EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE HABITAÇÕES NO RIO DE JANEIRO: O IMPACTO DAS ESQUADRIAS PELA INI-R

Alice Brasileiro (1); Claudio Oliveira Morgado (2); Thiago Coutinho Torres (3)
(1) D.Sc., Arquiteta, alicebrasileiro@fau.ufrj.br.
(2) D.Sc., Arquiteto, claudio.morgado@fau.ufrj.br.
(3) M.Sc., Arquiteto, thiago.torres@fau.ufrj.br.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Construção. Av. Pedro Calmon, n° 550, Sala 422. Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. CEP 21941-901

RESUMO
No âmbito da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, a Instrução Normativa Inmetro para Eficiência Energética das Edificações Residenciais (INI-R) se constitui no instrumento legal para a obtenção da classificação da eficiência energética das habitações, de acordo com a zona bioclimática. O presente estudo se concentra na cidade do Rio de Janeiro, zona 8, e tem por objetivo verificar como determinados parâmetros arquitetônicos, utilizados no processo de avaliação, podem impactar na classificação da envoltória das habitações. Foi investigada especificamente a influência das esquadrias, por serem elementos arquitetônicos facilmente substituíveis na busca por uma melhor classificação da residência, ao contrário dos materiais constituintes das paredes, por exemplo. O trabalho dá continuidade a uma investigação anterior, feita de modo semelhante, que utilizou o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O estudo atual utilizou o método simplificado da INI-R e ambos testaram a influência das esquadrias nos resultados da avaliação da envoltória de uma unidade habitacional hipotética, de apenas um ambiente de permanência prolongada, em um edifício residencial multifamiliar, testado em quatro orientações diferentes. Os parâmetros definidos para a investigação das esquadrias foram seu percentual de abertura (45% ou 90%) e existência ou não de venezianas, sendo esses elementos cruzados entre si em combinações diversas. Os resultados indicam o sombreamento por venezianas como o parâmetro de influência mais significativa, podendo proporcionar ganhos em um nível de eficiência para a mesma orientação. O percentual de abertura pode ou não proporcionar ganhos ao ser alterado, embora estes sejam mais discretos e, no atual regulamento, INI-R, não chegue mais a significar alteração na classificação, diferentemente do que ocorria no RTQ-R. O produto desta análise poderá ser adotado como ferramenta para tomadas de decisão em reformas de habitações e como insumo para projetos de novas residências.

Palavras-chave: INI-R, esquadrias, aberturas, sombreamento

ABSTRACT
Within the Brazilian National Policy for Saving and Rational Use of Energy, Inmetro's Normative Instruction for the Classification of Energy Efficiency in Residential Buildings (INI-R) is the legal instrument for obtaining the rating the energy efficiency of dwellings. This paper focuses on Rio de Janeiro city and aims to verify how some architectural variables used in the evaluation process can be more decisive than others for classification of dwellings about their efficiency in terms of electric energy consumption. The influence of openings was specifically investigated, as they are easily replaceable architectural elements in the search for a better classification, unlike the constituent materials of the walls, for example. The work continues a previous investigation, done in a similar way, which used the prescriptive method of the Regulation of Technical Quality Level Energy Efficiency of Residential Buildings (RTQ-R). The current study used the simplified method of INI-R, and both tested the influence of openings on the envelope evaluation results of a hypothetical housing unit, in a multifamily residential building, tested in four different orientations. The parameters defined for the investigation of the frames were their opening percentage (45% or 90%) and the existence or not of louvers. The results indicate shading by louvers as the most significant parameter of influence. The opening percentage may or may not provide gains when changed, although these are more discreet and, in the current regulation, INI-R, it no longer means a change in classification, unlike what happened in the RTQ-R. The product of this analysis can be adopted as a tool for decision-making in housing renovations and as input for new home projects.

Keywords: INI-R, openings, shading

1. INTRODUÇÃO

Esquadrias, como partes operáveis de uma envoltória, atuam como conexão entre o exterior e o interior de uma edificação. Além dos aspectos estéticos, exercem principalmente funções de proteção e conforto, e essas funções são atendidas segundo o material utilizado e o sistema de abertura. São esses dois quesitos que permitem a entrada de luz e ar para o interior da edificação, através da abertura. Caso haja um desequilíbrio no cumprimento dessas finalidades, por qualquer que seja a razão, o usuário tende a restabelecê-lo, o que geralmente é feito por meio da utilização de um sistema ativo, que consome energia. Dados da Empresa de Pesquisa Energética indicam que, no Brasil, o setor de edificações consome 52% da energia elétrica do país (EPE, 2020), e as previsões indicam um aumento desse consumo para os próximos anos (IEA, 2023). Portanto, em face à necessidade cada vez mais urgente da redução do consumo energético, as edificações não deveriam contribuir para um consumo excessivo, pelo contrário, sua forma física e constituição devem ser concebidas para suprir as necessidades humanas sem um gasto energético desnecessário. Nesse sentido, as esquadrias, ao promover a ligação do exterior com o interior, podem representar, literalmente, um canal através do qual a energia pode ser desperdiçada, como Chen et al. (2020) demonstram, ao analisar o aumento do consumo energético em função do tipo e do tamanho das aberturas.

