

ANÁLISE PARAMÉTRICA DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA PELO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C

Tiago de Castro Quevedo(1); Victor Andreas Rocha Baumann(2), Rogério de S. Versage(3)

(1) Graduando em Engenharia Civil, tiago.cq@aluno.ifsc.edu.br.

(2) Graduando em Engenharia Civil, victor.arb@aluno.ifsc.edu.br.

(3) Doutor, Professor, rogerio.versage@ifsc.edu.br.

Instituto Federal de Santa Catarina, *Campus* Florianópolis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC, 88010-400. Telefone (48) 3221-0560.

RESUMO

O objetivo deste artigo é demonstrar a distribuição dos resultados de níveis de eficiência energética de uma edificação pública localizada na zona bioclimática 3 pelo método prescritivo de avaliação da envoltória variando seus parâmetros geométricos e de abertura. O método deste artigo é baseado na análise paramétrica do nível de eficiência energética a partir da variação dos parâmetros de sua envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C. A combinação dos parâmetros resultou em 12.000 casos, aos quais foram calculados os indicadores de consumo da envoltória (ICenv) e definidos seus níveis de eficiência energética entre “A” e “E”. Nos resultados é possível observar as possibilidades de projeto em relação aos níveis de eficiência energética e verificar a ocorrência de cada nível para um mesmo partido de projeto, onde o percentual de abertura na fachada e o ângulo de sombreamento são os parâmetros mais significativos. Por fim, a partir dos resultados da análise paramétrica a escala dos níveis de eficiência energética do RTQ-C foi adaptada para melhor adequação da avaliação de edificações públicas federais à política de eficiência energética.

Palavras-chave: Etiquetagem de Eficiência Energética, Edificações públicas, Análise paramétrica.

ABSTRACT

The goal of this article is to demonstrate the distribution results of the energy efficiency standards for a public building in the Brazilian bioclimatic zone 3. The method of this article is based on the prescriptive method to calculate the energy efficiency standards of the Brazilian document RTQ-C with the use of a parametric analysis varying the envelope parameters of a public building with a total area fixed. The combination of the parameters resulted in a total of 12,000 cases. For each case, the envelope consumption indicators were calculated and their energy efficiency levels between "A" to excellent and "E" to poor were defined. With this analysis was possible to observe the possibilities of design in relation of energy efficiency levels and to verify the occurrence of each level for the same design, where the window to wall ratio and the vertical shading angle were the most significant parameters. Finally, from the results of the parametric analysis, the scale of the energy efficiency standards of the RTQ-C was adapted to better match public buildings evaluation policy.

Keywords: Energy Efficiency Labelling, Public Buildings, Parametric Analysis.

Abreviaturas

Aenv – Área da Envoltória
AHS – Ângulo Horizontal de Sombreamento;
Apcop – Area de projeção da cobertura;
Ape – Area de projeção da edificação;
AVS – Ângulo Vertical de Sombreamento;
FA – Fator Altura;
FF – Fator de Forma;
FS – Fator Solar dos vidros;
ICenv – Indicador de Consumo da Envoltória;
ICmáxD – Indicador de consumo para o modelo de referência de nível D;
ICmín – Indicador de consumo para o modelo de referência de nível A;
PAFt – Percentual total de abertura na fachada;
Vtot - Volume total da edificação

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a crise de energia de 2001 acarretou na promulgação da lei da eficiência energética que definiu uma política nacional de conservação e uso racional de energia. Esta lei determina níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, assim como das edificações (BRASIL, 2001). Paralelamente, o PROCEL, programa estratégico do governo criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio sob coordenação da Eletrobrás (BRASIL, 1985), lançou em 2003 o PROCEL Edifica, subprograma com foco na eficiência energética de edificações. Em decorrência, a partir de 2009, o INMETRO lançou, como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem, os regulamentos para determinação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviço e públicas (RTQ-C), com os quais são outorgadas etiquetas que apresentam o nível de eficiência energética de edificações em relação à envoltória, sistemas de condicionamento de ar e iluminação.

Inicialmente a aplicação desses regulamentos para etiquetagem de edificações eram de caráter voluntário, entretanto, desde junho de 2014, com a Instrução Normativa N°2 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (BRASIL, 2014), todos os projetos de edificações públicas federais, novas ou para *retrofit*, devem ser construídas para obtenção da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) nível “A”. Até o final de 2016 foram emitidas 193 etiquetas para edificações comerciais, de serviços e públicas (INMETRO, 2016), entretanto, apenas 10 etiquetas para edificações de instituições educacionais públicas federais.

