi feita medição das dimensões internas dos cômodos (comprimento, largura e pé-direito) com uso de trena para elaboração de croqui da planta baixa, a qual deve fazer referência à rua e ao norte magnético, que é obtido com o auxílio de uma bússola. Também foram feitos croquis da fachada principal e da cobertura.

Foram determinadas as características das aberturas dos ambientes: localização na planta, dimensões, tipo de manobra, áreas efetivas para iluminação e ventilação e seus materiais (esquadria, vidro, veneziana, peitoril e sombreamento).

Durante a visita foram obtidos, por meio de observação e relato dos moradores, os materiais que compõem as paredes, o piso e a cobertura da habitação. Para as paredes, as informações observadas foram: espessura total, cor externa e descrição dos materiais componentes das camadas (ex.: reboco+tijolo cerâmico 6 furos+reboco). Para a cobertura: tipo de telha e cor, tipo de forro, e se houver laje, sua espessura. E para o piso: tipo e espessura, se há contato com o solo e se a habitação está sobre pilotis.

Por fim, foi feito o registro fotográfico das habitações visitadas.

3.3. Propriedades termofísicas dos materiais e superfícies

Tendo em vista a falta de dados precisos na amostra para o cálculo das propriedades térmicas das paredes e da cobertura conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), foi utilizado o catálogo de propriedades térmicas desenvolvido por Morishita *et al.* (2011) com base no tipo de parede e cobertura observados.

Para a determinação da absorvância solar das paredes foi utilizado o método descrito por Santos, Marinowski e Lamberts (2009) que utiliza o espectrômetro portátil ALTA II.

O ALTA II mede as tensões ou diferenças de potencial (voltagem) em mV para a energia refletida de acordo com o material ensaiado. Assim, há opções para determinar essa diferença de potencial em sete comprimentos de onda do espectro visível e em quatro comprimentos de onda do espectro infravermelho.

O método contempla, basicamente, a medição da diferença de potencial na superfície da parede em comparação com a medição em uma amostra padrão. A amostra padrão foi tomada como o papel branco comum (75 g/cm²) Ripax de refletância de 77,5% medida com um espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G por Dornelles (2008). De acordo com o método de Santos, Marinowski e Lamberts (2009), essa refletância medida deve ser corrigida para o espectro solar padrão de acordo com os valores da norma internacional ASTM G 173 (2003).

Para a cobertura, foram estimados valores de absorvância solar com base no próprio material observado, de acordo com os dados medidos por Dornelles (2008).



Figura 1 – Fotos de algumas das habitações avaliadas.

3.4. Aplicação do RTQ-R

O RTQ-R apresenta um método de avaliação com base nos sistemas de envoltória e aquecimento de água, podendo incluir a avaliação do sistema de iluminação artificial, refrigeradores, ventilação artificial e condicionamento de ar. Apesar de contemplar outros sistemas de uma habitação, este trabalho engloba apenas a avaliação da envoltória pelo método prescritivo.

O método prescritivo é aplicado por meio de equações de regressão linear múltipla onde as variáveis independentes são as propriedades físicas e geométricas da edificação, e as variáveis dependentes são referentes a seu desempenho térmico, ou seja graus hora para resfriamento, consumo relativo para aquecimento e refrigeração. A Figura 2 mostra um fluxograma para a avaliação da envoltória.

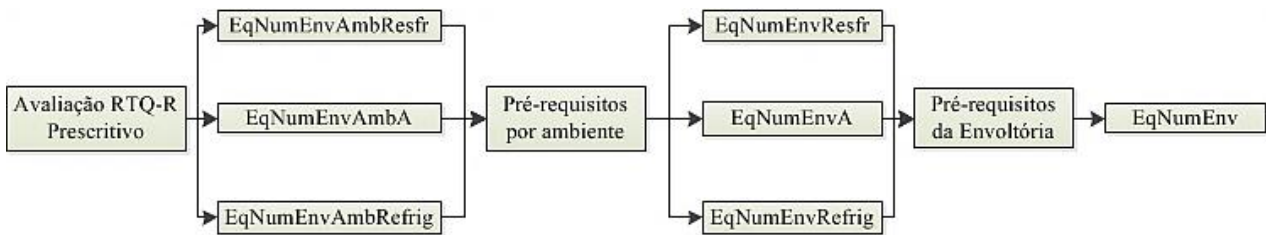


Figura 2 – Fluxograma para avaliação da envoltória de acordo com o RTQ-R.

