



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONTÊINER ADAPTADO COMO RESIDÊNCIA NOS DIVERSOS CLIMAS DO BRASIL

**BUGES, Nathalya Luciano (1); STUMPO, Luis Fernando Angerosa (2); PORTO, Fernando Henrique Füirst dos Santos (3); LÓPEZ, Veronica (4); ANDREASI, Wagner Augusto (5)**

(1) UFMS, (67)8124-9361, e-mail: nathybuges@gmail.com (2) UFMS, e-mail: luisstumpo.lade@gmail.com, (3) UFMS, e-mail: fhporto.lade@gmail.com, (4) UFMS, e-mail: verolopez1987@gmail.com, (5) UFMS, e-mail: wagner.andreasi@ufms.br

### RESUMO

Nos últimos anos, a produção de unidades habitacionais através da adaptação de contêineres de transporte de cargas tem sido uma tendência no mercado da construção civil. Porém, este tipo de edificação não tem sido alvo de estudos que avaliem o desempenho termoenergético de sua envoltória e sua viabilidade como moradia. Um método para qualificar tal desempenho é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), criado em 2010, no âmbito do PROCEL Edifica e do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Dessa forma, neste trabalho, foi realizada uma análise experimental do desempenho do envelope de uma habitação unifamiliar adaptada em um contêiner, calculando o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv), a partir dos níveis de eficiência para verão e inverno, conforme o RTQ-R, nas quatro orientações geográficas, para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas (ZB) definidas pela ABNT NBR 15220-3/2005. Os resultados encontrados demonstraram que o projeto avaliado alcançou níveis insatisfatórios devido, principalmente, à baixa inércia térmica de suas paredes. Assim, o trabalho concluiu que a residência avaliada é mais viável para regiões quentes e úmidas — onde a eficiência energética da edificação recebe menor influência da capacidade térmica dos componentes construtivos —, desde que sejam atendidas as necessidades de aberturas sombreadas.

**Palavras-chave:** Contêiner, Eficiência Energética em Edificações, RTQ-R.

### ABSTRACT

*In recent years, the production of housing units by adapting cargo transportation containers has been a trend in the construction market. However, this type of building has not been investigated in regards to the assessment of the thermoenergetic performance of its envelope and its viability as dwelling. A method to qualify this performance is the Brazilian Energy Labeling Schemes for Residential Buildings (RTQ-R), created in 2010, under PROCEL Edifica and the Brazilian Labeling Program (PBE). Thus, in this paper, it was held an experimental analysis of the envelope's performance in a single-family housing adapted into a container by calculating the Numerical Equivalent of Envelopement (EqNumEnv), as from the efficiency levels for both summer and winter, in accordance with RTQ-R, in the four geographic orientations, to each of the eight Bioclimatic Zones (ZB) defined by ABNT NBR 15220-3/2005. The results showed that the evaluated project achieved unsatisfactory levels, mainly due to the low thermal inertia of the walls. Thus, the paper concluded that the assessed household is more feasible for hot humid regions — where the energy efficiency of the building receives less influence of the thermal capacity of building components — provided that the requirements for shaded openings are met.*

**Keywords:** Container, Building Energy Efficiency, RTQ-R.

## **1 INTRODUÇÃO**

A crise energética ocorrida no Brasil em 2001 exigiu mudanças em diversos setores do país, inclusive na construção civil, visto que as edificações são responsáveis por cerca de 47% do consumo final de energia do País (MME, 2011a). Assim, elas têm sido foco de estudos de eficiência energética, em todo o seu ciclo de vida.

Despontando há poucos anos como opção de sistema construtivo, a adaptação de contêiner de carga para criação de moradias tem se mostrado uma solução limpa e simples, por gerar menos resíduos que os sistemas tradicionais brasileiros, além de oferecer capacidade modular, flexibilidade e praticidade na construção e na implantação no terreno (GIRIUNAS, SEZEN e DUPAIX, 2012). Apesar de possuírem boa capacidade estrutural e resistência a chuva, fogo e outras intempéries, os contêineres ainda necessitam de análises de desempenho energético de seu envelope.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência energética da envoltória de um projeto residencial unifamiliar adaptado de um contêiner, nas quatro orientações geográficas, para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas (ZB) definidas pela ABNT NBR 15220-3/2005, apontando a conveniência, ou não, da utilização desse sistema construtivo enquanto residência.