A etiquetagem de edificações brasileira possui dois regulamentos, um para edificações comerciais, de serviços e públicas e um para residenciais. Ambas avaliam a edificação segundo uma escala de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). O Regulamento para edificações comerciais, de serviços e públicas (INMETRO, 2009), objetiva a etiquetagem destas edificações através da avaliação de três sistemas da edificação: envoltória; sistema de iluminação; e sistema de condicionamento de ar. Além de possíveis bonificações, relacionadas ao uso de energias renováveis e uso racional de água. Carlo e Lamberts (2008) desenvolveram o modelo simplificado, chamado de método prescritivo, para avaliação de envoltórias para o RTQ-C. O método é baseado em modelos de regressão linear múltipla, que calculam indicadores de consumo de eletricidade a partir de parâmetros construtivos da edificação, como percentual de área envidraçada (PAFT), fator solar dos vidros (FS), ângulo horizontal de proteção solar das janelas (AHS), ângulo vertical de proteção solar das janelas (AVS), fator de forma (FF) e fator altura (FA). Os autores simularam 5.000 casos de modelos físicos com o programa *EnergyPlus*, utilizados para elaborar diferentes equações de regressão, divididas por grupos e climas. Os autores alcançaram equações com coeficientes de determinação de 0,9824. Estas equações, reproduzidas para seis climas brasileiros, compuseram o método prescritivo de avaliação da envoltória adotado pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem para edificações comerciais, de serviço e públicas (INMETRO, 2009).

Scalco et al. (2014) estudaram o potencial de economia de energia em edificações etiquetadas e seus resultados de comparação entre os consumos apontaram uma economia média de energia obtida entre modelos de referência nível “A” e “D” de aproximadamente 26%, variando entre 21% a 34% conforme a edificação e sua zona bioclimática.

A obrigatoriedade da eficiência energética em prédios públicos federais faz parte de políticas públicas voltadas para uso racional de recursos e sustentabilidade ambiental, assim surge o problema de pesquisa deste trabalho: Qual a probabilidade da envoltória de um projeto de edificação pública alcançar o nível “A” de eficiência energética, em particular o edifício-sede da reitoria do IFSC em Florianópolis, considerando sua área total fixa e variando os demais parâmetros adotados no método prescritivo do atual RTQ-C.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é demonstrar a distribuição dos resultados de níveis de eficiência energética de uma edificação pública pelo método prescritivo de avaliação da envoltória, fixando sua área total e variando parâmetros geométricos e de abertura.

3. MÉTODO

O nível de eficiência energética de uma edificação, avaliada pelo método prescritivo do RTQ-C, está relacionado às estratégias adotadas no projeto. A equação de regressão do método prescritivo contempla os parâmetros de fator de forma (FF), fator altura (FA), percentual de aberturas na fachada (PAFT), fator solar dos vidros (FS) e ângulos de sombreamento (AVS e AHS). A variação destes parâmetros define o resultado final do nível de eficiência energética da edificação avaliada. Entretanto as diferentes combinações entre os valores destes parâmetros podem resultar em qualquer um dos cinco níveis de eficiência energética entre “A” e “E”. Portanto, o método deste artigo é baseado na avaliação paramétrica do nível de eficiência energética de uma edificação pública a partir da variação dos parâmetros de sua envoltória. Permitindo a obtenção da distribuição dos níveis de eficiência energética possíveis de serem alcançados para a edificação.

Considerando que o projeto do edifício atende aos pré-requisitos gerais e específicos do RTQ-C, foi aplicado o método prescritivo para todos os casos de uma análise combinatória entre diferentes valores dos parâmetros da envoltória. Os parâmetros geométricos de Fator de Forma e Fator Altura foram considerados mantendo a área útil da edificação, assumindo que o projeto poderia apresentar variação em sua proporção e número de pavimentos. Os parâmetros referentes às aberturas foram variados conforme limites de projeto estabelecidos. A distribuição dos valores para cada parâmetro foi homogênea.

O objeto de estudo adotado como referência para este trabalho é o projeto do edifício-sede da reitoria do IFSC em Florianópolis, Santa Catarina. A edificação possui 2389,57 m² de área total e está localizado na zona bioclimática 3. A edificação tem um formato retangular longilíneo com dois pavimentos. A um terço da planta, no sentido longitudinal, está localizado um núcleo de serviços, circulação vertical e banheiros. As atividades desenvolvidas na edificação são predominantemente de escritório, além de um ambiente de auditório localizado no térreo. Sua fachada principal tem uma orientação solar a Sudeste. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, uma foto aérea, plantas baixas e fachada sudeste da edificação.

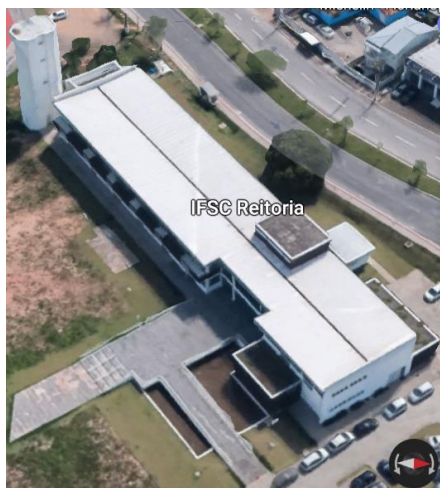


Figura 1. Imagem aérea da Reitoria do IFSC.
Fonte: Google Maps.