Onde:

EqNumEnvAmbResfr é o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para resfriamento;
 EqNumEnvAmbA é o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para aquecimento;
 EqNumEnvAmbRefrig é o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para refrigeração;
 EqNumEnvResfr é o equivalente numérico da envoltória para resfriamento;
 EqNumEnvA é o equivalente numérico da envoltória para aquecimento artificial;
 EqNumEnvRefrig é o equivalente numérico da envoltória para refrigeração artificial;
 EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma.

3.4.1. Pré-requisitos

Além das equações de regressão linear, há pré-requisitos a serem avaliados para as paredes externas, a cobertura, o sistema de ventilação e iluminação natural.

A Tabela 1 mostra um resumo da avaliação dos pré-requisitos para as propriedades físicas das paredes e cobertura. O não atendimento aos pré-requisitos acarreta o nível máximo “C”, para cada Equivalente Numérico (EqNum) indicado na mesma Tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação dos pré-requisitos do RTQ-R para a ZB3.

Componente	α (adm)	U (W/m ² K)	Ct (kJ/m ² K)	
Parede	$\alpha \leq 0,60$	$U \leq 3,7$	$Ct \geq 130$	} EqNumEnvAmbResfr C
	$\alpha > 0,60$	$U \leq 2,5$	$Ct \geq 130$	
Cobertura	$\alpha \leq 0,60$	$U \leq 2,3$	-	} EqNumEnvAmbRefrig C
	$\alpha > 0,60$	$U \leq 1,5$	-	

Observações: “adm” significa adimensional, α é a absorvância solar, U é a transmitância térmica, Ct é a capacidade térmica.

O pré-requisito de ventilação natural é um limite para a relação entre a Área de Abertura para Ventilação (A_v) e a Área Útil do Ambiente (A_{Uamb}), devendo ser maior que 8%. Caso não seja atendido, o Equivalente Numérico da Envoltória para o ambiente para Resfriamento é no máximo 3 (Nível “C”). As aberturas devem ter possibilidade de fechamento durante o inverno.

O pré-requisito para ventilação cruzada é que seja atendida a condição exposta pela Equação 1. Caso não atenda, o Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento é no máximo 3 (Nível “C”).

$$A_2/A_1 > 0,25 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A_1 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m²);

A_2 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m²).

O pré-requisito de iluminação natural apresenta um valor mínimo de 12,5% para a relação entre a área para iluminação e a área útil do ambiente. O não atendimento ocasiona que o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para resfriamento, equivalente numérico da envoltória para o ambiente para aquecimento e equivalente numérico da envoltória para o ambiente para refrigeração sejam no máximo 3 (Nível “C”).

Para que a envoltória atinja classificação no mínimo “B”, mais de 50% dos banheiros devem ter aberturas possibilitando ventilação natural.

3.4.2. Avaliação da envoltória

As equações do RTQ-R são separadas por variável dependente e também por Zona Bioclimática, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Para o caso de Florianópolis (Zona Bioclimática 3), o Equivalente Numérico resultante da edificação é calculado pela Equação 2.

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnvResfr + 0,36 \times EqNumEnvA \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória da UH.

EqNumEnvResfr é o equivalente numérico da UH para resfriamento.

EqNumEnvA é o equivalente numérico da UH para aquecimento.

As variáveis dependentes são calculadas conforme as Equações 3 a 5, sendo que os valores das constantes em cada equação, bem como a definição de cada variável, estão no documento do RTQ-R (BRASIL, 2012).

Para cada ambiente de permanência prolongada foi calculado o indicador de graus hora para resfriamento (GHR), a partir da Equação 3. Com o resultado do GHR e pela Tabela 2, encontra-se o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento, e pela média ponderada pelas áreas úteis dos ambientes em questão calcula-se o equivalente numérico da envoltória para resfriamento.

