INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DA ENVOLTÓRIA NA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIO COM BASE NO NOVO MÉTODO DE AVALIAÇÃO SIMPLIFICADO DO PBE EDIFICA (INI-C)

Bárbara Jordão (1); Lorrany da Silva Mendes (2); Larissa Pereira de Souza (3); Greici Ramos (4); Renata De Vecchi (5); Michele Fossati (6); Ana Paula Melo (7); Roberto Lamberts (8)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, barbaraojordao@hotmail.com
(2) Graduanda em Engenharia de Produção Civil, lorrany.s.m@hotmail.com
(3) Pós-Mestranda em Engenharia Civil, laripereiradesouza@gmail.com,
(4) Pós-Doutoranda em Engenharia Civil, greiciramos@gmail.com,
(5) Pós-Doutoranda em Engenharia Civil, redevecchi@gmail.com,
(6) Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, michefossati@gmail.com,
(7) Professora do Departamento de Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br,
(8) Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br,
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO
O objetivo deste trabalho é analisar a influência de parâmetros da envoltória na classificação de eficiência energética de duas tipologias de escritório considerando os climas de Curitiba/PR e Cuiabá/MT, e o novo método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) do PBE Edifica. Os parâmetros analisados foram o fator solar do vidro (FS = 0,82 e FS = 0,27), o percentual de abertura da fachada (PAF 40% e 80%), sombreamento das aberturas (AVS de 30°) e a carga interna de iluminação (DPI 8,5 W/m² e 14,1 W/m²). Consideraram-se, para tanto, duas edificações de 10 andares, com áreas e fatores de forma diferentes: a geometria 1 com 500 m² (20 m x 25 m, e FF de 0,22) e a geometria 2 com 2.500 m² (50 m x 50 m, e FF de 0,12) e analisados: densidade de carga térmica, classificação de eficiência da envoltória e percentual de redução da carga térmica de resfriamento. Os resultados indicam que os melhores casos possuem DPI A, PAF 40% e vidro laminado; porém, o uso de vidro de referência com sombreamento também atinge a classificação mais alta para Cuiabá, diferentemente de Curitiba, demonstrando a importância de sombreamento em climas mais quentes. Nota-se, ainda, que a melhoria de DPI D para A é satisfatória no resultado final para todas as geometrias e casos. Observou-se que o impacto foi maior na geometria 2, de menor FF e maior área de zona interna, podendo melhorar em 20% em Curitiba (diminuindo 12,1 kWh/(m².ano)) e em 6% em Cuiabá (diminuindo 11,0 kWh/(m².ano)).
Palavras-chave: eficiência energética da envoltória, INI-C, fator de forma, PAF, DPI, fator solar.

ABSTRACT
The goal of this paper is to assess the influence of envelope parameters in the energy efficiency classification of two office buildings. The buildings were evaluated in two cities (Curitiba/PR and Cuiabá/MT) regarding the new EPC simplified method of the Inmetro Normative Instruction for commercial buildings (INI-C), PBE Edifica. Two buildings with ten floors were studied, with different areas and form factors: geometry 1 with 500 m² (20 m x 25 m, and FF of 0.22) and geometry 2, with 2,500 m² (50 m x 50 m, and FF of 0.12). Therefore, the envelope parameters varied were the solar heat gain coefficient of the glass (SHGC = 0.82 and SHGC = 0.27), the window-to-wall ratio (40% and 80%), shading angle (30° VSA) and lighting density (8.5 W/m² and 14.1 W/m²). The main results were the cooling load density, envelope efficiency classification and reduction of cooling load percentage to each configuration. Results show that the best configurations were LD A, 40% WWR and laminated glass (SHGC - 0.27). However, the reference glass with shading reaches the highest classification only for Cuiabá. On the other hand, buildings located in Curitiba with reference glass and shading do not reach the highest class. Regarding lighting density, LD D to A improvement is satisfactory in all geometries and cases. Nevertheless, the highest impact happens in the lower FF geometry (geometry 2), which has a larger internal zone area, reaching 20% less cooling load density in Curitiba (decrease of 12.1 kWh/(m².year)) and 6% in Cuiabá (decrease of 11.0 kWh/(m².year)).

Keywords: envelope energy efficiency, INI-C, form factor, window-to-wall ratio, solar heat gain coefficient

1. INTRODUÇÃO

O crescente consumo de energia vem acompanhado de consequências, como a escassez de fontes não-renováveis e as emissões de CO_2 na atmosfera. Assim, estratégias de conservação energética se tornam cada vez mais relevantes para o desenvolvimento de normativas para as edificações. Segundo o Plano Nacional de Energia (MME/EPE, 2020), nas metas estabelecidas para 2050 devem ser contemplados tanto os mecanismos de eficiência energética e os aperfeiçoamentos já existentes, quanto as novas políticas públicas em desenvolvimento para a área. No Balanço Energético Nacional (EPE, 2020), mostra-se que o consumo total de energia elétrica de 2010 a 2019 aumentou em 17%, considerando todos os setores avaliados no balanço. Dentre os setores industriais, público, residencial e comercial, os dois últimos obtiveram o maior aumento de consumo, respectivamente 36% e 33%.

De forma a contribuir com a racionalização do uso de energia no Brasil, criou-se em 1984 o Programa Brasileiro de Etiquetagem que, 25 anos depois, se estendeu às edificações por meio do PBE Edifica, a qual tem como produto principal a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de edificações comerciais, de serviços e públicas, e de edificações residenciais. Esta etiqueta é emitida com base nos procedimentos descritos nos Regulamentos Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C; BRASIL, 2010), e de Edificações Residenciais (RTQ-R; BRASIL, 2012). A etiquetagem é obrigatória desde 2013 para edificações públicas federais, sendo imprescindível a obtenção de nível A para a aprovação de construção, reforma ou aluguel.