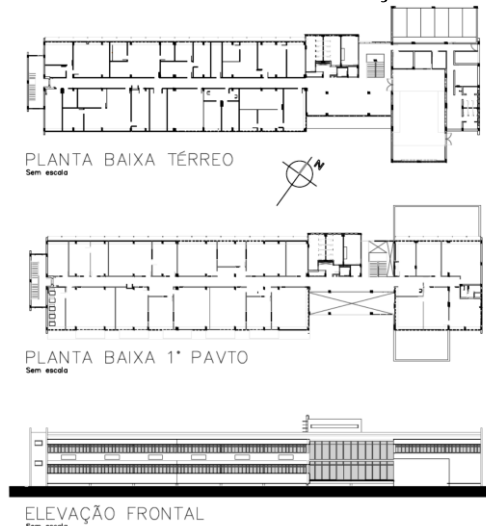


Figura 2. Plantas e fachada da Reitoria do IFSC
Fonte: Departamento de projetos do IFSC.

Este objeto foi adotado como referência para elaboração da análise paramétrica de seu nível de eficiência energética. Para viabilizar a análise paramétrica alguns valores foram simplificados. Não foram consideradas empenas, platibandas e marquises nos cálculos de áreas. A partir dele foram variados os parâmetros geométricos e de abertura, conforme os tópicos a seguir.

3.1. Parâmetros geométricos

Os parâmetros geométricos da edificação, considerados na equação do método prescritivo do RTQ-C, são dois: fator altura (FA) e fator de forma (FF). O primeiro é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pco}/A_{tot}) e o segundo é a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação

(A_{env}/V_{tot}) (INMETRO, 2009). Traduzindo em uma aplicação em projeto, os parâmetros geométricos da edificação (FA e FF) são definidos a partir do número de pavimentos e da proporção entre largura e comprimento da edificação. Esta aplicação pode ser adotada considerando que a altura dos pavimentos não é alterada.

O parâmetro FA foi calculado pela área construída de 2389,57 m² dividida pelo número de pavimentos e a área total construída. O FA foi calculado considerando um a seis pavimentos. O máximo de seis pavimentos foi delimitado pelo plano diretor de Florianópolis para a região de implantação do projeto.

Tabela 1. Valores de FA equivalentes ao número de pavimentos.

Número de pavimentos	Apcob	Atot	FA
Um pavimento	2389,57	2389,57	1,000
Dois pavimentos	1195,28	2390,57	0,500
Três pavimentos	797,19	2391,57	0,333
Quatro pavimentos	598,14	2392,57	0,250
Cinco pavimentos	478,71	2393,57	0,200
Seis pavimentos	399,09	2394,57	0,167

O parâmetro FF (A_{env}/V_{tot}) foi delimitado a partir de um fator de proporção entre largura e comprimento da edificação. Sendo utilizado os valores 1, 1/2, 1/3, 1/4 e 1/5. Onde o valor 1 corresponde a um formato quadrado e o valor 1/5 corresponde a uma edificação alongada. O valor mínimo de 1/5 foi delimitado considerando uma edificação longilínea organizada com salas ligadas por uma circulação unilateral. Os valores de largura foram obtidos pela raiz da razão entre a Apcob e os valores de proporção. Já os valores de comprimento pela multiplicação entre os valores de proporção e a largura. A tabela 2 apresenta os valores de comprimento e largura para os casos com um pavimento. Sendo que o comprimento e largura variam conforme o número de pavimentos do caso.

Tabela 2. Valores de comprimento e largura para os casos de um pavimento.

Fator de proporção	Apcob	Comprimento	Largura
1	2389,57	48,88	48,88
1/2	2390,57	69,15	34,57
1/3	2391,57	84,70	28,23
1/4	2392,57	97,83	24,46
1/5	2393,57	109,40	21,88

Com os valores de comprimento e largura foi possível calcular os valores da área de envoltória (A_{env}), que é a soma das áreas das fachadas cobertura, incluindo as aberturas. A área de paredes externas foi calculada pela multiplicação entre altura total da edificação, definida pelo produto do número de pavimentos e a altura do pavimento de 3,5m, e o perímetro da edificação, definido pelo comprimento e largura. Este valor foi somado a área de projeção da cobertura (Apcob), resultando na área total da envoltória. O volume total (V_{tot}) é constante em 8363,5 m³, pois a área construída e a altura do pavimento não são alteradas. Estes valores são utilizados para os cálculos de FA e FF, parâmetros adotados na equação do método prescritivo. A Figura 3 apresenta as combinações de FA e FF alcançadas pelos parâmetros de proporção e número de pavimentos.

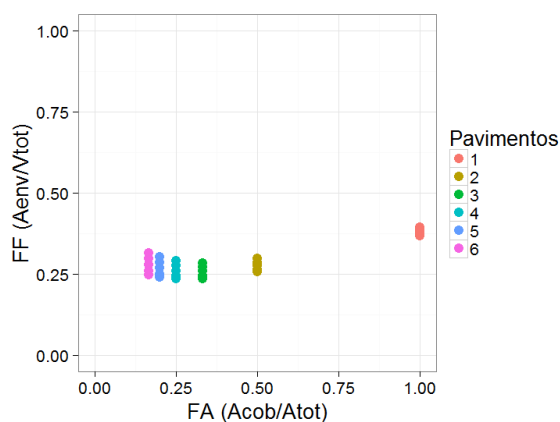


Figura 3. Gráfico de dispersão das combinações de FA e FF.