A análise de desempenho energético seguiu a metodologia definida no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012), por se tratar da normatização oficial brasileira para definição dos níveis de eficiência energética nas moradias do país.

Como o escopo do trabalho se restringe à análise da envoltória de uma edificação unifamiliar através do método prescritivo, a revisão bibliográfica se limitará a esclarecer somente os conceitos e métodos do RTQ-R necessários para compreensão da metodologia adotada nesta pesquisa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fim de incentivar a redução do uso de energia nas moradias do país através do consumo consciente, foi lançado em 2010 o RTQ-R (MME, 2011b). Ele estabelece os critérios para avaliação do desempenho energético de habitações unifamiliares, multifamiliares e de áreas de uso comum, gerando uma etiqueta diferente para cada modalidade citada.

Para obtenção da etiqueta destinada à edificação unifamiliar (EU), pelo método prescritivo, é necessário avaliar, através da análise de pré-requisitos e equações de regressão múltipla, os sistemas de Aquecimento de Água e o conjunto formado por cobertura, piso e paredes, denominado no RTQ-R como Envoltória. A avaliação destes dois itens resultará em um Equivalente Numérico para o sistema de Aquecimento de Água (EqNumAA) e outro para a Envoltória (EqNumEnv), respectivamente, possibilitando então o cálculo para definição da eficiência energética final da edificação. Ainda cabe ressaltar que este pode sofrer alterações, tendo seu valor reduzido caso não cumpra os pré-requisitos gerais, ou acrescido devido à presença de bonificações.

Para a determinação da eficiência da Envoltória de uma EU, é necessário realizar, para cada ambiente, o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento e, para as edificações localizadas nas ZBs 1, 2, 3 e 4, também é obrigatório calcular o consumo relativo para aquecimento, visto que nestas zonas é necessário garantir o conforto ambiental em situações climáticas frias. A partir do indicador de graus-hora e do

consumo para aquecimento, é possível definir, por meio de tabelas, os equivalentes numéricos para resfriamento e aquecimento para cada ambiente da EU. Por meio da ponderação dos equivalentes numéricos pelas áreas dos respectivos ambientes, pode-se então definir o Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento ( $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$ ) e para Aquecimento ( $\text{EqNumEnv}_A$ ) para a edificação como um todo.

Por fim, os equivalentes numéricos calculados para resfriamento e aquecimento são utilizados na equação para determinação do Equivalente Numérico da Envoltória ( $\text{EqNumEnv}$ ) da EU, equação esta que deve ser escolhida de acordo com a ZB onde a edificação está localizada. O nível de eficiência da envoltória encontrado poderá sofrer alterações, pois ainda é necessário submeter o projeto aos pré-requisitos específicos, que definem as condições adequadas para a capacidade térmica e a transmitância térmica dos componentes construtivos, para a absorção solar das superfícies e para a iluminação e ventilação natural.

Também se faz necessário calcular o Equivalente Numérico da Envoltória para Refrigeração ( $\text{EqNumEnv}_{\text{Refrig}}$ ) para os dormitórios da edificação, que indica o nível de eficiência energética do envelope construído se utilizado sistema de condicionamento de ar. Mesmo que este equivalente numérico não influencie no  $\text{EqNumEnv}$  da residência, seu cálculo é obrigatório e deve constar na etiqueta para informar o usuário caso este queira implantar equipamentos de ar-condicionado posteriormente.

A partir do  $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$ , do  $\text{EqNumEnv}_A$ , do  $\text{EqNumEnv}_{\text{Refrig}}$ , do  $\text{EqNumEnv}$ , do  $\text{EqNumAA}$ , do nível de eficiência final da edificação, das bonificações e dos pré-requisitos gerais, a etiqueta para EU pode ser gerada, apresentando ao consumidor informações claras a respeito do comportamento energético de sua residência, possibilitando a visualização facilitada dos níveis alcançados por ela, através de uma escala alfabética que varia de “E” (menos eficiente) a “A” (mais eficiente), conforme Quadro 1. Assim, é detalhado na etiqueta o desempenho energético da envoltória para o verão, a partir do  $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$  e, nas zonas aplicáveis, pra inverno, a partir do  $\text{EqNumEnv}_A$ , apresentando ambos resultados também por meio da escala alfabética.