Os procedimentos do RTQ-C e RTQ-R foram revisados, e atualmente o RTQ-C já foi substituído pela Instrução Normativa Inmetro para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C), publicada pela Portaria nº 42 de 24 de fevereiro de 2021 (BRASIL, 2021). A emissão de novas etiquetas com base na INI-C está condicionada à publicação do novo RAC (Requisitos de Avaliação da Conformidade), que entrou em processo de consulta pública em março de 2021. Esta atualização baseia-se no consumo de energia primária, permitindo a mensuração da eficiência quando comparada a uma edificação referência.

Neste cenário, Fossati e Lamberts (2010) discutiram os resultados de eficiência energética da envoltória de dez edifícios de escritório localizados em Florianópolis segundo o método prescritivo do RTQ-C. Os autores variaram o percentual de abertura das fachadas (PAF), sombreamento e o fator solar dos vidros (FS), e concluíram que o PAF obteve maior relevância nos indicadores de consumo, principalmente na orientação oeste. Em segundo lugar encontram-se as proteções solares, seguido do FS. Entretanto, os autores salientam que todos os indicadores devem ser levados em consideração. Pinto e Westphal (2019) analisaram, por meio de simulação termo energética, o impacto de vidros isolados (duplos) e simples em um edifício de escritório localizado em diferentes cidades brasileiras, verificando sua usabilidade segundo climas brasileiros. Os autores concluem que em cidades de climas mais amenos, como Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, vidros isolados pioram os resultados de consumo de resfriamento, sendo mais indicados vidros simples e laminados. Por outro lado, apenas cidades localizadas em latitudes baixas apresentaram melhora no consumo ao utilizar o vidro duplo; porém, esta redução anual não ultrapassa 4%.

Veiga et al. (2019) analisaram o ganho de calor pela relação entre o tipo de vidro e a área de abertura em quatro cidades brasileiras, também por meio de simulação. Este estudo demonstrou a combinação destes parâmetros e a análise dos resultados obtidos a partir do clima; porém, nesse caso não foram considerados elementos de sombreamento ou variação no tamanho do ambiente. Os autores observaram correlação entre o PAF e o tipo de vidro ao fixar um valor para ganho de calor constante correspondente a uma abertura de 17% para cada clima simulado. Ao passo que há o aumento de percentual de abertura da fachada, passa-se a haver necessidade de vidros de melhor desempenho a fim de manter o mesmo ganho de calor que percentuais menores de abertura na fachada e vidro com fator solar maior. Alternativamente, Westphal (2019) avaliou o impacto no desempenho térmico nas fachadas confrontando a especificação de vidros de controle solar com brises horizontais em um edifício de escritórios. Por meio de simulações para as cidades de São Paulo e Salvador, averiguou-se que o uso de vidros especiais pode resultar no mesmo consumo de energia (para ambientes climatizados) de uma fachada com elementos de proteção solar e vidro incolor comum. Queiroz, Westphal e Pereira (2019) apresentaram um estudo sobre a relação entre os elementos de sombreamento e o tipo de vidro no desempenho térmico e luminoso em edificações de escritórios em Florianópolis-SC, e concluíram que os vidros com características mais próximas do vidro comum, aliados ao elemento de sombreamento, podem ter desempenho próximo ao de vidros de maior controle solar. Neste estudo, porém, o tamanho da abertura não foi variado, bem como o tamanho do ambiente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de parâmetros relacionados à envoltória de edificações de escritórios na classificação de eficiência energética considerando os climas de Cuiabá (MT) e Curitiba (PR), e o novo método simplificado do PBE Edifica.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho seguiram as recomendações da INI-C, e foram divididos em três etapas principais: 1) configuração dos casos, 2) execução dos testes e, 3) análise dos resultados. Na primeira etapa, definiu-se a tipologia da edificação, as variações de suas características e os climas a serem testados. A segunda etapa constitui-se da predição da carga térmica de refrigeração anual (CgTT kWh/ano), e posteriormente analisada por metro quadrado (kWh/(m².ano)). A terceira etapa se dá pela análise da variação da carga térmica de refrigeração anual e de classificação de eficiência energética da edificação. No novo método, compara-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D. Assim, todos os procedimentos descritos foram efetuados para ambas as condições das edificações consideradas, real e de referência.

3.1. Configuração dos casos

3.1.1. Clima das cidades escolhidas

Para o estudo foram selecionadas duas cidades de grupos climáticos (GC) diferentes: Cuiabá (GC 24), e Curitiba (GC 2). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Cuiabá possui clima quente, com chuva de verão (Aw) e Curitiba possui clima quente e temperado (Cfb) e pluviosidade significativa durante todo o ano (CLIMATE-DATA, 2010). Já a média anual de temperaturas em Curitiba é de 17,2 ºC, e de Cuiabá de 26,5ºC (INMET, 2008). A Figura 1 representa o gráfico da variação anual de temperaturas de bulbo seco em Curitiba, e a Figura 2 representa o mesmo para Cuiabá.

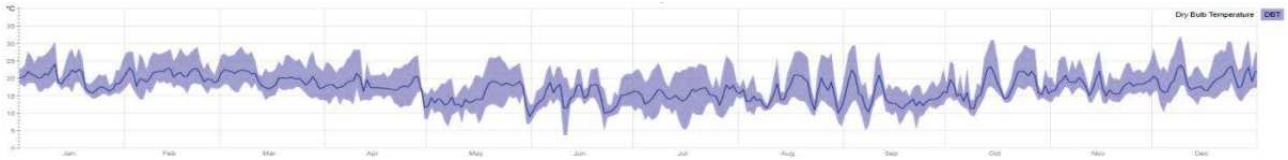


Figura 1 – Variação de temperatura anual de bulbo seco em Curitiba (°C) (INMET, 2008).