Há pouca variação para os valores de FF pois o volume de todos os casos permanece inalterado. Já o FA sofre bastante alteração conforme o número de pavimentos adotado.

3.2 Fatores de aberturas da edificação

Os parâmetros de abertura considerados na equação do método prescritivo do RTQ-C são três: percentual de abertura de fachada (PAFt); fator solar dos vidros (FS); e ângulos de sombreamento vertical e horizontal (AHV e AHS). O PAFt é a razão entre as aberturas envidraçadas, ou fechamento translúcido, e a área de fachada da edificação. O FS é a razão entre o ganho de calor através de uma abertura em um ambiente e a radiação solar incidente, considerando a transmissão e absorção do calor radiante que é irradiado ou transmitido ao ambiente por condução ou convecção. Os ângulos de sombreamento são ângulos de obstrução da radiação solar que incide sobre as aberturas, podendo ser horizontal ou vertical (RTQ-C, 2013).

Os valores de PAFt adotados foram 20, 40, 60 e 80% de área de abertura sobre a área de fachada. Este intervalo foi estabelecido considerando limites concebíveis no contexto das edificações do IFSC. Sendo que acima de 80% de PAFt seria de execução inviável. Já o limite inferior de 20% foi adotado pois valores menores poderiam prejudicar a iluminação e ventilação e não atender aos requisitos mínimos do código de obras da municipalidade onde se localiza o objeto de estudo. É importante ressaltar que foi considerado que o PAFo (Percentual de Área de Abertura das fachadas Oeste) é 20% menor que o PAFt. Caso ele fosse superior em 20% ou mais ao PAFt, deveria ser utilizado nas equações da envoltória o valor de PAFo em substituição ao de PAFt.

Os valores para fator solar foram escolhidos adotando-se uma distribuição homogênea dos valores de fator solar dos vidros disponíveis no mercado, sendo: 0,87, 0,65, 0,43, 0,21.

Os ângulos de sombreamento vertical e horizontal (AVS e AHS) foram estabelecidos entre valores exequíveis entre 5° e 45°, com intervalos de 10°. Sendo 45° o valor máximo permitido para ângulos de sombreamento pelo método prescritivo (RTQ-C, 2013).

3.3 Análise paramétrica

A seleção dos parâmetros geométricos e de abertura resultou em um conjunto de 6 variáveis de 4 a 6 valores cada, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros e valores analisados.

Parâmetro	Descrição do parâmetro	Unidade	Valores adotados
PAFt	Percentual de aberturas na fachada	%	20; 40; 60; 80
FS	Fator Solar dos vidros	adimensional	0,21; 0,43; 0,65; 0,87
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	Graus	5°; 15°; 25°; 35°; 45°
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	Graus	5°; 15°; 25°; 35°; 45°
Pavimentos	Número de pavimentos	inteiro	1; 2; 3; 4; 5; 6
Proporção	Proporção entre largura e comprimento	fração	1; 1/2; 1/3; 1/4; 1/5

A combinação destes parâmetros resultou em 12.000 casos. Foi calculado o indicador de consumo da envoltória (ICenv), parâmetro de referência para avaliação da eficiência da envoltória, para cada um dos casos. Como há variação da área de projeção da edificação (Ape) conforme seu número de pavimentos, foram utilizadas as duas equações do RTQ-C, a Equação 1 para os casos com $Ape \leq 500m^2$ (casos de 5 ou 6 pavimentos) e a Equação 2 para os casos com $Ape \geq 500m^2$ (casos de 1 a 4 pavimentos).

$$ICenv = -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAFt + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS + 275,19.\frac{FA}{FF} + 213,35.FA.FF - 0,04.PAFt.FS.AVS - 0,45.PAFt.AHS + 190,42$$

Equação 1. Eq.3.5 do RTQ-C para cálculo do ICenv quando $Ape \leq 500m^2$.

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

Equação 2. Eq.3.6 do RTQ-C para cálculo do ICenv quando $Ape \geq 500m^2$.

Pelo método prescritivo do RTQ-C, o nível de eficiência energética da envoltória é definido pela comparação do seu Indicador de Consumo com uma escala entre os indicadores de consumo de modelos de referência para o nível "A" (ICmín) e para o nível "D" (ICmáxD). A mesma equação é utilizada para definir o ICmín e ICmáxD de cada volumetria, sendo adotado os parâmetros de PAFt, FS, AHS e AVS definidos pelo

RTQ-C para ICmín e ICmáxD. Já a escala de eficiência energética da envoltória é definida pelos intervalos definidos conforme a Tabela 4 (RTQ-C, 2013):

Tabela 4. Escala de eficiência energética da envoltória.

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	ICmáxD – 3i + 0,01	ICmáxD – 2i +0,01	ICmáxD – i +0,01	ICmáxD +0,01
Limite máximo	ICmáxD – 3i	ICmáxD – 2i	ICmáxD - i	ICmáxD	-

Sendo:

$$i = \frac{(ICmáxD - ICmín)}{4}$$

Equação 3. Equação para cálculo dos intervalos para o cálculo do nível de eficiência energética.
Fonte: RTQ-C, 2013.

Onde:

i – Intervalo de eficiência energética

ICmáxD – Indicador de consumo de um modelo de referência nível “D”

ICmín – Indicador de consumo de um modelod e referência nível “A”

Considerando que cada caso tem uma combinação diferente de FA e FF, cada caso teve seu nível de eficiência energética definido a partir de uma escala própria para o caso.

4. RESULTADOS

As análises deste estudo foram realizadas pelos níveis de eficiência energética de cada caso, e não por seus valores de indicador de consumo. Os indicadores de consumo não são comparáveis, pois foram desenvolvidos para comparação do desempenho de um edifício consigo mesmo, considerando modelos de referência mais e menos eficientes baseados em sua própria geometria.

Primeiramente foram levantados os valores dos parâmetros do projeto original do edifício-sede da reitora do IFSC. Os parâmetros deste projeto foram fixados para a análise paramétrica dos fatores geométricos e de abertura. A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros do projeto original adotados para o cálculo do Indicador de consumo, assim como os valores adotados para definição da escala dos níveis de eficiência energética baseadas no ICmáxD e ICmín.

Tabela 5. Valores dos parâmetros do projeto original da reitoria do IFSC e seus indicadores de referência.

	Atot	Apcob	Ape	Vtot	AEnv	PAF	FF	FA	FS	AVS	AHS	ICenv
Projeto original	2389.57	1194.78	1194.78	8363.49	2493.28	0.20	0.30	0.50	0.87	25	15	145.71
Ref.Máx	2389.57	1194.78	1194.78	8363.49	2493.28	0.60	0.30	0.50	0.61	0	0	168.26
Ref.Mín	2389.57	1194.78	1194.78	8363.49	2493.28	0.05	0.30	0.50	0.87	0	0	141.58

O Indicador de Consumo do projeto original é de 145,71kWh/m²/ano, que aplicado à escala entre ICmáxD e ICmín, alcança o nível “A” de eficiência energética da envoltória. Este resultado indica que foram adequadas as decisões dos projetistas da reitoria do IFSC para um alto desempenho da edificação. Em avaliação específica ao projeto da reitoria, a análise paramétrica permite avaliar quais decisões foram mais significativas e quais outras poderiam apresentar um resultado ainda mais eficiente.

Em uma avaliação geral, a análise paramétrica permite observar as possibilidades de projeto em relação aos níveis de eficiência energética e verificar a probabilidade de ocorrência de cada nível para um mesmo partido de projeto. Para análise dos 12 mil casos foram elaborados histogramas de frequência de ocorrência dos níveis de eficiência energética para cada valor de parâmetro. Em cada gráfico, todas as combinações são consideradas, portanto, a análise de um parâmetro não exclui a influência dos outros.

As figuras 4 e 5 apresentam os histogramas para os valores das variáveis geométricas de proporção e número de pavimentos.

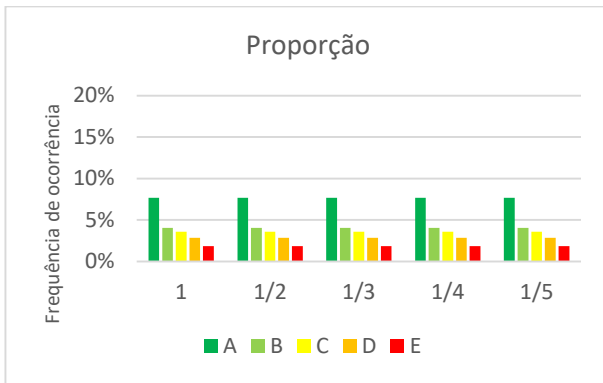


Figura 4. Níveis por proporção.

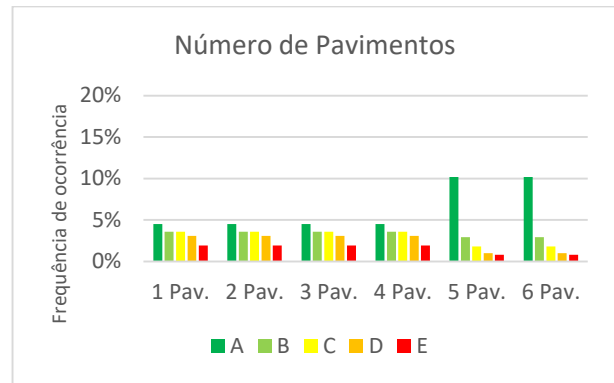


Figura 5. Níveis por número de pavimentos.