No Brasil, há mais de dez anos, as edificações podem ter sua eficiência energética avaliada e classificada, por meio da emissão da ENCE[1]. Desde o escopo originalmente publicado para as edificações residenciais (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R) (BRASIL, 2010), houve diversas atualizações, porém, uma substancial reformulação foi publicada em 2022 (BRASIL, 2022), dando origem à INI-R (Instrução Normativa Inmetro para Eficiência Energética das Edificações Residenciais). A INI-R alterou a metodologia de cálculo do RTQ-R, passando de um modelo de regressão linear para um modelo de redes neurais artificiais, capaz de produzir resultados mais próximos da realidade. Outra alteração foi a relação estabelecida entre a INI-R e a NBR 15.575 (ABNT, 2021), na adoção dos mesmos parâmetros técnicos de avaliação e dando paridade do nível mínimo de desempenho obtido nesta à classificação nível "C" daquela. Mesmo antes de sua publicação formal, a INI-R já havia sido objeto de estudos por pesquisadores, avaliando seu uso e adoção (ELI et al., 2021), (PIEROZAN; WATZKO; GHISI, 2021), além dos estudos que utilizam a NBR 15.575 (ABNT, 2021) como diretriz, mas que por conseguinte, avaliam também os mesmos parâmetros adotados na INI-R, como Souza et al., 2022; Ferreira et al., 2022 e Domingues, Abreu-Harbich, 2022.

Assim, tomando como parâmetro metodológico os procedimentos de cálculo adotados no método simplificado da INI-R (BRASIL, 2022), o presente trabalho dá continuidade a uma pesquisa anterior (BRASILEIRO; MORGADO; TORRES, 2014), que busca identificar como as esquadrias influenciam na classificação da envoltória das unidades, analisando seu sistema de abertura, sombreamento e orientação, procurando responder a questões para tomadas de decisões nas reformas de habitações localizadas na cidade do Rio de Janeiro. É sabido que nem sempre uma reforma tem o poder de modificar em grandes proporções uma edificação. Cada caso merece ser avaliado individualmente, e cada um apresentará suas próprias dificuldades, sejam elas de ordem física e/ou econômica. Dessa forma, o resultado idealmente pretendido pode não ser o possível de ser alcançado, havendo situações em que será necessária uma escolha em detrimento de outra. Sendo um elemento arquitetônico de fácil substituição, as esquadrias podem ser decisivas nesse processo, e nisso reside o objetivo do trabalho, o conhecimento de o quanto a sua troca por outro modelo poderá melhorar, por orientação, o desempenho energético da habitação.

Portanto, a partir do trabalho anterior, e com a publicação formal da nova metodologia, a mesma investigação foi realizada, sobre as mesmas unidades e condicionantes, porém, adotando-se os novos procedimentos de cálculo. A razão da continuidade da pesquisa foi investigar se e como a nova metodologia alterou os possíveis resultados de classificação da envoltória das unidades habitacionais (UH).

2. OBJETIVO

Partindo da comparação com um trabalho anterior (BRASILEIRO; MORGADO; TORRES, 2014), que utilizou o RTQ-R (BRASIL, 2012), continuou-se a investigação, agora utilizando a INI-R (BRASIL, 2022), de como a substituição das esquadrias de uma habitação pode influenciar na classificação de eficiência energética da sua envoltória, considerando-se sua orientação, percentual de abertura e existência ou não de venezianas.

[1] Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

3. MÉTODO

Com um fim exploratório, a análise da influência das esquadrias na classificação do nível de eficiência energética foi feita de modo experimental, utilizando o método simplificado da INI-R para a cidade do Rio de Janeiro (ZB-8), considerando a classificação obtida para a envoltória.

Para isolar o componente "esquadrias" foram admitidas como variáveis a orientação, o percentual de abertura das esquadrias e se estas possuíam ou não venezianas. As demais componentes foram consideradas como padrão, para todos os testes realizados, a saber: Upar= 2,43 W/m².K; CTpar= 152 kJ/m².K; Absortância = 0,40; condição de piso e de cobertura entre pavimentos; PD= 3,00m. Esquadrias testadas: Tipos 1 e 3 do Anexo II do RTQ-R (BRASIL, 2012). Além desses, por força da nova metodologia da INI-R, outras componentes de cálculo que não existiam no RTQ-R, foram demandadas, sendo adotadas para todas as configurações pesquisadas: Coeficiente de Eficiência Energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEEr) 3,5; Coeficiente de Eficiência Energética do sistema de condicionamento de ar para aquecimento (CEEa) 3,47; Uvid 5,7 W/m²K; FS 0,87; Upiso 3,7 W/m²K; CTpiso 230 kJ/m²; todos os ângulos de sombreamento zerados; existência de uma porta interna sempre na parede oposta à abertura.

A aplicação foi feita em um compartimento hipotético, um modelo utilizado como APP, com dimensões em metros de 3x3x3 (Figura 1), em diferentes orientações, com três paredes confinadas e uma janela que ocupa metade da única parede voltada para o exterior (Figura 2).