$$\begin{aligned} GHR = & (a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times \alpha_{cob}) + (d \times somb) + (e \times solo \times AU_{amb}) \\ & + (f \times \alpha_{par}) + (g \times PD/AU_{amb}) + (h \times CT_{cob}) + (i \times Abs) \\ & + (j \times AP_{ambL} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (k \times A_{parInt} \times CT_{par}) + (l \times solo) \\ & + (m \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + (n \times F_{vent}) + (o \times AU_{amb}) + (p \times SomA_{par}) \\ & + (q \times AAb_O \times (1-somb)) + (r \times AAb_L \times F_{vent}) + (s \times CT_{par}) \\ & + (t \times AAb_S \times (1-somb)) + (u \times AP_{ambN} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (v \times pil) \\ & + (w \times P_{ambO}) + (x \times AAb_N \times somb) + (y \times Ab_N) + (z \times P_{ambN}) \\ & + (aa \times AP_{ambN}) + [ab \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (ac \times cob \times AU_{amb}) \\ & + (ad \times CT_{alta}) + (ae \times U_{cob}) + (af \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (ag \times P_{ambL}) \\ & + (ah \times A_{parInt}) + (ai \times PD \times AU_{amb}) + (aj \times P_{ambS}) + (ak \times AAb_S \times F_{vent}) \\ & + (al \times AAb_O \times F_{vent}) + (am \times AAb_N \times F_{vent}) + (an \times AP_{ambO} \times U_{par} \times \alpha_{par}) \\ & + (ao \times AP_{ambS}) + (ap \times AAb_N \times (1-somb)) \end{aligned} \quad \text{Equação 3}$$

O consumo relativo para aquecimento é um indicador utilizado para a avaliação do desempenho da envoltória e não reflete o consumo real do ambiente. O cálculo do consumo relativo para aquecimento (CA) para cada ambiente de permanência prolongada se dá pela aplicação da Equação 4. Com o resultado do CA e pela Tabela 2, encontra-se o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para aquecimento, e pela média ponderada pelas áreas úteis dos ambientes em questão calcula-se o equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

$$\begin{aligned} C_A = & [(a) + (b \times CT_{par}) + (c \times AU_{amb}) + (d \times P_{ambS}) + (e \times CT_{baixa}) + (f \times solo) \\ & + (g \times pil) + (h \times U_{cob}) + (i \times \alpha_{par}) + (j \times CT_{cob}) + (k \times SomA_{par}) + (l \times AAb_S) \\ & + (m \times Ab_N) + [n \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (o \times CT_{alta}) + (p \times U_{par}) \\ & + (q \times F_{vent}) + (r \times cob) + (s \times \alpha_{cob}) + (t \times PD) + (u \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) \\ & + (v \times AP_{ambN} \times \alpha_{par}) + (w \times AP_{ambS} \times \alpha_{par}) + (x \times PD/AU_{amb})]/1000 \end{aligned} \quad \text{Equação 4}$$

O consumo relativo para refrigeração (CR) é de caráter informativo, por este motivo não está incluso na Equação 2, e seu cálculo deve ser efetuado para todos os ambientes de permanência prolongada, através da Equação 5. Com o resultado do CR e pela Tabela 2, encontra-se o equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração, e pela média ponderada pelas áreas úteis dos ambientes em questão calcula-se o equivalente numérico da envoltória para refrigeração.

$$\begin{aligned}
C_R = & [(a) + (b \times PD/AU_{amb}) + (c \times CT_{baixa}) + (d \times solo) + (e \times \alpha_{par}) \\
& + (f \times CT_{cob}) + (g \times somb) + (h \times Ab_S) + (i \times AU_{amb}) \\
& + (j \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) + (k \times pil) + (l \times cob) \\
& + (m \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + [n \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] \\
& + (o \times cob \times AU_{amb}) + (p \times Ab_N) + [q \times (U_{par} \times \alpha_{par}/CT_{par}) \times SomA_{par}] \\
& + (r \times SomA_{par}) + (s \times \alpha_{cob}) + (t \times AAb_N \times somb) + (u \times AAb_S \times F_{vent}) \\
& + (v \times AAb_L \times F_{vent}) + (w \times AAb_O \times F_{vent}) + (x \times AAb_S) + (y \times P_{ambS}) \\
& + (z \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (aa \times AP_{ambS} \times \alpha_{par}) + (ab \times AAb_N \times F_{vent}) \\
& + (ac \times AAb_N \times (1-somb))]/1000
\end{aligned}$$

Equação 5

Tabela 2 – Condições para Equivalentes Numéricos e seus respectivos Níveis de Eficiência.

Eficiência	EqNumEnvAmb	GHR	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Refrigeração (kWh/m ² .ano)	EqNumEnv (Pontuação - PT)
A	5	GHR ≤ 822	CA ≤ 6,429	CR ≤ 6,890	4,5 ≤ PT
B	4	822 < GHR ≤ 1.643	6,429 < CA ≤ 12,858	6,890 < CR ≤ 12,284	3,5 ≤ PT < 4,5
C	3	1.643 < GHR ≤ 2.465	12,858 < CA ≤ 19,287	12,284 < CR ≤ 17,677	2,5 ≤ PT < 3,5
D	2	2.465 < GHR ≤ 3.286	19,287 < CA ≤ 25,716	17,677 < CR ≤ 23,071	1,5 ≤ PT < 2,5
E	1	3.286 < GHR	25,716 < CA	23,071 < CR	PT < 1,5

A classificação final da eficiência da envoltória da UH é encontrada na Tabela 2 a partir da pontuação obtida pela aplicação da Equação 2.

