



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

INFLUÊNCIA DO PERCENTUAL DE ABERTURA NAS FACHADAS E DO FATOR SOLAR DOS VIDROS NA ETIQUETAGEM DO PROCEL/INMETRO: MÉTODO PRESCRITIVO X SIMULAÇÃO

Mary A. Yamakawa (1); Fernando S. Westphal (2)

(1) Grad.em Arquitetura e Urbanismo, bolsista de iniciação científica, mary@labcon.ufsc.br

(2) Professor, engenheiro civil, Dr. Eng, fernandosw@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-970, Tel.: (48) 3721 4974

RESUMO

O Requisito Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foi lançado em 2009 com o objetivo de promover maior eficiência energética das edificações no Brasil. A presente pesquisa pretende realizar o comparativo da classificação pelos métodos prescritivo e simulacional propostos pelo RTQ-C com simulações realizadas no software *EnergyPlus*. Os parâmetros a serem explorados são o percentual de abertura nas fachadas (PAFt) e a influência do fator solar (FS) dos vidros na carga interna das edificações que impactam diretamente no consumo de energia por parte do sistema de condicionamento de ar. Diferenças significativas foram identificadas nas tendências de variação de consumo calculadas de acordo com o método prescritivo e por simulações computacionais.

Palavras-chave: etiquetagem, vidros de controle solar, EnergyPlus

ABSTRACT

The Technical Quality Requirements of the Level of Energy Efficiency of Commercial, Public Buildings, and Public Service (RTQ-C) was launched in 2009 with the objective of promoting greater energy efficiency of buildings in Brazil. This research aims to realize the comparative classification of the prescriptive and simulational methods proposed by RTQ-C. It will be explored parameters like the facades opening percentage and the influence of solar factor on the building internal load that impacts directly on energy consumption by the air conditioning system. Significant differences were identified in the trends of variation in consumption calculated according to the prescriptive method and by computer simulation.

Keywords: performance rating system, selective glazings, EnergyPlus

1. INTRODUÇÃO

A década de 90, no Brasil, foi marcada por um aumento no consumo energético de quase 50%. Dado o crescimento da demanda, a oferta de energia não acompanhou os mesmos níveis e em 2001 foi anunciada a crise energética no país e, surge então, a necessidade de criação de medidas que ajudassem na redução do consumo de energia.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia elétrica no Brasil. De acordo com esse panorama, a importância de estratégias de projeto que garantam uma maior eficiência energética nas edificações tornou-se mais evidente.

Em 2003, surge o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA – com o objetivo de incentivar o uso racional de energia nas edificações. Como fruto desse esforço, é lançado em 2009, pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE/ UFSC), o Requisito Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que contém parâmetros para avaliar e classificar energeticamente uma edificação. Em 2010, o INMETRO publicou uma versão revisada do requisito técnico, que está em vigor até a presente data (INMETRO, 2010).

A avaliação segundo o RTQ-C atribui uma etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) para a edificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Há duas formas de realizar a classificação de um edifício: a prescritiva e a simulação computacional.

O método prescritivo consiste em avaliar três quesitos separadamente: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. A simulação computacional pré-estabelece a modelagem do edifício real e mais quatro modelos de referência para estabelecer os limites dos níveis de eficiência.

Atualmente, a arquitetura de edifícios de escritórios no Brasil é marcada por grandes fachadas de vidro, seguindo as tendências importadas dos países norte-americanos e europeus. A radiação solar tem grande impacto nessas fachadas envidraçadas e é uma das maiores responsáveis pelo aumento na carga térmica dos edifícios, incidindo diretamente no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar e na utilização da iluminação artificial. Este artigo pretende explorar o fato de que, apesar da grande evolução da qualidade dos vidros utilizados no país, o método do RTQ-C avalia a envoltória com grande importância às proteções solares externas, em detrimento do alto desempenho dos vidros de controle solar existentes atualmente no mercado.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência do percentual de abertura nas fachadas (PAft) e do fator solar dos vidros (FS) na classificação do nível de eficiência energética de um edifício de escritórios, segundo o método prescritivo estabelecido no RTQ-C e analisar a compatibilidade dos resultados obtidos com a simulação computacional no programa *EnergyPlus*.