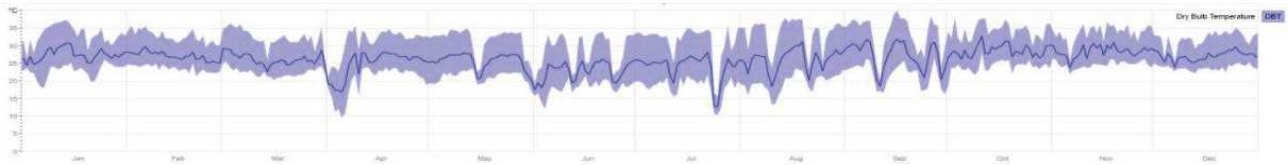


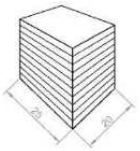
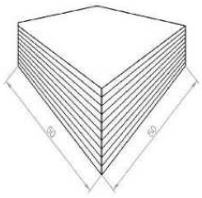
Figura 2 – Variação de temperatura anual de bulbo seco em Cuiabá (°C) (INMET, 2008).

3.1.2. Edificações analisadas

A configuração da geometria se deu em duas edificações comerciais da tipologia escritório, ambas com 10 andares, mas com áreas de 500 m² (20 m x 25 m) e 2.500 m² (50 m x 50 m), a fim de verificar o impacto dos parâmetros relacionados às aberturas em edificações com fatores de forma diferentes. Isso porque, com o aumento da profundidade da edificação, a configuração das zonas térmicas perimetrais pode ser menos influente na eficiência energética da envoltória. As características geométricas de ambas as edificações utilizadas neste experimento estão descritas na Tabela 1. O fator de forma das edificações foi calculado conforme disposto na INI-C (BRASIL, 2021).

Tabela 1 – Características das geometrias

Características	Geometria 1	Geometria 2
Altura (m)	28	28
Nº de pavimentos	10	10
Pé-direito (m)	2,80	2,80
Comprimento (m)	20	50
Profundidade (m)	25	50
Área da edificação (m²)	500	2.500

Características	Geometria 1	Geometria 2
Área da envoltória (m²)	3.020	8.100
Volume (m³)	14.000	70.000
Fator de Forma	0,22	0,12
Percentual de zona perimetral	65%	33%
Percentual de zona interna	35%	67%
Representação		

3.1.3. Variação de parâmetros

Inicialmente, as características das edificações analisadas (ver 3.1.1 e 3.1.2) basearam-se na referência D da INI-C para a tipologia de escritório. A partir da referência, realizaram-se variações a fim de avaliar a influência dos parâmetros estudados na classificação de eficiência energética da envoltória. Os parâmetros analisados foram o tipo de vidro (simples - FS 0,82; laminado - FS 0,27), percentual de abertura na fachada (PAF 40% e 80%), além do elemento de sombreamento horizontal sobre a abertura, medido pelo ângulo vertical de sombreamento (AVS 0º e 30º). Vidro e PAF foram variados para verificar a influência das aberturas sobre a carga térmica de refrigeração anual, e o sombreamento a fim de verificar se há atenuação na diferença entre os tipos de vidros para os diferentes PAFs, dada a redução do ganho térmico devido à radiação solar que a abertura transmite diretamente.

Além disso, variou-se também a densidade de iluminação (8,5 W/m² e 14,1 W/m²) para todos os casos anteriores. Este parâmetro permite avaliar a relevância das cargas geradas em zonas internas da edificação que não possuem influência das configurações da envoltória. As características da edificação, bem como as variações realizadas, estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Configuração dos testes; os parâmetros testados estão destacados em negrito

Tipo	Característica	Edificação de referência	Valores nos testes
Uso	Horas de ocupação (h)	10	10
	Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	15	15
	Densidade de potência de iluminação (W/m²)	**14,1**	**8,5 (Limite classe A) e 14,1**
Materiais	Transmitância Vidro (W/m²K)	5,7	5,7
	Fator Solar	**0,82**	**0,27 e 0,82**
	Absortância Cobertura	0,8	0,8
	Transmitância Cobertura (W/m²K)	2,06	2,06
	Capacidade Térmica Cobertura (W/m²K)	233	233
	Absortância Parede	0,5	0,5
	Transmitância Parede (W/m²K)	2,46	2,46
	Capacidade Térmica Parede (W/m²K)	150	150
	Percentual de Abertura na Fachada (%)	**50**	**40 e 80**
	Ângulo Horizontal de Sombreamento (º)	**0**	**0 e 30**

3.2. Execução dos testes

O novo método simplificado para a avaliação da envoltória da INI-C prediz a carga térmica de resfriamento por meio de uma interface web e, para tanto, a edificação deve atender aos limites dos parâmetros de avaliação da envoltória. Os parâmetros que devem ser verificados referem-se às características materiais da envoltória (absortância de parede e cobertura; transmitância de paredes, coberturas e vidros; fator solar do vidro; capacidade térmica das paredes e coberturas), à forma da edificação (pé-direito, ângulos de sombreamento, percentual de abertura da fachada) e carga interna instalada (densidade de potência de equipamentos e de iluminação).