A variação da proporção da edificação, relação entre seu comprimento e largura, não altera a ocorrência de casos em cada nível de eficiência energética. Isto indica que não há influência da proporção entre largura e comprimento na avaliação do nível de eficiência energética. Considerando o método de avaliação, quando se altera a proporção na avaliação de edificação, também se alteram os modelos de referência para classificação de seu nível de eficiência energética. Portanto, mantendo a mesma área e volume, este valor pode alterar o indicador de consumo de uma edificação, mas não vai alterar seu nível de eficiência energética, pois este é relativo.

Entretanto, o número de pavimento apresenta claramente dois grupos de distribuição dos níveis de eficiência energética: os valores de 1 a 4 pavimentos; e os valores de 5 e 6 pavimentos. Por afetar a proporção da edificação, o resultado da variação deste parâmetro também é relativo aos modelos de referência. Porém o número de pavimentos afeta inversamente a variável Ape (Área de projeção da edificação) que determina a adoção de uma ou outra equação do método prescritivo. Desta forma, os casos com 5 ou 6 pavimentos, com área de projeção da edificação menores que 500m² apresentam uma probabilidade maior de serem classificados com o nível “A”.

As figuras 6 e 7 apresentam os histogramas com os resultados para os valores das variáveis relacionadas a área envidraçada, com o PAF e FS.

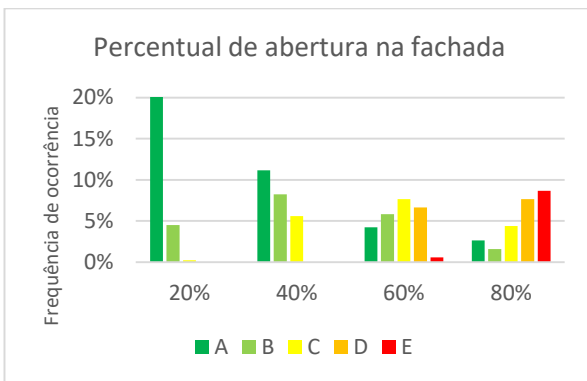


Figura 6. Níveis por percentual de abertura na fachada.

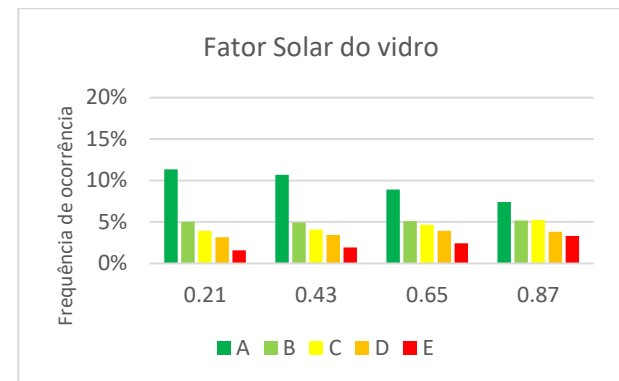


Figura 7. Níveis por Fator Solar.

O percentual de abertura na fachada é o parâmetro que apresentou maior influência no nível de eficiência energética da envoltória. Quanto menor a área de abertura, maior a ocorrência de casos de nível “A”. Todos os casos com 20% de abertura na fachada foram avaliados em A ou B. E os casos de nível “E” são predominantemente os com 80% de área de abertura na fachada.

O fator solar do vidro apresentou baixa influência nos níveis de eficiência energética, entretanto com uma tendência linear onde quanto menor o FS maior a ocorrência de casos de nível “A”. Para esclarecer a relação entre o FS e o PAF a Figura 8 apresenta os níveis de eficiência energética para cada valor de FS separados por cada valor de PAF.

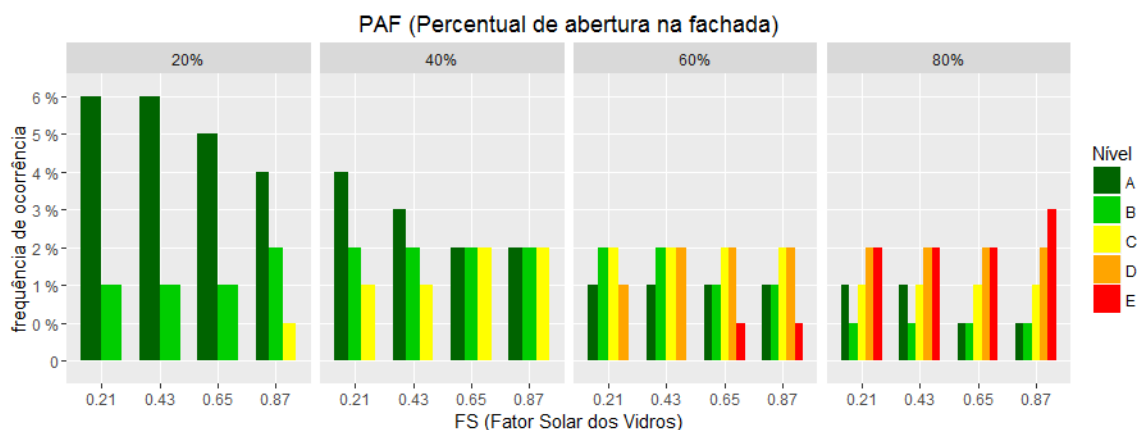


Figura 8. Níveis por FS separados por valor de PAF.