A consideração do percentual de abertura das esquadrias em 45% e 90% foi tomada dos tipos 1 (janela de abrir 90°) e 3 (janela de correr) de esquadrias disponibilizados no Anexo II do RTQ-R (BRASIL, 2012). Em ambas as esquadrias, foi considerada a possibilidade de existir ou não venezianas, o que produziu a utilização de quatro modelos de esquadrias.

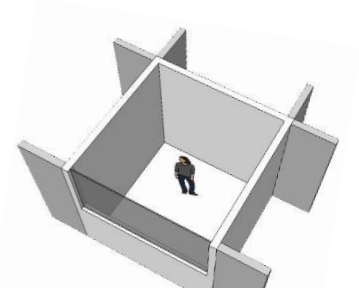


Figura 1 - Modelo virtual: uma face externa e três internas, testado em diferentes orientações

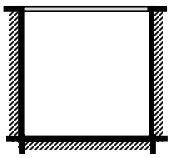
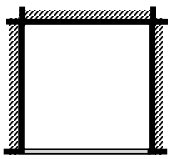
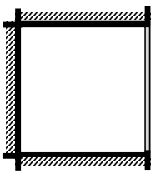
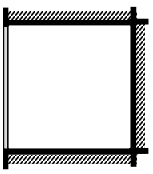
	Abertura Norte	Abertura Sul	Abertura Leste	Abertura Oeste
N ↑				
Características	Uma face externa e três internas, testado em diferentes orientações. Compartimento medindo 3x3x3m. A abertura ocupa metade da parede. Area de parede externa: 4,5m²; Área de parede interna: 3x9 = 27m²; Área da abertura:4,5m²			
Combinações de análise	Abertura 45% sem venezianas / Abertura 45% com venezianas / Abertura 90% sem venezianas / Abertura 90 % com venezianas			

Figura 2 – Plantas esquemáticas do modelo virtual, suas características e as combinações de análise adotadas.

O questionamento a respeito de o quanto uma troca de esquadria poderia ser vantajosa, do ponto de vista da classificação energética, foi feito para o APP isoladamente, e buscou-se respostas para três perguntas:

a) Em cada orientação, para um mesmo tamanho de abertura, como a presença de venezianas pode contribuir para um melhor resultado?
b) Em cada orientação, aumentar o tamanho da abertura pode contribuir para um melhor resultado?
c) Em cada orientação, o que pode influenciar mais em um bom resultado? Abertura maior ou venezianas?

3.1. Os procedimentos de cálculo

Não é demais ressaltar que os cálculos foram feitos para **uma UH de um único APP**. Para a análise das esquadrias foram promovidas diferentes combinações entre [orientação da abertura / % Abertura / Venezianas] e estas organizadas em planilha eletrônica, gerando dezesseis combinações possíveis (Tabela 1).

As 16 combinações investigadas foram submetidas separadamente à interface de cálculo[2] do método simplificado da INI-R. Elas ocuparam o lugar da edificação real no método. Para a edificação de referência, foram calculadas apenas 4 combinações – as das orientações – já que o percentual de abertura e a ausência de venezianas são dados fixos do modelo de referência. A nova metodologia de cálculo, trazida pela INI-R, trouxe também novos formatos de resultados. Anteriormente, no RTQ-R, os resultados eram fornecidos em GHR (Graus Hora Resfriamento), havendo somente um resultado por combinação. Na INI-R, há resultados em diferentes indicadores:

- CgTR – Carga térmica de refrigeração(kWh/ano)
- CgTA – Carga térmica de aquecimento (kWh/ano)
- PHFT – Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (%)
- Tomax Temperatura operativa anual máxima (°C)
- Tomin – Temperatura operativa anual mínima (°C)

Os critérios a serem atendidos para a classificação da envoltória partem da combinação desses indicadores, que têm diretrizes específicas para cada tipo de UH. O modelo pesquisado é uma UH em edifício multifamiliar, pavimento tipo, no Rio de Janeiro (ZB8). Cabe antecipar aqui a informação de que todos os resultados do PHFT da edificação de referência ($PHFT_{ref}$) foram superiores a 70%, pois isso interferirá nos valores do incremento mínimo para o PHFT ($\Delta PHFT_{min}$) e da redução mínima de carga térmica ($RedCgTT_{min}$) a serem atendidos. Além disso, todos os resultados da divisão da carga térmica total da UH de referência pela área de piso da UH ($CgTTUH_{ref}$/Api UH) foram inferiores a 100, índice que também interfere no $RedCgTT_{min}$ a ser atendido. Dessa forma, os critérios de classificação se configuram conforme visto na Tabela 2.