A interface web da INI-C (BRASIL, 2021) baseia-se em uma metamodelagem realizada por meio do treinamento de redes neurais artificiais. A rede neural é um método estatístico de inteligência artificial recomendado para predição de casos não-lineares, como as edificações (AHMAD et. al, 2014 apud ELI et. Al, 2018). Esse método é capaz de, com a inserção de diversas combinações de entradas e resultados,

aprender com os casos expostos e predizer um valor, como por exemplo, carga térmica (ELI et. al, 2018)

Para a execução da predição, é preciso inserir na interface os dados relativos à localização, à tipologia da edificação, geometria e propriedades térmicas dos materiais para cada zona térmica de cada pavimento. Ressalta-se que a divisão de zonas térmicas deve ser realizada de acordo com o instruído na INI-C: as zonas térmicas perimetrais têm profundidade máxima de 4,5 m, contados a partir da face exterior da parede externa, devendo corresponder à uma orientação (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste ou Noroeste). As zonas que não possuem influência da fachada (tendo profundidade maior a 4,5 m em relação à fachada) são zonas internas. O resultado da predição é a carga térmica anual (kWh/ano) de refrigeração, que também pode ser demonstrada em forma de carga térmica por metro quadrado (kWh/(m².ano)). Além disso, considerou-se o contato com o solo, a ausência de ângulo horizontal de sombreamento e de obstrução vizinha, bem como edificação sem pilotis e isolamento do piso. A Figura 3 representa a divisão de zonas térmicas da geometria 1 (à esquerda) e geometria 2 (à direita).

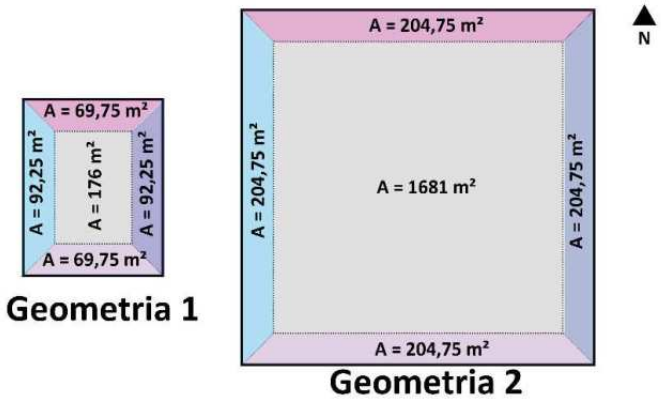


Figura 3 – Divisão das zonas térmicas das geometrias 1 e 2 em planta

3.3. Tratamento dos resultados

Após a obtenção dos resultados de carga térmica na condição de referência, define-se a escala de eficiência energética que varia da classificação "D" a "A"; quando a edificação analisada possui carga térmica total anual superior à condição de referência, sua classificação final é "E". Esta escala é construída com base na tipologia da edificação, no clima em que esta se insere e fator de forma. A combinação entre grupo climático e fator de forma, por tipologia, resulta em um coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para A ($CRCgTT_{D-A}$). As classes B, C e D são definidas pela divisão da diferença entre a D e A em três classes, por meio do indicador "i". Pela Equação 1 calcula-se o indicador, utilizado na escala de classificação mostrada na Tabela 3.

$$i = (CgTTref \times CRCgTTDA) \div 3 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;
$CgTT_{ref}$ é a carga térmica total da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);
$CRCgTT_{D-A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A.

Tabela 3 – Percentuais de redução entre classificação D e A por clima

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> CgTTref- 3i	> CgTTref- 2i	> CgTTref- i	>CgTTref
Limite inferior	≤ CgTTref- 3i	≤ CgTTref- 2i	≤ CgTTref- i	≤ CgTTref	-

Na Tabela 4 podem ser observados os valores de $CRCgTT_{D-A}$ referentes ao fator de forma de cada geometria, de acordo com a tabela 8.11 da INI-C.

Tabela 4 – Percentuais de redução entre classificação D e A por clima

Cidade	Edificação	Fator de Forma	Coeficiente de redução de carga térmica ($CRCgTT_{D-A}$)
Curitiba	Geometria 1	0,22	0,34 (ou 34%)
	Geometria 2	0,12	0,32 (ou 32%)
Cuiabá	Geometria 1	0,22	0,15 (ou 15%)
	Geometria 2	0,12	0,13 (ou 13%)

Os resultados foram analisados por meio da variação da carga térmica de resfriamento anual por

metro quadrado (kWh/m².ano) e do percentual de redução da carga térmica total anual (%), ambos verificados entre a edificação em sua condição real e de referência; por fim, procedeu-se com a classificação de eficiência energética.

4. RESULTADOS

Em primeiro lugar, são apresentados os resultados de cada geometria para cada uma das cidades, comparando-os. Posteriormente, compara-se entre as cidades os resultados obtidos para cada uma das duas volumetrias.

Os resultados da geometria 1 estão representados em azul claro e, da geometria 2, em azul escuro. Além disso, do lado esquerdo estão representados os resultados dos testes de DPI A (8,5 W/m²) e as respectivas configurações de PAF e tipo de vidro. O mesmo ocorre à direita para a DPI D (14,1 W/m²). Visto que a escala de classificação de eficiência energética da envoltória é diferente por intervalo de fator de forma, as duas geometrias possuem limites de classificação distintos, apresentados pelos pontos acima das barras de carga térmica, e suas respectivas cores representam o limite de cada classe. Assim, a classificação alcançada corresponde ao primeiro limite que não foi ultrapassado.