3.5. Tratamento dos dados

Todas as habitações foram avaliadas de acordo com a planilha disponibilizada no site do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E, 2012). Foram feitas adaptações na planilha para a consideração dos pré-requisitos específicos para a ZB3.

O tratamento de dados reúne os resultados dos equivalentes numéricos para cada uma das habitações. Foram realizadas análises estatísticas dos parâmetros físicos, com o objetivo de representar adequadamente a amostra, ora apresentando intervalos de confiança, ora apresentando qualitativamente os dados.

No caso dos intervalos de confiança para a média, foi utilizada a distribuição t de Student com (n-1) graus de liberdade e com 95% de confiabilidade, onde n é o tamanho da amostra (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

4. RESULTADOS

Primeiramente serão apresentados os resultados alcançados para a classificação do nível de eficiência energética da envoltória das 22 habitações de interesse social analisadas. Em seguida serão mostrados os resultados do tratamento estatístico aplicado aos parâmetros.

4.1. Equivalentes Numéricos

A Tabela 3 mostra os resultados dos Equivalentes Numéricos para a Unidade Habitacional de todas as 22 habitações. Percebe-se que a maior parte das habitações atingiu nível “E” nos graus hora de resfriamento e Nível “C” no consumo com aquecimento e com refrigeração. A envoltória, com a quantificação dos pré-requisitos, atingiu níveis “C” (12 habitações) e “D” (10 habitações). A Tabela 3 representa também o perfil das habitações de interesse social de Florianópolis, onde a Envoltória atinge no máximo nível “C”.

A Tabela 4 apresenta os resultados do atendimento aos pré-requisitos. Percebe-se que grande parte dos ambientes atendeu o pré-requisito da transmitância e capacidade térmica das paredes externas. As habitações apresentaram, predominantemente paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos de 6 furos, que atendem os requisitos do RTQ-R.

No entanto, a cobertura representa um problema, pois nenhuma das habitações atendeu o pré-requisito de transmitância térmica da Tabela 1.

Sobre a ventilação natural, 71,6% dos ambientes atenderam o limite de área de abertura, e todos os ambientes possuem possibilidade de fechamento das aberturas, importante para a estação de inverno. Em relação à iluminação natural, 67,6% dos ambientes não atingiram o requisito de área de abertura para iluminação.

Tabela 3 – Resultados dos Equivalentes numéricos e dos Níveis alcançados pelas Unidades Habitacionais.

Habitação	UH GHR		UH Aquecimento		UH Refrigeração		UH Envoltória	
	EqNumEnvResf	Nível	EqNumEnvA	Nível	EqNumEnvR	Nível	EqNumEnv	Nível
1	3,00	C	3,00	C	3,00	C	3,00	C
2	1,21	E	3,18	C	2,66	C	1,92	D
3	3,09	C	3,62	B	3,20	C	3,28	C
4	1,00	E	3,00	C	2,82	C	1,72	D
5	2,70	C	3,13	C	3,13	C	2,85	C
6	2,35	D	3,00	C	2,66	C	2,58	C
7	2,46	D	3,22	C	3,22	C	2,74	C
8	2,22	D	3,33	C	3,22	C	2,62	C
9	1,00	E	3,00	C	3,00	C	1,72	D
10	1,28	E	3,00	C	3,00	C	1,90	D
11	1,00	E	3,00	C	2,73	C	1,72	D
12	1,28	E	3,00	C	2,72	C	1,90	D
13	2,88	C	3,09	C	2,88	C	2,95	C
14	1,49	E	3,00	C	2,49	D	2,03	D
15	2,17	D	3,46	C	3,11	C	2,63	C
16	2,75	C	3,00	C	2,75	C	2,84	C
17	1,74	D	3,44	C	3,44	C	2,35	D
18	1,05	E	3,14	C	2,83	C	1,80	D
19	1,27	E	3,80	B	3,80	B	2,18	D
20	1,00	E	3,00	C	3,00	C	1,72	D
21	2,31	D	3,08	C	2,95	C	2,59	C
22	1,51	D	3,00	C	2,51	C	2,05	D

Tabela 4 – Estatísticas do atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes das 22 habitações.