Tabela 1 – Combinações para os cálculos no modelo virtual da edificação

% abertura / presença **[1]** ou ausência **[0]** de venezianas				
	45/0	**45/1**	**90/0**	**90/1**
Oeste	1	2	3	4
Norte	5	6	7	8
Leste	9	10	11	12
Sul	13	14	15	16

Tabela 2 – Critérios de classificação a serem atendidos pela UH em análise (em pavimento tipo de prédio residencial multifamiliar, no Rio de Janeiro)

Classe	**Critérios a serem atendidos para a UH em análise**		
	CgTT	**PHFT**	**Tomax**
A	$RedCgTT \geq RedCgTT_{min}A$ (45%)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{min}$ (0%)	$Tomáx_{real} \leq Tomáx_{ref} + \Delta Tomáx$ (1°C)
B	$RedCgTT \geq RedCgTT_{min}B$ (22%)		
C	$RedCgTT \geq 0\%$	$PHFT_{real} > 0{,}9\ PHFT_{ref}$	
D	$RedCgTT \geq RedCgTT_{min}D$ (-22%)		
E	Não atende aos critérios da Classe D		
Nomenclatura: RedCgTT: Redução da carga térmica total; $RedCgTT_{min}$: Redução mínima da carga térmica total; $\Delta PHFT$: incremento do $PHFTUH_{,real}$ em relação ao $PHFTUH_{,ref}$; $\Delta PHFT_{min}$: incremento mínimo do $PHFTUH_{,real}$; Tomax: temperatura operativa anual máxima;			

A classificação da envoltória da UH na INI-R é dada pelo atendimento a todos os critérios, simultaneamente, para uma mesma classe. Contudo, a pesquisa buscou mais do que apenas a classificação em si, procurando comparar os valores que deram origem a ela. No RTQ-R, a avaliação se deu pela análise dos valores de GHR obtidos. Na INI-R, apesar de ser necessária a combinação de todos os critérios para a classificação, aqui também serão analisados os resultados individuais dos indicadores CgTR, PHFT e Tomax, em função das variáveis construtivas colocadas em evidência (orientação/% abertura/venezianas).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as para as 16 combinações pesquisadas, tanto na avaliação atual, pela INI-R, quanto pela avaliação anterior, pelo RTQ-R, estão relacionados na Tabela 3 (o consumo para aquecimento, por não ser significativo, foi omitido).

[2] https://cb3e.sites.ufsc.br/interface?

Tabela 3 – Resultados obtidos para a INI-R (edificação real e de referência) e para o RTQ-R. As cores nas 2ª e última coluna expressam a classificação obtida na envoltória, pela INI-R (2ªcoluna) e pelo RTQ-R (última coluna). Classificação do A (verde escuro – melhor) ao E (vermelho – pior).

Combinação pesquisada Orient. abert. / % abert / veneziana sim ou não [1 ou 0]		**Resultado INI-R**												**Result. RTQ-R**
		PHFT (%)		**CgTR** (kWh)		**CgTA** (kWh)		**Tomax** °C		**Tomin** °C		**Consumo resfriamento** (kWh)		GHR
		Real	Ref	Real	Ref	Real	Ref	Real	Ref	Real	Ref	Real	Ref	
1	**O/45/0**	82,85	81,36	435,98	463,62	0	0	31,93	30,81	17,59	17,63	124,56	132,46	12167
2	**O/45/1**	90,42		263,6		0		30,5		17,59		75,31		6604
3	**O/90/0**	85,42		404,75		0		31,42		17,57		115,64		11301
4	**O/90/1**	90,03		256,35		0		30,27		17,56		73,24		5739
5	**N/45/0**	84,35	82,47	396,32	425,46	0	0,05	31,62	30,9	17,59	17,63	113,24	121,56	10360
6	**N/45/1**	89,44		241,24		0		30,44		17,59		68,92		5859
7	**N/90/0**	84,73		389,83		0		31,05		17,56		111,38		9693
8	**N/90/1**	89,2		242,06		0		30,02		17,56		69,16		5152
9	**L/45/0**	82,24	81,89	423,57	434,47	0	0,16	31,72	30,71	17,57	17,61	121,02	124,13	9759
10	**L/45/1**	87,25		270,75		0		30,22		17,56		77,36		5102
11	**L/90/0**	84,56		404,8		0,01		31,22		17,55		115,66		9082
12	**L/90/1**	88,51		266,18		0,03		30,01		17,54		76,05		4425
13	**S/45/0**	86,48	85,37	388,24	420,66	0,01	0,27	31,68	30,66	17,63	17,64	110,93	120,16	8348
14	**S/45/1**	91		243,89		0,02		30,38		17,62		69,68		4599
15	**S/90/0**	87,08		357,53		0,07		31,19		17,61		102,15		7710
16	**S/90/1**	90,35		232,7		0,08		30,02		17,6		66,49		3962

Nomenclatura: PHFT: % de horas ocupadas em conforto; CgTR: Carga Térmica de Refrigeração; Tomax: Temperatura Operativa Anual Máxima; Tomín: Temperatura Operativa Anual Mínima; GHR: Graus-hora resfriamento

Em termos de classificação da envoltória, pode-se dizer que na avaliação pela INI-R, houve quase uma padronização de resultados, onde as combinações com venezianas obtiveram classificação "B" e as sem venezianas, "C", com exceção das combinações 1, 9 e 13, que por poucos centésimos de °C, não atenderam ao critério de $Tomax_{real} \leq Tomax_{ref} + \Delta Tomax$, sendo então levados à classificação "E". Ou seja, pode-se dizer que, pela INI-R, visando a classificação da envoltória, **não adianta apenas aumentar a abertura**. No RTQ-R, já havia sido percebido que a presença de venezianas exercia uma influência bem mais significativa, mas o aumento da abertura ajudava a promover melhores classificações, chegando a haver algumas "A", nas melhores posições, como visto na Tabela 3.