4.1. Curitiba – PR

Os resultados obtidos com a variação de parâmetros, para as duas geometrias na cidade de Curitiba, estão apresentados na Figura 4. Na geometria 1 (20 m x 25 m) nota-se maior variação na carga térmica, e consequentemente na classificação, relacionada à combinação do PAF com o tipo de vidro das edificações. No entanto, atinge-se a classe A apenas para os casos de DPI A, combinada com a utilização do vidro laminado: tanto com PAF de 40% quanto de 80%. Já o vidro de referência sem sombreamento obteve desempenho inferior às outras configurações de abertura quando comparados os mesmos PAFs. Logo, para esta condição demonstra-se a importância e efetividade do sombreamento. Para o PAF de 40%, nota-se que os três casos de abertura atingem classes de eficiência energética decrescentes: para a DPI A (8,5 W/m²), vidro laminado atinge classe A (redução 42%), vidro referência com sombreamento classe B (redução 33%) e vidro referência classe C (redução 21%); para a DPI D (14,1 W/m²) vidro laminado classe B (redução 29%), vidro referência com sombreamento classe C (redução 19%) e vidro referência classe D (redução 6%). Já para o PAF de 80% e DPI A (8,5 W/m²), o vidro e referência com sombreamento tem classificação C e redução de 17%, o que é distante do obtido pelo vidro laminado que chega à classificação A e redução de 39%. Além disso, observa-se que o caso do vidro de referência é acrescido em carga térmica, com redução negativa de -3%.

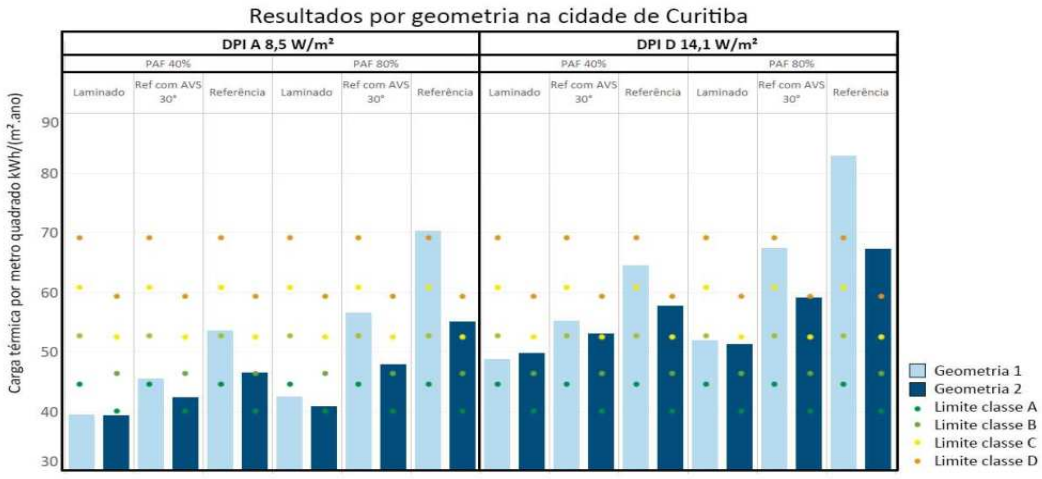


Figura 4 –Resultados de carga térmica por geometria na cidade de Curitiba com os limites de classificação

Nos casos com DPI D (14,1 W/m²) e PAF 80% observa-se que apenas o vidro laminado tem redução significativa, de 24% em relação à referência, e ainda assim obtém classificação B. O vidro de referência com sombreamento tem redução de apenas 1% e o caso com vidro de referência tem um acréscimo significativo na carga térmica, apresentando uma redução negativa de -21,4%: o pior caso em relação a todos os outros. Nota-se, ainda, que para PAFs distintos, alguns casos possuem classificação ou redução aproximadas, como é o caso do uso do vidro de referência com PAF de 40% comparado ao vidro de referência com sombreamento com PAF de 80%: em que com DPI A (8,5 W/m²) ambos atingem

classificação C e com DPI D (14,1 W/m²), tendo uma diferença de 4% de redução nas duas situações. Por fim, nota-se que a alteração de DPI de D para A resulta em um acréscimo entre 14% e 16% de redução em todos os casos, comparando as mesmas configurações de abertura.

No caso da geometria 2 (50 m x 50 m), nota-se maior influência da variação de DPI e menor variação de carga térmica entre os casos. De maneira geral, para DPI A (8,5 W/m²) são observadas as melhores classificações (quatro casos dos seis têm classificação B ou superior), enquanto para DPI D (14,1 W/m²), nenhum caso ultrapassou a classe C de eficiência. Para DPI A (8,5 W/m²) e PAF de 40%, o caso de vidro laminado, redução 34%, apresenta classificação A, enquanto os casos de referência com sombreamento, redução 29%, e somente o vidro de referência, redução de 22%, apresentam classificação B. Apesar da diferença absoluta não parecer muito significativa entre estes casos, isso ocorre em edifícios em que a zona térmica interna possui maior área em relação ao todo da edificação, não tendo influência muito significativa da configuração da envoltória em comparação com edifícios de zonas internas menores. Ainda para DPI A (8,5W/m²) com PAF de 80% e vidro laminado, a redução chega a 32% e apresenta classificação A. Já o vidro de referência com sombreamento, redução 20%, tem classificação C. No caso do vidro de referência, obtém-se classificação D e redução de apenas 8%. Para PAF de 40%, vidro laminado e vidro de referência com sombreamento têm-se para ambos a classificação C, e para vidro de referência tem-se classificação D. Para PAF de 80%, o vidro laminado apresenta classificação C. Vidro referência com sombreamento possui classificação D. O único caso que tem classificação E é o vidro de referência com redução negativa de -13%. Assim como na geometria 1, para PAFs distintos algumas configurações da abertura possuem redução aproximada. Novamente é o caso do uso do vidro laminado com PAF de 80% comparado com o vidro referência com sombreamento e PAF de 40%: com a DPI D ambos atingem classificação C, e DPI A classificação B, enquanto a diferença de redução entre estas situações (com a mesma DPI) é de 3%. Além disso, e mais importante, nota-se que a alteração de DPI de D para A resulta em um acréscimo entre 18% e 20% de redução (redução de 12,1 kWh/(m².ano)) nos casos da geometria 2, comparando as mesmas configurações de abertura, sendo um acréscimo superior à geometria 1.