Atende?	Paredes Externas		Cobertura	Ventilação	Fechamento	Iluminação
	U	Ct	U	natural	no inverno	natural
Sim	98,6%	82,4%	0,0%	28,4%	100,0%	32,4%
Não	1,4%	17,6%	100,0%	71,6%	0,0%	67,6%

Observações: U é a transmitância térmica, Ct é a capacidade térmica.

Duas habitações não atingiram o pré-requisito de ventilação natural nos banheiros, e todas atingiram o pré-requisito de ventilação cruzada.

O Item 4.2 deste trabalho discute com maior profundidade os parâmetros físicos e os valores que foram responsáveis pelo desempenho ruim das habitações. No entanto, por meio de uma análise geral, percebe-se que as habitações têm alta absorvância solar e alta transmitância térmica da cobertura, que foram os principais parâmetros que definiram seu desempenho.

4.2. Estatísticas sobre os parâmetros

A Tabela 5 apresenta resultados estatísticos para os parâmetros dos dormitórios, e a Tabela 6, para os parâmetros das salas. Essa análise permite determinar os valores representativos para os parâmetros físicos considerados no RTQ-R e possibilita relacionar seus valores à eficiência energética da envoltória.

A absorvância solar média das paredes externas variou de 0,36 a 0,46 com 95% de confiabilidade, para ambos os ambientes.

A maior parte das habitações possui paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos de 6 furos, com reboco em ambos os lados. No entanto, algumas habitações apresentaram paredes de madeira. A absorvância solar da cobertura foi adotada como sendo 0,80 devido à presença de telhas de fibrocimento ou cerâmica envelhecidas e sujas encontradas em todas as habitações. Este fato ocasiona maior rigor no limite de transmitância térmica da cobertura.

As áreas de aberturas foram maiores na orientação leste, para os dormitórios, e maiores no norte, para as salas. Já a maior área de parede em contato com o exterior é na orientação oeste para os dormitórios, e orientação leste para as salas.

O intervalo de confiança para a média do pé direito dos dois ambientes variou entre 2,40 e 2,61 m, com 95% de confiabilidade. O intervalo de confiança para o fator de ventilação das aberturas variou entre 0,33 e 0,46, com 95% de confiabilidade. A área útil dos dormitórios foi de 8,5 m² em média, e das salas foi de 19,9 m².

Tabela 5 – Estatísticas dos parâmetros de entrada para os dormitórios das 22 habitações.

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão	Limite Inferior da média	Limite Superior da média
Área útil do ambiente	m ²	8,56	2,73	7,80	9,32
Absortância da parede externa	adm	0,41	0,18	0,36	0,46
Área de parede externa - Norte	m ²	6,54	1,83	5,83	7,24
Área de parede externa - Sul	m ²	6,85	1,60	6,13	7,57
Área de parede externa - Leste	m ²	6,71	2,68	5,70	7,72
Área de parede externa - Oeste	m ²	7,17	2,60	6,09	8,26
Área de abertura - Norte	m ²	1,24	0,24	1,11	1,37
Área de abertura - Sul	m ²	1,35	0,30	1,18	1,53
Área de abertura - Leste	m ²	1,36	0,28	1,23	1,50
Área de abertura - Oeste	m ²	1,36	0,21	1,23	1,49
Fator de ventilação	adm	0,45	0,11	0,42	0,48
Pé direito	m	2,54	0,25	2,47	2,61

Tabela 6 – Estatísticas dos parâmetros de entrada para as salas das 22 habitações.

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão	Limite Inferior da média	Limite Superior da média
Área útil do ambiente	m ²	19,93	6,94	17,16	22,71
Absortância parede externa	adm	0,41	0,18	0,34	0,48
Área de parede externa - Norte	m ²	3,80	4,43	2,03	5,57
Área de parede externa - Sul	m ²	6,24	5,13	4,19	8,29
Área de parede externa - Leste	m ²	6,90	5,97	4,51	9,29
Área de parede externa - Oeste	m ²	6,08	4,88	4,13	8,03
Área de abertura - Norte	m ²	1,12	1,74	0,43	1,82
Área de abertura - Sul	m ²	1,02	1,10	0,58	1,46
Área de abertura - Leste	m ²	0,56	0,82	0,23	0,89
Área de abertura - Oeste	m ²	0,53	0,66	0,26	0,79
Fator de ventilação	adm	0,40	0,18	0,33	0,48
Pé direito	m	2,50	0,26	2,40	2,60

A Tabela 7 apresenta a ocorrência dos níveis de eficiência em cada ambiente das habitações analisadas. Os dormitórios atingiram predominantemente nível “D” nos graus hora para resfriamento (GHR), nível “C” para o consumo relativo com refrigeração (CR), e nível “B” para o consumo relativo com aquecimento (CA). As salas atingiram predominantemente nível “E” nos graus hora para resfriamento (GHR), nível “B” para o consumo relativo com refrigeração (CR), e nível “B” para o consumo relativo com aquecimento (CA).