Como o intuito é investigar não apenas a classificação em si, procedeu-se à análise pela sequência de resultados de CgTR, PHFT e Tomax, organizados do **melhor** para o **pior** (Tabela 4), sendo possível perceber que o melhor resultado em um determinado indicador nem sempre corresponde à mesma posição nos outros indicadores.

Tabela 4 – Ordenação das 16 combinações pesquisadas, segundo os resultados obtidos (**do melhor para o pior**), no GHR (oriundo do RTQ-R) e nos três indicadores CgTR, PHFT e Tomax (oriundos da INI-R). As retas coloridas indicam a variação na posição de uma mesma combinação pelos diferentes indicadores.

Posição crescente de **GHR**		Posição crescente de **CgTR**		Posição decrescente de **PHFT**		Posição crescente de **Tomáx**		
16	(S-90-1)	**16**	(S-90-1)	**14**	(S-45-1)	**12**	(L-90-1)	**MELHOR**
12	(L-90-1)	**6**	(N-45-1)	**2**	(O-45-1)	**16**	(S-90-1)	
14	(S-45-1)	**8**	(N-90-1)	**16**	(S-90-1)	**8**	(N-90-1)	
10	(L-45-1)	**14**	(S-45-1)	**4**	(O-90-1)	**10**	(L-45-1)	
8	(N-90-1)	**4**	(O-90-1)	**6**	(N-45-1)	**4**	(O-90-1)	
4	(O-90-1)	**2**	(O-45-1)	**8**	(N-90-1)	**14**	(S-45-1)	
6	(N-45-1)	**12**	(L-90-1)	**12**	(L-90-1)	**6**	(N-45-1)	
2	(O-45-1)	**10**	(L-45-1)	**10**	(L-45-1)	**2**	(O-45-1)	
15	(S-90-0)	**15**	(S-90-0)	**15**	(S-90-0)	**7**	(N-90-0)	
13	(S-45-0)	**13**	(S-45-0)	**13**	(S-45-0)	**15**	(S-90-0)	
11	(L-90-0)	**7**	(N-90-0)	**3**	(O-90-0)	**11**	(L-90-0)	
7	(N-90-0)	**5**	(N-45-0)	**7**	(N-90-0)	**3**	(O-90-0)	
9	(L-45-0)	**3**	(O-90-0)	**11**	(L-90-0)	**5**	(N-45-0)	
5	(N-45-0)	**11**	(L-90-0)	**5**	(N-45-0)	**13**	(S-45-0)	
3	(O-90-0)	**9**	(L-45-0)	**1**	(O-45-0)	**9**	(L-45-0)	
1	(O-45-0)	**1**	(O-45-0)	**9**	(L-45-0)	**1**	(O-45-0)	**PIOR**

Nomenclatura: PHFT: % de horas ocupadas em conforto; CgTR: Carga Térmica de Refrigeração; Tomax: Temperatura Operativa Anual Máxima; Tomín: Temperatura Operativa Anual Mínima; GHR: Graus-hora resfriamento; (O-45-1) -exemplo : orientação Oeste (O), abertura em 45% (45), com sombreamento (1)

A primeira e mais evidente leitura dos resultados é que em qualquer dos indicadores, as oito melhores posições são as combinações com venezianas e as oito piores são sem venezianas. Visualmente, na Tabela 4, isso é perceptível porque apesar de haver diferenças nas posições melhores e piores por entre os indicadores, os cruzamentos de retas ocorrem sempre dentro de cada conjunto em mesma situação de venezianas (nenhuma reta da metade superior cruza com a metade inferior e vice-versa).

Também é possível observar que as orientações sul, em qualquer percentual de abertura, sem venezianas, marcam o ponto médio das 16 posições; são as melhores dentre os sem venezianas, tanto pelo RTQ-R quanto pela INI-R, essa em CgTR e PHFT.

Pelo RTQ-R e pela INI-R (em 2 indicadores), a pior combinação foi O-45-0. Apenas no PHFT a pior combinação foi L-45-0, mas por uma diferença pequena, cerca de 0,7% entre os dois valores.

Em Tomax as oito piores posições obedecem a um padrão de orientação, na ausência de venezianas, ordenados pela orientação e abertura. Do melhor para o pior em orientação, seguem N-S-L-O, com aberturas maiores e depois com aberturas menores. Na presença de venezianas esse padrão se altera, ficando a orientação oeste pior do que a orientação leste, mas independentemente do tamanho das aberturas. Ainda na presença das venezianas, as orientações norte e sul têm melhor resultado nas maiores aberturas, sendo sul melhor do que norte.