**Quadro 1 – Nível de Eficiência de acordo com o Equivalente Numérico.**

Equivalente Numérico (EqNum)	Nível de Eficiência
$\text{EqNum} \geq 4,5$	A
$3,5 \leq \text{EqNum} < 4,5$	B
$2,5 \leq \text{EqNum} < 3,5$	C
$1,5 \leq \text{EqNum} < 2,5$	D
$\text{EqNum} < 1,5$	E

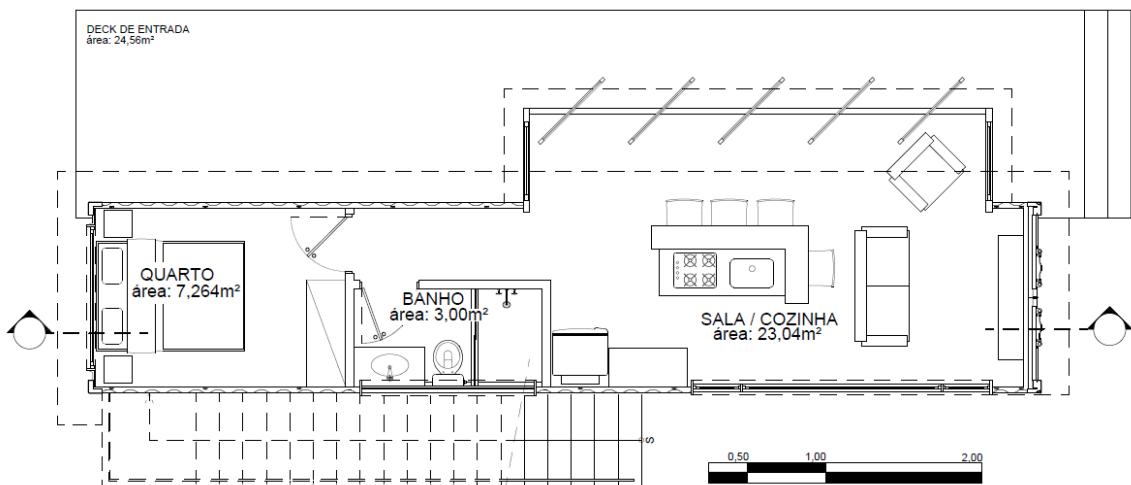
Fonte: Adaptado de INMETRO (2012).

### 3 METODOLOGIA

Para realizar a análise experimental objetivo deste estudo, foi necessário primeiramente selecionar uma edificação unifamiliar, resultante da adaptação de contêineres de transporte de carga. Para tanto, foi escolhido o projeto de um arquiteto que, nos últimos anos, direcionou sua produção projetual para edificações construídas a partir do sistema construtivo avaliado neste trabalho.

Foi selecionado um projeto simplificado, que utiliza um contêiner do tipo *Dry*, de 28,28m<sup>2</sup>, com pé-direito de 2,70m. A escolha pelo projeto em questão ocorreu com o intuito de avaliar a edificação de menor custo entre as opções oferecidas e menor alteração na forma e nos materiais originais do contêiner, por entender que esta tipologia tende a ser mais popular e também mais suscetível a problemas de conforto e de eficiência energética (Figura 1 e 2).

**Figura 1 – Planta da residência analisada**



Fonte: Arquiteto Celso Costa Filho, adaptado pelos autores.

**Figura 2 – Corte longitudinal da residência analisada**

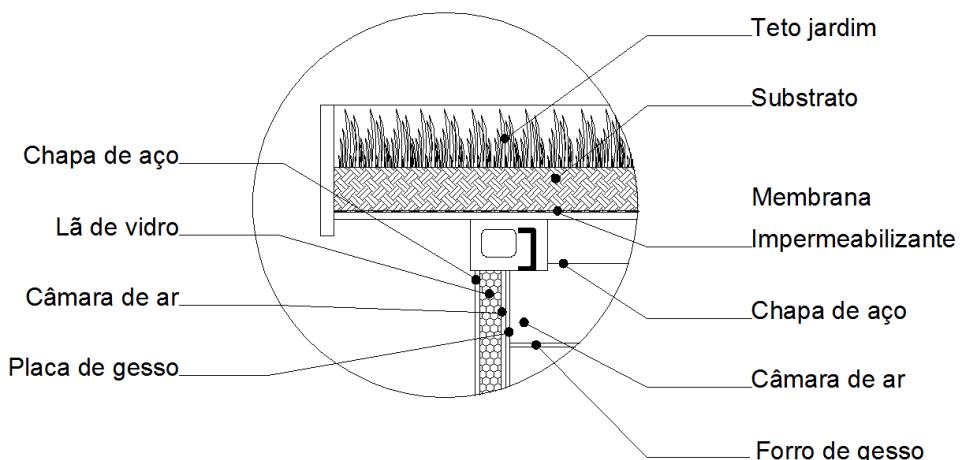


Fonte: Arquiteto Celso Costa Filho, adaptado pelos autores.

O projeto escolhido apresenta, como solução construtiva das paredes externas (Figura 3), revestimento interno de lã de vidro e placa de gesso, com câmara de ar entre eles, e chapa metálica com pintura na cor palha, totalizando 8cm. As paredes internas são de gesso e, na face do banheiro, há cerâmica branca, totalizando 15cm. As coberturas possuem duas soluções distintas, sendo que uma porcentagem maior foi elaborada com camada de substrato do telhado verde e membrana impermeabilizante sobre chapa metálica e forro de gesso, com câmara de ar sob ela, totalizando assim 41cm. A cobertura da área ampliada da sala tem internamente forro de gesso com câmara de ar e externamente possui um acabamento em pintura cor palha. A cor das paredes externas e da cobertura ampliada foi definida com o intuito de não prejudicar as análises realizadas para alguma ZB e favorecer outra. Assim, esses componentes apresentaram absorção

solar ( $\alpha$ ), transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) conforme descritas no Quadro 2.

**Figura 3 – Detalhe das paredes externas e do teto jardim**



Fonte: Arquiteto Celso Costa Filho, adaptado pelos autores.

**Quadro 2 – Características térmicas de paredes e coberturas**

Componentes construtivos	$\alpha$ (adim.)	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K )
Parede externa	0,367	0,60	26,37
Parede interna	0,200	2,34	113,84
Cobertura teto jardim	0,200	0,96	168,86
Cobertura ampliação da sala	0,367	1,19	10,76

Fonte: Elaboração dos autores.

Alguns aspectos não abordados pelo projeto foram definidos de acordo com as práticas mais comuns. Logo, as aberturas pivotantes horizontais tiveram seu ângulo máximo de abertura definido em 30°, enquanto para as verticais o ângulo escolhido foi 90°, todas especificadas com vidro simples incolor de 4mm. Também foi necessário definir a espessura da lã de vidro utilizada como isolamento para as paredes, sendo fixado o valor de 50mm, por ser a dimensão comercial mais adequada para o projeto.

A definição da composição do teto jardim (Figura 3) teve como ponto de partida um dos exemplos apresentados no Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas das paredes, coberturas e vidros dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios – RAC (INMETRO, 2013). Não foi considerado o sombreamento das aberturas visto que, além de possuírem valores pouco significativos neste projeto, eles são definidos de acordo com a latitude, enquanto essa pesquisa fez a avaliação por ZB.

Após definidos todos os detalhes pendentes, procedeu-se com a análise da envoltória da edificação unifamiliar por meio do método prescritivo descrito no RTQ-R. Desta forma, foi determinado o desempenho energético da residência para o verão, para o inverno e caso ela seja artificialmente condicionada. Também foram avaliados os pré-requisitos

específicos para a envoltória, bem como foi encontrado o nível de eficiência energética final do envelope construído.

Através das avaliações discriminadas anteriormente, foi possível realizar as análises comparativas entre as oito zonas bioclimáticas brasileiras, considerando as quatro orientações geográficas existentes e assim encontrar as qualidades e limitações do projeto avaliado, de acordo com sua localização e posicionamento, em conformidade com o RTQ-R.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de determinar o desempenho energético de contêineres adaptados como residências, procedeu-se à avaliação da eficiência energética de sua envoltória, para cada ZB definida pela ABNT NBR 15220-3/2005, utilizando o método prescritivo de cálculo do RTQ-R. Dessa forma, analisou-se cada um dos ambientes de permanência prolongada — sala/cozinha e dormitório — e, com isso, obteve-se o  $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$ , que fornece o desempenho para verão, o  $\text{EqNumEnv}_A$ , indicando a eficiência para inverno, e o  $\text{EqNumEnv}$ , que envolve os dois últimos parâmetros. Ainda, foi determinado o  $\text{EqNumEnv}_{\text{Refrig}}$ , que considera o desempenho energético do dormitório caso artificialmente condicionado.

Ainda, a avaliação foi submetida aos diversos pré-requisitos do RTQ-R específicos para envoltória, que podem restringir os valores encontrados. Assim, os resultados estão apresentados no Quadro 3, onde o “real” indica o equivalente numérico em que foram considerados os pré-requisitos. As avaliações de uma mesma ZB foram nomeadas pela orientação geográfica da fachada da entrada. As cores estão de acordo com o nível de eficiência, conforme o Quadro 1.

Verifica-se que, para todas as ZB, independente da orientação, os pré-requisitos limitaram os equivalentes numéricos encontrados a 3,00 (três), de forma que o nível máximo atingido é “C”. Os pré-requisitos não atendidos estão listados no Quadro 4. Dentre eles, temos o referente à ventilação cruzada, que independe da localização e da orientação geográfica da edificação: trata-se de uma relação de áreas de abertura da fachada mais permeável com relação às demais. Assim, a maneira como é exigida a verificação deste requisito prejudicou a edificação em questão, pois a entrada da sala/cozinha possui aberturas grandes em comparação às demais.

No Quadro 3, observa-se que as ZB mais quentes (5 a 8) apresentaram resultados semelhantes e baixos, independente da consideração dos pré-requisitos. Opostamente, as ZB 1 a 4 apresentaram capacidade para atingir melhores resultados, apesar da diferença não ser muito significativa. A maior responsável pela deficiência do desempenho foi a capacidade térmica das paredes externas, que apresentou valores muito baixos. Além de limitar o nível de eficiência desta residência nas ZBs 1 a 7 a “C” (Quadro 4), este parâmetro é um dos mais significativos na determinação dos equivalentes numéricos destas zonas (MAZZAFERRO, SILVA e GHISI, 2014). Ainda, a ausência de dispositivos externos de sombreamento, combinados às grandes dimensões das aberturas, também contribuiu para o baixo desempenho da envoltória em todas as ZB. Vale ressaltar que a transmitância térmica, em contrapartida, atingiu valores excelentes, inferiores a 1,00W/(m<sup>2</sup>.K).