Tabela 7 – Ocorrência dos níveis de eficiência para dormitórios e salas das 22 habitações.

Nível	DORMITÓRIO			SALA		
	GHR	CA	CR	GHR	CA	CR
A	0,0%	4,1%	0,0%	0,0%	4,2%	8,3%
B	4,1%	73,5%	10,2%	0,0%	41,7%	50,0%
C	16,3%	22,4%	46,9%	29,2%	54,2%	37,5%
D	40,8%	0,0%	40,8%	29,2%	0,0%	0,0%
E	38,8%	0,0%	2,0%	41,7%	0,0%	4,2%

Percebe-se que, para o aquecimento, o método prescritivo aponta bom desempenho, tanto para os dormitórios quanto para as salas. No entanto, no consumo relativo com refrigeração, os quartos apresentam desempenho ruim, enquanto as salas apresentam melhor desempenho. No geral, todos os ambientes apresentaram desempenho ruim nos graus hora de resfriamento (GHR).

5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a avaliação da eficiência energética da envoltória de 22 habitações de interesse social de Florianópolis-SC através da aplicação do RTQ-R.

A avaliação final da envoltória das habitações atingiu predominantemente nível “D” (12 habitações), e no máximo nível “C” (10 habitações). Foi visto que os graus hora para resfriamento são os requisitos mais rigorosos, onde a maior parte (10 habitações) atingiu nível “E”.

O desempenho ruim obtido nas habitações pode ser explicado pelo não atendimento aos pré-requisitos da cobertura (transmitância térmica) e poderia ser melhorado com a redução da absorvância solar da mesma, pois ajuda a diminuir os graus hora de resfriamento além de aumentar o valor do pré-requisito de transmitância térmica.

Foram relatadas informações a respeito das áreas de aberturas, áreas de paredes, área útil dos ambientes e propriedades termofísicas representativas para as 22 habitações, com base na média. Esses dados são importantes para a devida caracterização desse tipo de habitação da região amostrada.

Sabe-se que o RTQ-R prescritivo é um método de avaliação. Portanto, deve continuar a ser utilizado como tal. Não foi proposta nenhuma alternativa de melhoria da eficiência energética para as habitações neste trabalho por meio deste método, pois as equações indicariam apenas uma tendência e não representariam corretamente a habitação com todas as suas peculiaridades térmicas e geométricas.

Estudos futuros serão realizados por meio de simulação computacional que, além de conseguir analisar quantitativamente diversas soluções de otimização do desempenho térmico, permite adotar diferentes cargas internas e padrões de uso e ocupação daqueles utilizados no RTQ-R. Dessa forma, soluções específicas poderão ser encontradas.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2 - **Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método 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 diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G 173-03. **Standard Tables for reference solar spectral irradiances – direct normal and hemispherical on 37° Tilted Surface**. ASTM International, 2003.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. ELETROBRÁS. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. Dezembro de 2005.
- _____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012.
- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E. **Planilha para análise da envoltória dos ambientes de edificações residenciais**. Disponível em < <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem> >. Acesso em agosto de 2012.
- DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de superfícies opacas: conceitos, métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2012: Ano base 2011**. Rio de Janeiro, 2012.
- LARCHER, J.V.M. **Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse Social**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- MARIN, P.; AMORIM, C.N.D. Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para Engenheiros**. Editora LTC. 4ª Edição, 2009.
- MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2011. Disponível em < <http://labeee.ufsc.br/> > acesso em 04/03/2013.
- NOGUEIRA, F.H.S.; NASCIMENTO, F.M.B.; BATISTA, J.O.; OLIVEIRA, P.L.; ALMEIDA, R.E.R. Análise da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-R: etiquetagem de residência unifamiliar em Maceió-AL. XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.
- SANTOS, E.I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Natal, 2009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) que possibilitou a realização do trabalho, e ao CNPq e à CAPES pela bolsa de estudos do programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.