Comparando os resultados das duas geometrias, dentre os casos observados, notam-se quatro casos com classificação diferente, que correspondem ao uso de vidro referência com DPI A, independente do PAF, e ao vidro laminado com DPI D, também independente do PAF. No caso do uso do vidro de referência sem sombreamento, verificou-se classe de eficiência maior no caso da geometria 2 e classe de eficiência menor na geometria 1. Na geometria 2 o impacto maior foi do uso da DPI A, aumentando sua classificação, e na geometria 1 o impacto maior foi do uso do vidro de referência, reduzindo a classificação. O contrário ocorre ao analisar os casos de vidro laminado e DPI D (para ambos PAFs de 40% e 80%), a classe de eficiência atingida pela geometria 1 é B e pela geometria 2 é C: mesmo com o vidro de melhor propriedade, a interferência da DPI elevada é mais relevante na geometria 2. Neste último caso, ainda, os resultados são muito próximos para as duas geometrias, sendo que a diferença é inferior a 1 kWh/(m².ano), comparando o mesmo caso para as duas geometrias. Por fim, como já mencionado na análise de cada geometria, há maior variação de carga térmica nos resultados obtidos da geometria 1 em comparação com a geometria 2, visto seu fator de forma diferente. Porém, o percentual de melhoria entre os mesmos casos, ao melhorar a DPI de D para A é de 2% a 4% maior na geometria 2 em comparação com a geometria 1, reforçando ainda mais a importância deste parâmetro em edificações de fator de forma menor.

4.2. Cuiabá - MT

Representam-se os resultados das duas geometrias na cidade de Cuiabá na Figura 5. Ao analisar a geometria 1, percebem-se resultados de níveis maiores de eficiência. Assim como na cidade de Curitiba, os casos que atingem a classificação A só ocorrem para a DPI A (8,5 W/m²). Neste caso, porém, não apenas o vidro laminado (tanto com PAF de 40% quanto de 80%) atinge classificação A, mas também o vidro de referência com sombreamento e PAF de 40%. Novamente, o vidro de referência sem sombreamento obteve desempenho inferior às outras configurações de abertura, quando comparados os mesmos PAFs. Para o PAF de 40%, nota-se que os três casos de abertura atingem: para a DPI A (8,5 W/m²), vidro laminado (redução de 20%) e vidro referência com sombreamento (redução de 16%), ambos classe A, e vidro referência classe C; para a DPI D (14,1 W/m²) o vidro laminado e o vidro referência com sombreamento atingem classificação B, e vidro referência classe D. Já para o PAF de 80% e DPI A (8,5 W/m²), o vidro e referência com sombreamento tem classificação C, enquanto o vidro laminado atinge classificação A. O caso do vidro de referência é acrescido em carga térmica, com redução negativa de -5%. Para este mesmo PAF, mas com DPI D (14,1 W/m²), observa-se que apenas o vidro laminado tem redução significativa, de 10% e obtém classificação B. O vidro de referência com sombreamento tem redução de apenas 1% e o caso com vidro de referência tem um acréscimo significativo na carga térmica, apresentando uma redução negativa de -11%.

Assim como para a cidade de Curitiba, para PAFs distintos, algumas configurações de abertura possuem classificação ou redução similar. É o que ocorre ao comparar o uso de vidro laminado com PAF de 80% ao vidro referência com sombreamento e PAF de 40%: com a DPI D ambos atingem classificação B, com diferença de redução de apenas 1%. Já para a DPI A ambos possuem classificação A e a mesma redução de 16% (a diferença de carga térmica entre estes casos é inferior a 2 (kWh/m².ano)). Além disso, nota-se que a alteração de DPI de D para A resulta em um acréscimo entre 5% e 6% de redução, comparando as mesmas configurações de abertura.

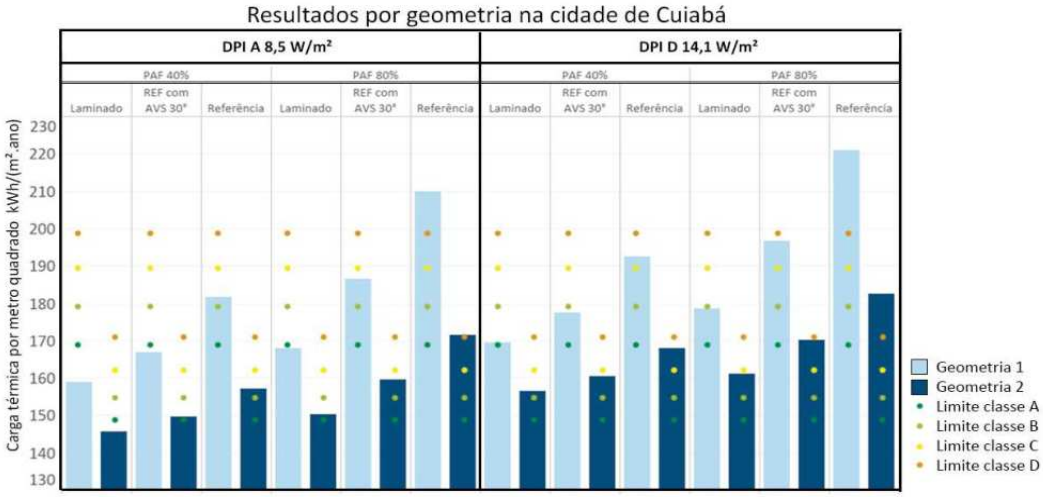


Figura 5 –Resultados de carga térmica por geometria na cidade de Cuiabá com os limites de classificação