3. METODOLOGIA

Para a pesquisa realizada foi selecionado um modelo de edifício a ser testado simultaneamente pela avaliação prescritiva do RTQ-C e também por simulação computacional no *EnergyPlus*. Consiste em um prédio de 15 pavimentos, sendo o térreo, 13 pavimentos tipo e a cobertura. Os pavimentos foram divididos em cinco zonas térmicas, conforme figura 1. As zonas 1, 2, 3 e 4 correspondem à área de planta livre, ocupada por atividade de escritório e são condicionadas artificialmente. A zona 5 compreende à área de escadas, banheiros e almoxarifado e não é condicionada. O arquivo climático utilizado foi de Florianópolis, que localiza-se na zona bioclimática (ZB) 3.

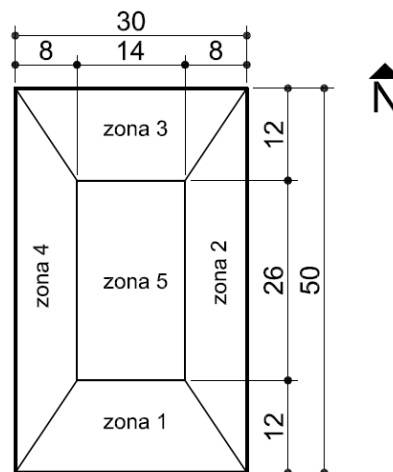


Figura 1 – Croqui do pavimento tipo do modelo simulado

A densidade de carga interna nas zonas foi estipulada de acordo com o uso (tabela 1). A zona 5 apresenta uma densidade menor, pois não se configura como um ambiente de uso prolongado. Os padrões de uso e operação dessas cargas, considerados nos dias úteis, são apresentados esquematicamente na figura 2. Considerou-se ocupação aos sábados equivalente a 50% dos dias úteis até as 13h; e não foi considerada utilização do prédio aos domingos. A climatização é feita por um sistema de expansão direta, do tipo *split-system*, com eficiência energética equivalente a nível A do PROCEL. A operação do sistema segue a mesma rotina de ocupação do prédio, ou seja, das 7h às 22h em dias úteis, e das 7h às 13h nos sábados.

Tabela 1 – Densidade de cargas internas para cada zona térmica do pavimento tipo.

Zona	Ocupação (m ² /pessoa)	Iluminação (W/ m ²)	Equipamentos (W/ m ²)
1, 2, 3 e 4	7	12	16
5	0	5	0