Pelo RTQ-R, na presença de venezianas, há um padrão de classificação entre a abertura 45% e 90%. A abertura maior é sempre melhor, havendo entre esta e a abertura menor, uma posição ocupada por uma outra orientação. Na INI-R não ocorre esse padrão. Isso pode mostrar a força da nova metodologia, ao revelar a complexidade da interação entre as diferentes variáveis, que oscilam em diferentes sentidos, para uma mesma orientação e abertura.

Muitas outras leituras poderiam ser feitas a partir da Tabela 4, mas devido ao tamanho limitado do artigo, serão respondidas diretamente as questões que buscam orientar, em caso de reforma, qual seria a intervenção preferencial, que potencialmente, poderia contribuir mais para um melhor resultado.

a) Em cada orientação, para um mesmo tamanho de abertura, como a presença de venezianas pode contribuir para um melhor resultado?

Em termos da classificação da envoltória, o investimento em venezianas significa a obtenção do nível B, enquanto para as mesmas condições de orientação e abertura, sem venezianas, a classificação seria C. Olhando especificamente para os indicadores individualmente, a diferença de resultados, por orientação, é apresentada na Tabela 5, onde a diferença nos resultados é caracterizada pelo posicionamento na classificação das 16 combinações estudadas, por indicador. Ou seja, quantas posições uma determinada combinação consegue melhorar, ao se investir em venezianas, para uma mesma orientação e tamanho de abertura.

Tabela 5 –Resultado da posição obtida das combinações pesquisadas, pelos três indicadores CgTR, PHFT e Tomax (oriundos da INI-R) e diferencial de quantas posições separam a melhor para a pior situação, em cada combinação e orientação. **Item em análise: Com ou sem venezianas**.

Orientação da abertura	**Combinação em análise**		Posição da [melhor] (1ª) para a pior (16ª) situação entre as 16 combinações investigadas, nos indicadores CgTR, PHFT e Tomax						Σ Dif. posições
			CgTR	Dif. posições	PHFT	Dif. posições	Tomax	Dif. posições	
Norte	Abert. 90%	Com venez.	[3ª]	*8*	[6ª]	*6*	[3ª]	*6*	*20*
		Sem venez.	11ª		12ª		9ª		
	Abert. 45%	Com venez.	[2ª]	*10*	[5ª]	*9*	[9ª]	*4*	*23*
		Sem venez.	12ª		14ª		13ª		
Sul	Abert. 90%	Com venez.	[1ª]	*8*	[3ª]	*6*	[2ª]	*8*	*22*
		Sem venez.	9ª		9ª		10ª		
	Abert. 45%	Com venez.	[4ª]	*6*	[1ª]	*9*	[6ª]	*8*	*23*
		Sem venez.	10ª		10ª		14ª		
Leste	Abert. 90%	Com venez.	[7ª]	*7*	[7ª]	*6*	[1ª]	*10*	*23*
		Sem venez.	14ª		13ª		11ª		
	Abert. 45%	Com venez.	[8ª]	*7*	[8ª]	*8*	[4ª]	*11*	*26*
		Sem venez.	15ª		16ª		15ª		
Oeste	Abert. 90%	Com venez.	[5ª]	*8*	[4ª]	*7*	[5ª]	*7*	*22*
		Sem venez.	13ª		11ª		12ª		
	Abert. 45%	Com venez.	[6ª]	*10*	[2ª]	*13*	[8ª]	*8*	*31*
		Sem venez.	16ª		15ª		16ª		

Em Norte, é constatado maior benefício relativo na abertura 45%, considerando CgTR e PHFT. Considerando Tomax, o maior benefício ocorre na abertura 90%.

Em Sul, o maior benefício é constatado ora na abertura 90% (CgTR), ora na abertura 45% (PHFT). Para Tomax, não há diferenças entre as aberturas.

Em Leste, também o maior benefício relativo é constatado na abertura 45%, considerando PHFT e Tomax. Para CgTR, não há diferenças entre as aberturas.

Em oeste, nas três variáveis, o maior benefício relativo é constatado na abertura 45%.

Olhando para a diferença de posições somadas por tamanho de abertura, constata-se que o maior impacto ocorre, inegavelmente, na abertura 45%, em todas as orientações (somatórios 23-23-26-31, contra 20-22-23-22).

b) Em cada orientação, aumentar o tamanho da abertura pode contribuir para um melhor resultado?

Na INI-R, nem sempre a abertura maior é associada a melhores resultados, dependendo do parâmetro analisado, com exceção de Tomax, que indica sempre o melhor resultado para a maior abertura, com pouca ou nenhuma diferença caso haja venezianas ou não, como visto a seguir na Tabela 6. Do mesmo modo que a Tabela 5, a diferença de resultados será caracterizada pelo posicionamento na classificação das 16 combinações estudadas, por indicador. Ou seja, quantas posições uma determinada combinação consegue melhorar, ao se investir em uma abertura maior, para uma mesma orientação e situação de venezianas.