**Quadro 3 – Síntese dos resultados das avaliações da envoltória**

ZB	Orientação	Envoltória para Verão (EqNumEnv <sub>Ref</sub> )		Envoltória para Inverno (EqNumEnv <sub>A</sub> )		Env. refrig. artificialmente (EqNumEnv <sub>Refrig</sub> )		Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv)	
		Sem pré- requisitos	Real	Sem pré- requisitos	Real	Sem pré- requisitos	Real	Sem pré- requisitos	Real
ZB1	Norte	4,76	3,00	3,76	3,00	1,00	1,00	3,84	3,00
	Sul	4,76	3,00	2,76	2,76	2,00	2,00	2,92	2,78
	Leste	4,00	3,00	3,52	2,76	5,00	3,00	3,56	2,78
	Oeste	4,00	3,00	3,52	2,76	4,00	3,00	3,56	2,78
ZB2	Norte	2,52	2,52	4,00	3,00	1,00	1,00	3,35	2,79
	Sul	2,52	2,52	4,00	3,00	1,00	1,00	3,35	2,79
	Leste	2,52	2,52	4,00	3,00	2,00	2,00	3,35	2,79
	Oeste	2,00	2,00	4,00	3,00	2,00	2,00	3,12	2,56
ZB3	Norte	2,76	2,76	3,24	3,00	2,00	2,00	2,93	2,85
	Sul	2,76	2,76	3,24	3,00	2,00	2,00	2,93	2,85
	Leste	2,76	2,76	3,24	3,00	3,00	3,00	2,93	2,85
	Oeste	2,00	2,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,72	2,36
ZB4	Norte	3,52	2,76	4,00	3,00	5,00	3,00	3,67	2,84
	Sul	3,52	2,76	4,00	3,00	5,00	3,00	3,67	2,84
	Leste	3,52	2,76	4,00	3,00	5,00	3,00	3,67	2,84
	Oeste	3,00	3,00	4,00	3,00	5,00	3,00	3,32	3,00
ZB5	Norte	2,52	2,52			2,00	2,00	2,52	2,52
	Sul	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Leste	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Oeste	2,00	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00
ZB6	Norte	1,76	1,76			2,00	2,00	1,76	1,76
	Sul	2,52	2,52			2,00	2,00	2,52	2,52
	Leste	2,00	2,00			1,00	1,00	2,00	2,00
	Oeste	2,00	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00
ZB7	Norte	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Sul	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Leste	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Oeste	2,00	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00
ZB8	Norte	2,52	2,52			2,00	2,00	2,52	2,52
	Sul	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Leste	2,76	2,76			2,00	2,00	2,76	2,76
	Oeste	2,00	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00

Fonte: Elaboração dos autores.

**Quadro 4 – Pré-requisitos da envoltória não atendidos pela edificação**

Zonas Bioclimáticas	Pré-requisitos não atendidos
ZB 1 a 7	Capacidade térmica das paredes externas; e ventilação cruzada
ZB 8	Ventilação cruzada

Fonte: Elaboração dos autores.

Como tentativa de criar alternativas ao sistema construtivo utilizado nas paredes do contêiner (Figura 3), a fim de melhorar a inércia térmica, foram testadas desde mudanças na espessura dos materiais empregados até a utilização de elementos diferenciados, sem alterar a área útil da edificação. Assim, a fim de atender a valores de capacidade térmica superiores a 130kJ/(m<sup>2</sup>.K), a única solução testada que atendeu ao

pré-requisito foi o preenchimento das paredes com areia ou algum outro material com densidade aparente e calor específico elevados, em substituição à manta de lã de vidro e à câmara de ar. Todavia, são necessários estudos para indicar a viabilidade financeira e de execução de tal alternativa.

Assim, a ZB 8, que apresenta clima quente e úmido (com inverno ausente), tende a ser a localização mais viável para esse tipo de construção, por não ser submetida ao pré-requisito de capacidade térmica dos componentes construtivos. Apesar da avaliação feita não apresentar resultados promissores para esta ZB (Quadro 3), algumas soluções simples poderiam ser tomadas. A utilização de dispositivo de sombreamento com escurecimento total para o dormitório, por exemplo, aumentaria seu nível de eficiência energética de “D” para “B”. O pé-direito reduzido, por outro lado, é uma característica condicionante dos contêineres que não favorece o seu desempenho térmico, contribuindo para os baixos níveis obtidos.

A orientação geográfica não teve muita influência nos resultados encontrados, mesmo com a existência de grandes aberturas sem sombreamento. Como o método prescritivo não leva em consideração as diferentes latitudes de uma mesma ZB, é importante recorrer à simulação computacional para estudar mais profundamente este aspecto. No caso da ZB 8, por exemplo, as estratégias de sombreamento e a otimização da orientação geográfica variam bastante para edificações construídas no extremo Norte e outras no litoral Sudeste do país.

Por fim, cabe ressaltar que o teto jardim trouxe grandes contribuições para todas as avaliações feitas: além de possuir uma superfície com absorção solar baixa, esse componente construtivo apresenta baixa transmitância térmica e elevada capacidade térmica. Além disso, sabe-se que o teto jardim absorve a chuva, contribuindo para a permeabilidade do solo e a acústica da residência, além de melhorar a umidade relativa do ar nas proximidades da edificação — aspecto de grande relevância para ZB mais secas — 4, 6 e 7 (BALDESSAR, 2012; ABNT, 2005).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi desenvolvida com a finalidade de ampliar a discussão sobre o uso de contêineres de carga como residências, motivada pelas vantagens oferecidas por este sistema, como rápida execução, redução de resíduos e mitigação de impactos na topografia e na vegetação existente no terreno. Para tanto, procedeu-se à avaliação da eficiência energética de uma edificação adaptada de um contêiner tipo *Dry*, a fim de analisar a viabilidade da implantação do sistema estudado em todo o território nacional. Seguindo a metodologia do RTQ-R, foi analisada a envoltória do projeto estudado pelo método prescritivo, sendo realizadas avaliações variando a orientação geográfica, para todas as ZB, totalizando 32 resultados.

Devido aos pré-requisitos prescritos pelo regulamento, nenhuma avaliação alcançou nível superior a “C”. A constituição das paredes externas, compostas por chapa de aço ondulada, lã de vidro, câmara de ar e placa de gesso, apesar de apresentar baixos valores de transmitância térmica, oferece capacidade térmica muito inferior ao solicitado pelo pré-requisito para as ZB 1 a 7. As alternativas para solucionar essa deficiência ainda necessitam ser pesquisadas, propondo-se materiais com altos valores de densidade aparente e de calor específico.

Visto que a inércia térmica é um fator de menor importância para o desempenho térmico de edificações na ZB 8, a construção de residências adaptadas a partir de contêineres se

mostrou mais viável para esse clima. Mesmo que os resultados não tenham indicado níveis de eficiência energética superiores a “C”, seu desempenho pode ser largamente beneficiado atentando-se à ventilação e ao sombreamento das aberturas.

Dessa forma, o trabalho realizado identificou a necessidade de preocupação com os conceitos de eficiência energética ao se projetar residências adaptadas de contêineres de carga. O projeto avaliado não apresentou bons resultados, mas torna-se viável melhorando a constituição de suas paredes, locando estrategicamente os vãos a fim de permitir melhor ventilação natural, e definindo mecanismos de sombreamentos para as estações de maior incidência solar. Para estudos futuros, recomenda-se realizar a avaliação pelo método de simulação, por considerar a localização exata da edificação, enquanto o prescritivo estabelece uma equação genérica para cada ZB.

Cabe salientar ainda que o trabalho apontou discordância na metodologia de avaliação do requisito referente à ventilação cruzada: a maneira como ele é exigido prejudicou a edificação analisada. Visto que todos os ambientes atenderam ao pré-requisito de área mínima para ventilação, seria possível diminuir o tamanho das aberturas de entrada para atender à ventilação cruzada, o que é contraditório quando o assunto é condicionamento passivo. Isso aponta a necessidade de novos estudos, de forma a rever o método utilizado nesta verificação.

## AGRADECIMENTOS

À Eletrobras, ao CNPq e à CAPES, pelo apoio financeiro recebido, e ao arquiteto e urbanista Celso Costa Filho, autor do projeto arquitetônico avaliado.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-15220-3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e diretrizes**. Rio de Janeiro, 2005.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 124 f Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- GIRIUNAS, K., SEZEN, H., DUPAIX, R. B. Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures. **Engineering Structures**, v. 43, p. 48-57, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.
- \_\_\_\_\_. Portaria nº 50, de 1 de fevereiro de 2013. **Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética (RAC)**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RTAC001961.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.
- MAZZAFERRO, R.; SILVA, A. S.; GISHI, E. **Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares**. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS. Guimarães – Portugal, 2014.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional (BEN)**, 2011. Disponível em:

<[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)> Acesso em: 28 de maio de 2013.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas (PNEf)**, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>> Acesso em: 17 de abril de 2013.