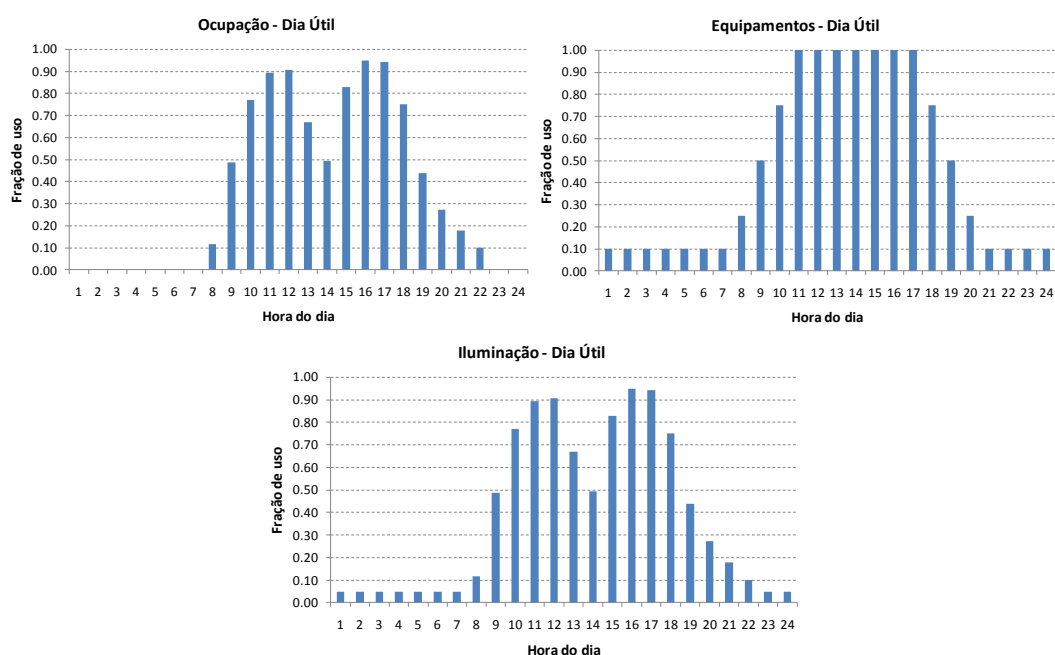


Figura 2 – Padrões de ocupação e uso das cargas internas nos dias úteis.

Há dois tipos de paredes externas utilizadas nos modelos: *drywall* e tijolos cerâmicos maciços, cujas transmitâncias térmicas e absorvâncias estão apresentadas na tabela 2. A parede de tijolos maciços foi modelada para representar a transmitância térmica máxima permitida pelo RTQ-C, de 3,7W/m².K.

Os tipos de lajes de cobertura utilizadas são listados na tabela 3. O modelo do edifício possui laje de concreto de 20 cm, rebocada em ambas as faces. Os modelos de referência possuem laje de concreto com isolante de resistência térmica que resulte em um componente com transmitância térmica limite para cada nível de eficiência.

Tabela 2 – Tipos de paredes: composição, valores de transmitância térmica e absorvância.

Nome	Composição	Transmitância térmica (W/m ² .K)	Absorvância à radiação solar
<i>drywall</i>	Placa cimentícia 15mm + lã de rocha 50mm + gesso acartonado 30mm	0,7	0,5
<i>cerâmica</i>	Tijolo cerâmico maciço com 12 cm de espessura	3,7	0,5

Tabela 3 - Tipos de lajes: composição, valores de transmitância térmica e absorptância.

Nome	Composição	Transmitância térmica (W/m ² .K)	Absortância à radiação solar
Cob. padrão	Reboco 2,5cm + laje concreto 20cm + reboco 2,5cm	2,9	0,5
Cob. 2,0	Laje de concreto + isolante R=0,204m ² .K/W	2,0	0,5
Cob. 1,5	Laje de concreto + isolante R=0,375m ² .K/W	1,5	0,5
Cob. 1,0	Laje de concreto + isolante R=0,704m ² .K/W	1,0	0,5

Como um dos pontos principais deste trabalho é análise do tipo de vidro nas fachadas, foram selecionados:

- um vidro incolor de 8mm e fator solar de 82% (Vidro 82);
- um vidro verde de 8mm e fator solar de 62% (Vidro 62);
- um vidro de controle solar verde de 6mm e fator solar de 42% (Vidro 42); e
- um vidro de controle solar verde de 6mm e fator solar 25% (Vidro 25).

O vidro incolor e o vidro verde de 8mm são laminados. Os demais são vidros monolíticos. As propriedades ópticas de cada especificação são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Vidros utilizados na pesquisa e suas características.