Tabela 6 –Resultado da posição obtida das combinações pesquisadas, pelos três indicadores CgTR, PHFT e Tomax (oriundos da INI-R) e diferencial de quantas posições separam a melhor para a pior situação, em cada combinação e orientação. **Item em análise: Esquadria com abertura 45% ou 90%.**

Orientação da abertura	**Combinação em análise**		Posição da [melhor] (1ª) para a pior (16ª) situação entre as 16 combinações investigadas, nos parâmetros CgTR, PHFT e Tomax						Σ Dif. posições
			CgTR	Dif. posições	PHFT	Dif. posições	Tomax	Dif. posições	
Norte	Com venez.	Abert. 90%	3ª	*-1*	6ª	*-1*	[3ª]	*4*	*2*
		Abert. 45%	[2ª]		[5ª]		7ª		
	Sem venez.	Abert. 90%	[11ª]	*1*	[12ª]	*2*	[9ª]	*4*	*7*
		Abert. 45%	12ª		14ª		13ª		
Sul	Com venez.	Abert. 90%	[1ª]	*3*	3ª	*-2*	[2ª]	*4*	*5*
		Abert. 45%	4ª		[1ª]		6ª		
	Sem venez.	Abert. 90%	[9ª]	*1*	[9ª]	*1*	[10ª]	*4*	*6*
		Abert. 45%	10ª		10ª		14ª		
Leste	Com venez.	Abert. 90%	[7ª]	*1*	[7ª]	*1*	[1ª]	*3*	*5*
		Abert. 45%	8ª		8ª		4ª		
	Sem venez.	Abert. 90%	[14ª]	*1*	[13ª]	*3*	[11ª]	*4*	*8*
		Abert. 45%	15ª		16ª		15ª		
Oeste	Com venez.	Abert. 90%	[5ª]	*1*	4ª	*-2*	[5ª]	*3*	*2*
		Abert. 45%	6ª		[2ª]		8ª		
	Sem venez.	Abert. 90%	[13]ª	*3*	[11]ª	*4*	[12]ª	*4*	*11*
		Abert. 45%	16ª		15ª		16ª		

Em Norte, considerando CgTR e PHFT, se não houver veneziana, a abertura maior obtém melhores resultados. Se houver veneziana, é a abertura menor que obtém melhores resultados. Já considerando Tomax, é indiferente a presença ou não venezianas, mas mantêm-se os melhores resultados em maiores aberturas.

Em Sul, considerando-se CgTR e Tomax, a abertura maior obtém melhores resultados, com ou sem veneziana. Já considerando o PHFT, a abertura maior obtém melhores resultados somente na ausência da veneziana, a exemplo do que também ocorre na orientação norte.

Em Leste, a abertura maior sempre obtém melhores resultados, em todas as variáveis e independentemente da existência ou não de venezianas.

Em Oeste, é verificado o mesmo comportamento do que em Sul, mas com diferenças no distanciamento entre as posições obtidas, como por exemplo, o maior impacto da abertura de 90% ocorre, em oeste, na ausência de venezianas, mas em sul, é na sua existência.

Diferentemente do estudo feito no RTQ-R, onde os resultados apresentaram-se de maneira linear, sendo melhor a abertura maior do que a menor, o estudo feito pela INI-R indicou diferentes comportamentos a esse respeito, por entre os indicadores mostrados.

c) Em cada orientação, o que pode influenciar mais em um bom resultado? Abertura maior ou venezianas?

Para responder a essa questão, foi necessário somar, em cada uma das situações (tamanho de aberturas e existência de venezianas), as diferenças de posicionamento pelos três indicadores (CgTR, PHFT e Tomax), visto sempre na última coluna à direita das Tabelas 5 e 6 e aqui condensadas (Tabelas 7 e 8):

Tabela 7 – Somatório das diferenças de posições por orientação, analisando a existência ou não de venezianas.

Pergunta em evidência: **Quantas posições de melhoria ao se investir em venezianas?**	Σ das diferenças de posições pelas diferentes orientações			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Em abertura 90%	20	22	23	22
Em abertura 45%	23	23	26	31

Tabela 8 – Somatório das diferenças de posições por orientação, analisando a abertura 45% ou 90%.

Pergunta em evidência: **Quantas posições de melhoria ao substituir uma abertura 45% por outra 90% ?**	Σ das diferenças de posições pelas diferentes orientações			
	Norte	Sul	Leste	Oeste
Se houver venezianas	2	5	5	2
Se não houver venezianas	7	6	8	11

Em termos absolutos, a adoção de venezianas produz melhores resultados do que a troca por uma abertura maior, fato que já era constatado no RTQ-R, mas agora, na INI-R, ficou mais evidenciado, havendo situações nas quais anteriormente, apenas a adoção de uma abertura maior seria suficiente para alterar a classificação e agora, não mais.

Pela análise dos dados da Tabela 7, é possível verificar que a adoção de venezianas faz com que os resultados melhorem várias posições entre as 16 combinações, em qualquer que seja a orientação, havendo um impacto ligeiramente maior quando as aberturas forem menores. A ordem de grandeza dos somatórios das diferenças de posições obtidas fica entre 20 e 31. Já ao se examinar a Tabela 8, percebe-se que o mesmo índice tem uma ordem de grandeza de 2 a 11. Isso indica que, ao se substituir uma esquadria de abertura menor por outra de abertura maior, haverá um melhor resultado também, mas não tão impactante quanto a melhoria obtida pela adoção de venezianas, sem necessariamente alterar o tamanho da abertura. Enquanto pelo RTQ-R a adoção de uma abertura maior poderia levar a uma classificação melhor da envoltória (BRASILEIRO; MORGADO; TORRES, 2014), na INI-R não se registra esse mesmo resultado. Utilizar uma abertura maior não necessariamente significará uma melhor classificação da envoltória.