Separando a análise da influência do Fator Solar entre os percentuais de área de fachada é possível observar que o FS apresenta pouca influência nos níveis de eficiência energética independentemente da área envidraçada. Onde mesmo para um os casos de PAF 80% a influência do FS não é significativa.

Os parâmetros de sombreamento podem ser analisados pelas Figuras 9 e 10, que apresentam os histogramas para os ângulos verticais e horizontais de sombreamento.

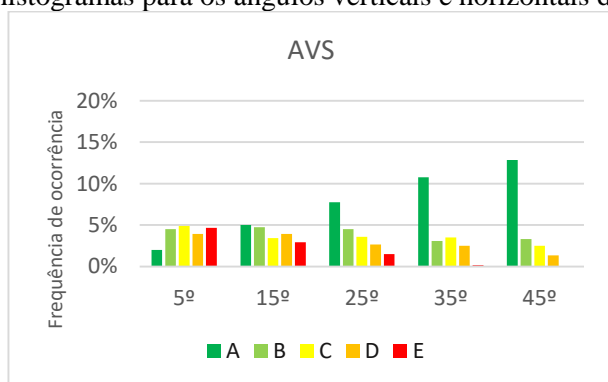


Figura 9. Níveis por ângulo vertical de sombreamento.

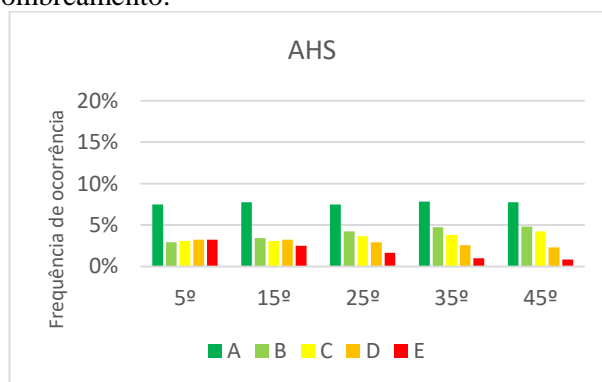


Figura 10. Níveis por ângulo horizontal de sombreamento.

Quanto maior o AVS, maiores são as ocorrências de casos de nível “A”. Ao mesmo tempo, para os ângulos de 35° e 45° de AVS não ocorre nenhum caso de nível “E”. Isto evidencia o efeito positivo do ângulo vertical de sombreamento para classificação do nível de eficiência energética da envoltória.

Para os ângulos horizontais de sombreamento observa-se que somente há influência significativa na redução dos casos de nível “E” para os maiores ângulos. A menor influência do AHS é observada pela ocorrência de casos no nível “A” e “E” para todos os ângulos. Vale aqui salientar que a variável azimute não é considerada pelo método prescritivo do RTQ-C.

Os resultados da análise paramétrica consideraram amplos intervalos de valores para cada parâmetro. Portanto, estes resultados permitem avaliar o comportamento da escala de níveis de eficiência energética da envoltória que classifica os casos entre “A” e “E”. Sendo que a definição deste tipo de escala de desempenho é mais uma questão política do que técnica (PÉREZLOMBARD et al., 2009). A distribuição de ocorrências dos níveis na escala de eficiência energética de todos os casos é apresentada na Figura 11.

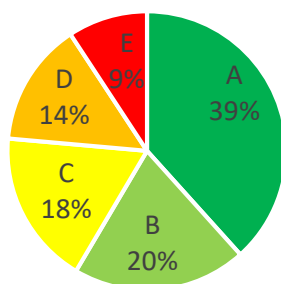


Figura 11 - Distribuição dos níveis de eficiência energética dos casos.

Nesta distribuição, os casos de nível “A” são os mais frequentes, com 39% de ocorrência. Isto indica que a escala do RTQ-C é bastante generosa, apresentando grande probabilidade de se alcançar o nível “A” de eficiência energética. A facilidade de alcançar o maior nível de eficiência energética é uma política de incentivo para emissão de etiquetas, principalmente durante a implantação de um programa de etiquetagem voluntário. Entretanto, com a obrigatoriedade das edificações públicas federais obterem nível “A” de eficiência energética e considerando sua responsabilidade no uso racional de recursos, a distribuição dos níveis na escala de eficiência energética está inadequada.

Portanto, a partir dos resultados da análise paramétrica foi possível identificar os pontos de alteração da escala dos níveis de eficiência energética do RTQ-C. Mesmo não sendo objetivo deste trabalho, indica a possibilidade da melhor adequação da avaliação de edificações públicas federais à política de eficiência energética. A Tabela 6 apresenta uma adaptação da escala do RTQ-C para obtenção de uma distribuição normal das ocorrências dos níveis para os casos simulados.

Tabela 6. Escala de eficiência energética da envoltória.

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	$IC_{máxD} - 4,5i + 0,01$	$IC_{máxD} - 3,5i + 0,01$	$IC_{máxD} - 1,5i + 0,01$	$IC_{máxD} - 0,5i + 0,01$
Limite máximo	$IC_{máxD} - 4,5i$	$IC_{máxD} - 3,5i$	$IC_{máxD} - 1,5i$	$IC_{máxD} - 0,5i$	-

A adaptação está no fator de multiplicação do intervalo que define a escala, não sendo alterado nada da equação de regressão nem dos modelos de referência para cálculo do $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$. A Figura 12 apresenta a nova distribuição de ocorrências dos níveis de eficiência energética considerando a adaptação da escala do RTQ-C.

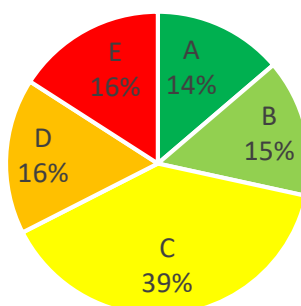


Figura 12 - Distribuição dos níveis de eficiência energética para a escala adaptada.

A distribuição dos casos com maior ocorrência dos níveis em “C” apresenta uma distribuição mais próxima da Normal, onde “C” representaria a maioria das edificações construídas. Com esta proposta de escala para edificações públicas, o projeto original do edifício-sede da Reitoria do IFSC seria classificado como “B”.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho se utilizou do método prescritivo de avaliação da envoltória variando parâmetros geométricos e de abertura para estabelecer uma análise paramétrica com e doze mil casos e obter resultados de níveis de eficiência energética de uma edificação pública com 2389,57 m² de área total.

Entre parâmetros geométricos os resultados indicaram que a verticalização da edificação de maneira a obter uma área de projeção da edificação menor apresenta uma probabilidade maior da mesma ser classificada com o nível “A”. Isso devido a diferença entre as duas equações utilizadas pelo RTQ-C para calcular o indicador de consumo da envoltória de edificações com área de projeção da edificação menor e maiores que 500m². Já a variação da proporção da edificação, relação entre seu comprimento e largura, não alterou a ocorrência de casos em cada nível de eficiência energética.

Dentre as variáveis relacionadas com a área envidraçada da edificação, o percentual de abertura na fachada é o parâmetro que apresentou maior influência no nível de eficiência energética da envoltória. De maneira que quanto menor a área de abertura, maior a ocorrência de casos de nível “A”. Todos os casos com 20% de abertura na fachada foram avaliados em A ou B. Já os casos de nível “E” são predominantemente os com 80% de área de abertura na fachada. Outra variável relacionada a área envidraçada é o fator solar que

apresentou pouca influência nos níveis de eficiência energética independentemente da área envidraçada. Onde mesmo para os casos com abertura na fachada em 80% a influência do fator solar não foi significativa.

Quanto aos os ângulos verticais e horizontais de sombreamento. A análise dos resultados mostrou que quanto maior o ângulo vertical de sombreamento, maior será a ocorrência de casos de nível “A”. Os ângulos de 35° e 45° não obtiveram nenhum caso de nível “E”. Isto evidencia o efeito positivo do ângulo vertical de sombreamento para melhor classificação do nível de eficiência energética da envoltória. Já para os ângulos horizontais de sombreamento observou-se que somente há influência significativa na redução dos casos de nível “E” para ângulos maiores que 25°.

Ao final, a distribuição de ocorrências dos níveis na escala de eficiência energética de todos os casos mostrou um predomínio de casos de nível “A” (39%). Entende-se que a facilidade de alcançar o maior nível de eficiência energética é uma política de incentivo para emissão de etiquetas, principalmente durante a implantação de um programa de etiquetagem voluntário. Sugere-se uma adaptação da escala do RTQ-C de maneira a proporcionar uma distribuição mais próxima da distribuição normal onde “C” representaria a maioria das edificações construídas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2015.

_____. Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio. Institui o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). **Portaria n.1.877, de 30 de dezembro de 1985**. Brasil. 1985.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa No2 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, **autárquica** e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. 2014.

CARLO, Joyce; LAMBERTS, Roberto. **Development of envelope efficiency labels for commercial buildings**: Effect of different variables on electricity consumption. *Energy and Buildings*, v. 40, n. 11, p. 2002–2008, jan. 2008.

INMETRO. **RTQ-C**: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Brasília, 2013.

_____. **Tabela de edificações comerciais, de serviço e públicos**. Apresenta todos os edifícios comerciais, de serviço e públicos aprovados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). 2016. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>>. Acesso em: 10 de mar. 2017.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; GONZÁLEZ, Rocío; MAESTRE, Ismael R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*, v. 41, n. 3, p. 272–278, mar. 2009.

SCALCO, Veridiana A.; FONSECA, Raphaela W. da; BECK, Elisa de O.; PALLADINI, Gustavo D.; MAIA, Thalessa; ELI, Leticia; LAMBERTS, Roberto. **Análise do potencial de economia baseado em edificações comerciais etiquetadas**. ENTAC 2014. Maceió. 2014.