Nome	Vidro comum	Vidro 82	Vidro 62	Vidro 42	Vidro 25
Espessura (mm)	3	8	8	6	6
Transmitância solar em incidência normal	0,84	0,76	0,48	0,28	0,12
Refletância solar posição 1	0,07	0,07	0,06	0,19	0,29
Refletância solar posição 2	0,07	0,07	0,06	0,25	0,44
Transmitância visível em incidência normal	0,90	0,89	0,79	0,32	0,14
Refletância visível pos#1	0,08	0,08	0,07	0,24	0,32
Refletância visível pos#2	0,08	0,08	0,07	0,22	0,4
Transm. infravermelho em incidência normal	0	0	0	0	0
Emissividade hemisférica infravermelho pos#1	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade hemisférica infravermelho pos#2	0,84	0,84	0,84	0,66	0,33
Condutividade térmica (W/m.K)	1	1	1	1	1
Fator solar (%)	87	82	62	42	25

Os percentuais de abertura na fachada total (PAFt) selecionados para análise foram de 30%, 45% e 60%. A tabela 5 mostra a composição dos 16 modelos simulados para este trabalho. Os quatro últimos modelos são os de referência, montados para simulação segundo o RTQ-C.

Tabela 5 – Composição dos modelos de acordo com a variação de PAFt, FS, tipo de parede e laje da cobertura.

Modelo	PAFt (%)	Tipo de vidro (FS)	Parede externa	Laje Cobertura
1	30	82	<i>drywall</i>	cob padrão
2	30	62	<i>drywall</i>	cob padrão
3	30	42	<i>drywall</i>	cob padrão
4	30	25	<i>drywall</i>	cob padrão
5	45	82	<i>drywall</i>	cob padrão
6	45	62	<i>drywall</i>	cob padrão
7	45	42	<i>drywall</i>	cob padrão
8	45	25	<i>drywall</i>	cob padrão
9	60	82	<i>drywall</i>	cob padrão
10	60	62	<i>drywall</i>	cob padrão
11	60	42	<i>drywall</i>	cob padrão
12	60	25	<i>drywall</i>	cob padrão
Ref A	18	87	cerâmica	cob 1,0
Ref B	31	87	cerâmica	cob 1,5
Ref C	44	87	cerâmica	cob 2,0
Ref D	57	87	cerâmica	cob 2,0

Para a avaliação da envoltória segundo o método prescritivo do RTQ-C, foi utilizada a equação 3.6 referente a edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 2 e 3, com A_{PE} (área de projeção do edifício) maior que 500 m^2 . No RTQ-C, a A_{PE} se diferencia do conceito usualmente utilizado na área de arquitetura e engenharia, sendo que a sua definição não é a soma das áreas das coberturas, e sim a média da soma das áreas dos pavimentos.

$$IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAFt + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54.PAFt.AHS + 277,98$$

Onde:

FA = Fator altura (A_{pcob} / A_{tot});

FF = Fator de Forma (A_{env} / V_{tot});

PAFt = Percentual de abertura de fachada total;

FS = Fator solar;

AVS = Ângulo vertical de sombreamento;

AHS = Ângulo horizontal de sombreamento.

O RTQ-C estabelece que para avaliação da envoltória por simulação é necessário fazer comparativo do consumo de energia anual do modelo real com quatro modelos de referência. Esses são montados para estabelecer os níveis de classificação e devem utilizar valores máximos de transmitância térmica e de absorvância solar para o nível de eficiência pretendido; o PAFt utilizado deve ser o maior possível para cada nível; o vidro deve ser simples, de 3 mm com FS de 87%.

Após o estabelecimento dos modelos a serem avaliados, foi realizada a comparação entre o IC e a classificação final, obtidos através do método prescritivo, e o consumo de energia anual do edifício, obtido através da simulação pelo *EnergyPlus*. O consumo analisado é apenas referente ao sistema de condicionamento de ar, pois a mudança na envoltória acarreta em impacto na carga térmica do edifício, conseqüentemente no uso deste sistema. Nos casos analisados, a utilização de equipamentos e iluminação é a mesma e não foi levada em consideração para a comparação dos dados. Apesar da importância da luz natural e sua influência no dimensionamento do sistema de iluminação artificial, ela não será analisada para limitar o