Do mesmo modo, enquanto pelo RTQ-R a adoção de venezianas poderia levar a uma diferença na classificação da envoltória em até dois níveis – de "D" para "B", por exemplo, dependendo da orientação (BRASILEIRO; MORGADO; TORRES, 2014), na INI-R constata-se a elevação da classificação, mas em apenas um nível.

Após as respostas aos três questionamentos, é possível verificar que uma simples substituição de esquadrias pode contribuir para o aumento da eficiência energética da habitação (ainda que a abrangência do presente trabalho tenha suas limitações). Em um caso de reforma da habitação, a substituição de esquadrias é um procedimento que pode ser feito em um dia apenas, com o mínimo de incômodo para o morador e um retorno bastante positivo em termos de eficiência, qualquer que seja a orientação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalhou analisou o comportamento de diferentes modelos de esquadrias na classificação de eficiência energética da envoltória de habitações no Rio de Janeiro, mediante os procedimentos adotados no método simplificado da INI-R (BRASIL, 2022). A principal motivação do trabalho foi a fácil substituição deste elemento arquitetônico em reformas de habitações que busquem melhorar seu desempenho energético. Comparativamente, uma modificação nas propriedades termofísicas de paredes e coberturas ensejariam uma reforma de grande porte, que embora não seja impossível de ser feita, se torna mais improvável de ocorrer, pela complexidade de execução.

Para a investigação, foram utilizados quatro modelos de esquadrias, combinando-se o sistema de abertura (correr, que ventila 45% do vão, ou abrir, que ventila 90% do vão) com o sombreamento (com ou sem venezianas), testados em diferentes orientações.

Como resultados, pôde-se verificar que a adoção de venezianas impacta positivamente nos resultados, tanto na classificação da envoltória quanto ao se voltar o olhar para os indicadores, individualmente (CgTR, PHFT e Tomax). Já se a substituição da esquadria envolver apenas a troca por um modelo que tenha um percentual maior de abertura, nem sempre isso implicará em um resultado melhor, havendo situações, olhadas individualmente, em que isso chega a piorar o resultado. Esse fato revela o quanto a adoção de uma metodologia de cálculo baseada em redes neurais artificiais pode ser mais adequada para dar conta da complexa interação entre as variáveis envolvidas nessa análise, que nem sempre têm seu comportamento de forma linear, algo que, anteriormente, pelo RTQ-R, não necessariamente era capturado nos resultados obtidos.

A investigação chegou ao seu propósito, de buscar diretrizes para orientar usuários em processo de reforma de suas residências, inclusive nas UHs situadas em prédios multifamiliares (desde que haja a concordância do condomínio para a substituição das esquadrias da fachada). Contudo, seus resultados podem ser bastante úteis também como insumos para novos projetos de habitações, a partir dos quais ainda é possível, inclusive, definir a orientação preferencial a ser adotada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio Oliveira; TORRES, Thiago Coutinho. Influência das esquadrias na classificação do nível de eficiência energética de habitações no RJ. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014. In: **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Portaria n°309 - Instruções Normativas e Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais.** 2022.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2010.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

CHEN, Zixuan et al. Optimizing window design on residential building facades by considering heat transfer and natural lighting in nontropical regions of Australia. **Buildings**, v. 10, n. 11, p. 206, 2020.

DOMINGUES, Gabriella; ABREU-HARBICH, Loyde. Avaliação do desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária em diferentes cidades brasileiras. XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2022. In: **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022.

ELI, Gabriela; OLINGER, Marcelo; KRELLING, Amanda; Melo, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais conforme Instrução Normativa do Inmetro (INI-R). XVI ENCAC e XII ELACAC, Palmas, 2021, In: **Anais...** Palmas, 2021.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2020.

FERREIRA, Camila; ASSIS, Eleonora; MARQUES, Camilla. O impacto do tamanho das aberturas no conforto de ambientes naturalmente ventilados. XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2022. In: **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **E4 Country Profile: Energy Efficiency in Brazil**. IEA: Article. Disponível em: https://www.iea.org/articles/e4-country-profile-energy-efficiency-in-brazil Acesso em: 07 março de 2023.

PIEROZAN, Eduardo; WATZKO, Elise; GHISI, Enedir. Avaliação de desempenho térmico e eficiência energética de uma edificação multifamiliar de interesse social no clima da serra gaúcha. XVI ENCAC e XII ELACAC, Palmas, 2021, In: **Anais...** Palmas, 2021.

SOUZA, Larissa; COSTA, Vanessa; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. O impacto do uso de isolamento na cobertura de acordo com a NBR 15575. XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2022. In: **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022.