Assim como apresentado na cidade de Curitiba, na cidade de Cuiabá a geometria 2 (50 m x 50 m) sofre maior influência da variação de DPI e menor variação de carga térmica entre os casos. Consequentemente, a escala de eficiência energética criada é inferior à da geometria 1. Novamente os casos com DPI A (8,5 W/m²) possuem as melhores classificações, tendo três casos com classificação B ou superior, ao mesmo tempo que para DPI D (14,1 W/m²) apenas um caso ultrapassou a classe C de eficiência. Para DPI A (8,5W/m²) e PAF de 40%, o caso de vidro laminado, com redução de 15%, apresenta classificação A, assim como o caso de vidro de referência com sombreamento, redução de 13%, possui classe A, e somente o vidro de referência, redução de 8%, apresenta classificação C.

Nota-se aqui diferença entre os resultados obtidos em Curitiba, nos quais o uso do vidro de referência sem sombreamento, mesmo com DPI A e em um edifício maior, não atinge classe B, ou seja, não reduzindo a carga térmica de resfriamento de modo adequado neste clima. Ainda para DPI A (8,5W/m²) mas PAF de 80%, vidro laminado apresenta classificação B. Já o vidro de referência com sombreamento tem classificação C. No caso do vidro de referência, obtém-se a classificação D e sem redução de carga térmica. Para DPI D (14,1 W/m²) todas estas classificações reduzem em uma classe. Para PAF de 40%, vidro laminado sua classificação é B, o vidro de referência com sombreamento obtém classificação C, e para vidro de referência tem-se classificação D. Para PAF de 80%, o vidro laminado apresenta redução de 6% e classificação C. O vidro referência com sombreamento possui classificação D. O único caso que tem classificação E é o vidro de referência com redução negativa de -6%. Assim como na geometria 1, para PAFs distintos algumas configurações da abertura possuem reduções aproximadas. Ao comparar o vidro laminado com PAF de 80% com o vidro referência com sombreamento e PAF de 40%, com a DPI D ambos atingem classificação C, sem diferença na redução, e diferença de carga térmica inferior a 1 kWh/(m².ano). Estes casos, considerando DPI A, atingem classificação B, e diferença de redução de 1%, com diferença de carga térmica também inferior a 1 kWh/(m².ano). Por fim, nota-se que a alteração de DPI de D para A resulta em um acréscimo de 6% de redução, comparando as mesmas configurações de abertura.

Ao comparar as duas geometrias na cidade de Cuiabá, quatro casos não alcançam a mesma classificação de eficiência, como pode se ver na Tabela 5 do item 4.3. Podemos destacar como o uso de vidro de referência com sombreamento, PAF de 40% e DPI D, sofreu redução de classe de eficiência energética ao comparar a geometria 1 (classe B) com a geometria 2 (classe C). Nestes casos, também nota-se um impacto considerável quando é feita a substituição de DPI D para A, ao analisar o edifício de maior porte. Também é observável que outros dois casos apresentaram classificação diferente entre as geometrias, ambos considerando o vidro laminado com PAF de 80%, porém com DPI D e DPI A. Por fim, como já mencionado na análise de cada geometria, há maior variação de carga térmica nos resultados obtidos da geometria 1 em comparação com a geometria 2. Porém, para a cidade e Cuiabá, as duas geometrias têm melhoria de cerca de

6% de redução de carga térmica total ao melhorar a DPI de D para A em todos os casos (redução de 11,0 kWh/(m².ano)).

4.3. Comparativo Curitiba e Cuiabá

Para comparar os resultados obtidos entre as mesmas cidades, comparam-se as mesmas geometrias e a classificação de eficiência energética alcançada para a envoltória. Isso porque, devido à diferenciação de clima, considerando Cuiabá como um clima quente e Curitiba como clima frio, os resultados de carga térmica têm diferença significativa, assim como o percentual de redução de carga térmica total. Em Cuiabá, a edificação de referência tem carga térmica equivalente a 199,1 kWh/(m².ano) na geometria 1 e 171,4 kWh(m².ano) na geometria 2, enquanto para a cidade e Curitiba a edificação de referência possui 68,3 kWh/(m².ano) na geometria 1 e 59,7 kWh/(m².ano) na geometria 2.

Assim, notam-se algumas diferenças de classificação da envoltória, apresentadas na Tabela 5 a seguir, sendo a cor verde escura representando a classe A, verde clara classe B e amarela classe C. Na geometria 1, três casos atingem classes diferentes de eficiência nas duas cidades. O vidro de referência com sombreamento e PAF de 40% tanto com DPI A quanto DPI D atingem classe inferior de eficiência na cidade de Curitiba, sendo o caso de DPI A com classificação B e DPI D com classificação C. Isso mostra que a combinação do sombreamento horizontal (AVS de 30º) com o vidro de referência pode ter resultados melhores em climas quentes em comparação com climas mais frios. Isso se ressalta ao analisar o resultado do vidro de referência com PAF 40% e DPI A, o qual atinge classificação B em Curitiba, mas C em Cuiabá.