escopo deste estudo. Além disso, o método prescritivo da envoltória não avalia a economia de energia gerada pela contribuição da luz natural obtida através das aberturas do edifício.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para análise dos resultados foi feito um comparativo entre o índice de consumo (IC) proposto pelo RTQ-C, que representa o consumo do condicionamento de ar, e os resultados de consumo de energia fornecidos pelo software *EnergyPlus*. Na tabela 6 é possível verificar o consumo em kWh, o IC e classificação segundo o método prescritivo e também a classificação segundo a simulação seguindo os moldes do RTQ-C. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que dos 12 casos analisados segundo parâmetros do RTQ-C, apenas três classificações mantiveram-se as mesmas na avaliação pelo prescritivo e pela simulação. Em outros sete casos a classificação por simulação foi melhor e em dois foi pior.

O método prescritivo favorece os modelos que apresentam o menor PAF_T, ou seja, os modelos de 1 a 4. O modelo 12, mesmo utilizando um vidro de alta performance (FS=25%) recebeu uma classificação baixa (nível D). Quando o consumo de energia apontado pela simulação é comparado, observa-se que o modelo 12 apresenta um consumo menor do que o modelo 1, classificado como B pelo método prescritivo. A simulação dos modelos aponta que, apesar da utilização de um maior PAF_T para a mesma geometria, um vidro de FS=25% (alta performance) favoreceria a redução do consumo energético do edifício em cerca de 11%, tendência esta não apontada pela classificação segundo o método prescritivo do RTQ-C.

Tabela 6 – Modelos utilizados na pesquisa e resultados da simulação e classificação segundo RTQ-C

Modelo	PAF _T	FS	Consumo (KWh)	IC	Classificação prescritivo	Classificação simulação
1	30	82	961.967	55,95	B	C
2	30	62	903.903	54,97	B	C
3	30	42	842.844	54,00	B	B
4	30	25	796.785	53,17	B	B
5	45	82	1.052.965	48,32	D	C
6	45	62	972.604	47,35	C	C
7	45	42	889.165	46,38	C	B
8	45	25	824.835	45,55	C	B
9	60	82	1.133.103	40,70	E	C
10	60	62	1.034.094	39,73	E	C
11	60	42	930.449	38,76	D	C
12	60	25	851.453	37,93	D	B
Ref A	18	87	792.133	--	--	A
Ref B	31	87	892.214	--	--	B
Ref C	44	87	1.082.906	--	--	C
Ref D	57	87	1.152.390	--	--	D

Os gráficos apresentados na figura 3 mostram a variação percentual do consumo de energia e do IC em função do fator solar, para PAF_T de 30%, 45% e 60%. Os valores percentuais apresentados nos gráficos correspondem à variação de consumo ou IC calculado em relação ao pior caso, ou seja, os modelos com fator solar 82. A reta descrita pela variação dos resultados da simulação não segue a mesma tendência de variação do IC. Conforme o fator solar aumenta, maior é a distância entre as retas. Assim como o fator solar, pode-se observar também que quanto maior o PAF_T, maior a diferença entre as tendências.

Para os modelos com PAF_T igual a 60%, a diferença de consumo entre o modelo com vidro de fator solar 25% e o modelo com vidro de fator solar 82% chegou a 24,9%, enquanto que pelo método prescritivo, a variação no indicador de consumo entre esses casos foi de apenas 6,8%. A análise dos modelos com PAF_T=30% (modelos de 1 a 4) apresenta uma diferença de 17% no consumo nos resultados da simulação e o índice de consumo aponta apenas 5%. Isso mostra uma discrepância relevante quanto ao impacto do vidro no desempenho térmico da edificação quando os métodos são comparados.

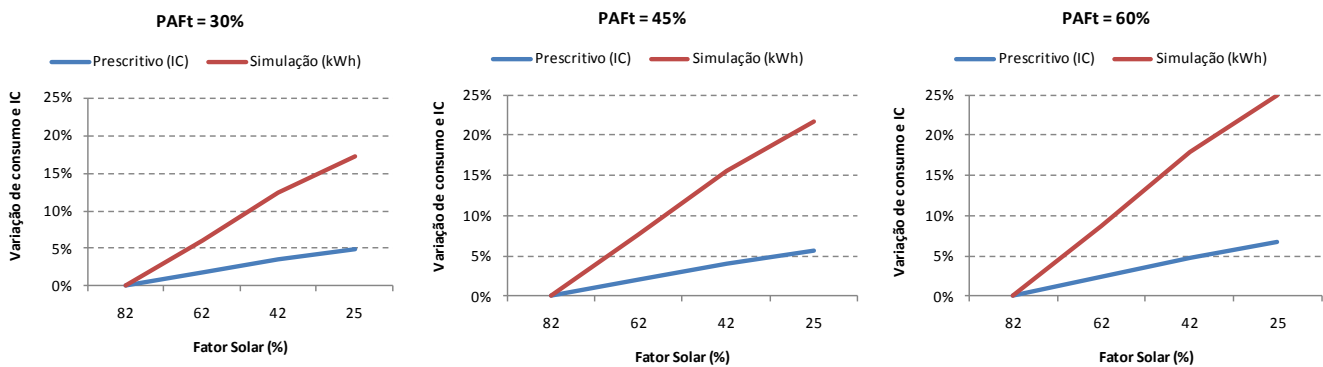


Figura 3 – Gráficos do percentual de variação do consumo de energia (simulação) e IC (prescritivo) em função do fator solar para os PAFts de 30%, 45% e 60%.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa se propôs a analisar a influência do tipo de vidro e área de abertura das fachadas nos métodos propostos para avaliação do nível de eficiência energética de edificações de acordo com o a etiquetagem do INMETRO (RTQ-C). Simulações computacionais com o software EnergyPlus foram executadas para avaliar a diferença de análise de desempenho promovida pelo método prescritivo e pelo método de simulação previstos no RTQ-C.

A partir das simulações realizadas, é possível observar que há discrepâncias significativas entre os resultados da simulação e a classificação pelo método prescritivo do RTQ-C. Enquanto que pela simulação, o consumo energético dos modelos analisados, chegou a uma economia de cerca de 25%, pelo método prescritivo essa diferença não chegou aos 7%. No modelo 12, com vidro de fator solar 25% e com percentual de abertura na fachada de 60%, a classificação subiu de nível D para nível B, quando mudou-se a metodologia de análise do método prescritivo para a simulação.

De acordo com as análises, o método prescritivo tende a penalizar os edifícios com altos índices de PAFts, como no caso desse modelo, sem levar em conta o alto desempenho térmico dos vidros utilizados nessas aberturas. Mesmo os modelos com o menor PAFt (modelos de 1 a 4) apresentaram uma diferença na redução do consumo de 17% pela simulação e o IC aponta apenas 5%.

Os resultados inferidos em relação ao Indicador de Consumo apresentado pelo método prescritivo e o comparativo com os resultados obtidos por simulação computacional colocam em dúvida o uso das equações do RTQ-C, como indicativo eficaz de variação do consumo da edificação. Em contradição, os modelos de referência para análise por simulação com vidro comum de 3mm tendem a valorizar ainda mais o uso de vidros com baixo fator solar, o que não é o sugerido pelo método prescritivo.

Esses resultados foram obtidos para uma tipologia de edifício de escritórios, na cidade de Florianópolis. Outros climas e tipologias arquitetônicas deverão ser analisadas no futuro como proposta de avaliação de compatibilidade entre os dois métodos de classificação previstos na etiquetagem do INMETRO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações - Parte 1 Definições, símbolos e Unidades. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.
- INMETRO. “Portaria n. 372, de 17 de setembro de 2010”. Disponível em: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 20/09/10.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L. e PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Pro Livros - São Paulo, SP, 2004.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRÁS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto, dentro da Rede de Eficiência Energética em Edificações (R3E).