Resultado similar pode ser analisado na geometria 2. Os casos de DPI A e PAF de 40%, no vidro referência com e sem sombreamento atingem classificação B em Curitiba. Porém, nota-se a importância do sombreamento no caso de Cuiabá, no qual o vidro de referência atinge classe C, inferior ao caso em Curitiba, mas com o adicional de sombreamento atinge classificação A, superior ao caso de Curitiba. Outro caso com classificação distinta na geometria 2, que ressalta a importância de sombreamento e de PAF menor, é o caso de DPI A e PAF de 80% e uso de vidro laminado: esta configuração atinge classe A em Curitiba, porém para Cuiabá a sua classificação é B.

Tabela 5 – Percentuais de redução de carga térmica por caso

Caso			Geometria 1		Geometria 2	
			Curitiba	Cuiabá	Curitiba	Cuiabá
DPI A	PAF 40%	Vidro referência	22%	9%	22%	8%
		Vidro referência com sombreamento	33%	16%	29%	13%
	PAF 80%	Vidro laminado	38%	16%	32%	12%
DPI D	PAF 40%	Vidro referência com sombreamento	19%	11%	11%	6%

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de parâmetros relacionados à envoltória de edificações de escritórios. Por meio de variações no tipo de vidro, percentual de abertura da fachada, sombreamento e a carga interna de iluminação, foram comparados resultados referentes às suas classificações de eficiência energética em duas cidades de grupos climáticos distintos: Cuiabá (MT) e Curitiba (PR). A configuração das edificações analisadas se deu em: geometria 1 de área de 500 m² por pavimento e fator de forma de 0,22; e geometria 2, de 2.500 m² por pavimento e fator de forma de 0,12. Ambas possuem 10 andares. Para cada uma delas, realizou-se variações na densidade de potência de iluminação, presença ou ausência de ângulo vertical de sombreamento de 30º, variação entre vidro referência e vidro laminado, e diferentes percentuais de abertura na fachada.

Conclui-se que, com base nos resultados encontrados, a DPI A foi o parâmetro de maior impacto na carga térmica anual das edificações avaliadas, apresentando resultados de eficiência melhores em todos os casos, assim como o uso de vidro laminado e de PAF 40%. Porém, na cidade de Curitiba ao considerar o uso de vidro laminado com DPI A, mesmo com o PAF de 80%, é possível atingir classificação A em ambas as geometrias. Em contrapartida, na cidade de Cuiabá, o uso de vidro de referência com sombreamento atinge a classificação mais elevada considerando a DPI A e PAF de 40%, o que reforça a importância do uso de sombreamento como estratégia neste clima. Ressalta-se que a melhoria na DPI D para A é satisfatória em todas as geometrias e casos. Porém, percebe-se que este impacto teve maior relevância na geometria 2, que possui maior área de zona interna, podendo chegar a uma melhora de 20% comparando a mesma

configuração de envoltória em Curitiba (redução de 12,1 kWh/(m².ano)) e de 6% em Cuiabá (redução de 11,0 kWh/(m².ano)).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). **Diário Oficial da União, Brasília** - DF, 2021.

CUIABÁ CLIMA. **Climate Data**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso/cuiaba-714809/>. Acesso em: 05 de abril de 2021

CURITIBA CLIMA. **Climate Data**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/curitiba-2010/>. Acesso em: 05 de abril de 2021

ELI, Letícia Gabriela; MAZZAFERRO, Leonardo; OLINGER, Marcelo Salles; MACHADO, Rayner Maurício e Silva; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Análise de Sensibilidade do Metamodelo da Etiquetagem Brasileira: Edificações Residenciais. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...] .** [S.L.]: Entac, 2018. p. 368-376.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. **Rio de Janeiro : EPE**, [s. l.], p. 264, 2020.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. 2010. "Eficiência Energética Da Envoltória de Edifícios de Escritórios de Florianópolis: Discussões Sobre a Aplicação Do Método Prescritivo Do RTQ-C." **Ambiente Construído** 10(2): 59–69.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia-. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. **Diário Oficial da União**, [s. l.], p. 96, 2010. Disponível em: <http://docs.wixstatic.com/ugd/5d557a_5c69f2b65b08481ebe2c80db6dbace63.pdf>

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia-. Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. **Diário Oficial da União**, [s. l.], 2012.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia-. Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). [s. l.], 2021.

INTERFACE WEB PARA A ESTIMATIVA DE CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO ANUAL DA ENVOLTÓRIA. **PBE Edifica**. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html>. Acesso em: 05 de abril de 2021

PINTO, Mônica Martins; WESTPHAL, Fernando Simon. Energy Performance of Offices Buildings in Brazil using Insulated Glass Units. **Proceedings of the 16th IBPSA Conference**, [s. l.], n. 1, p. 4944–4951, 2019.

QUEIROZ, Natália; WESTPHAL, Fernando Simon; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. A influência dos elementos de sombreamento e vidros no consumo de energia em climatização e iluminação em edifícios de escritórios. **XV ENCAC e XI ELACAC**, [s. l.], n. 1, p. 2075–2084, 2019.

VEIGA, Rodolfo K. S. et al. Análise da relação entre a área de abertura e o fator solar frente ao ganho de calor no contexto brasileiro. **XV ENCAC e XI ELACAC**, [s. l.], n. October, p. 0–9, 2019.

WESTPHAL, Fernando Simon. Avaliação de desempenho térmico de fachadas com vidros de controle solar em um edifício de escritórios. TECSIC 2019

WESTPHAL, Fernando S.. Avaliação de desempenho térmico de fachadas com vidros de controle solar em um edifício de escritórios. In: **WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS**, 2019. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–5. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/379>. Acesso em: 25 jun. 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa.