XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8511

Parâmetros dominantes na eficiência energética da envoltória de edificações comerciais

Dominant parameters in the energy efficiency of commercial building envelopes

Anthony Aliardi
LabEEE, UFSC | Florianópolis | Brasil | anthony.aliardi@posgrad.ufsc.br
Matheus Soares Geraldi
LabEEE, UFSC | Florianópolis | Brasil | matheus.geraldi@posgrad.ufsc.br
Ana Paula Melo
LabEEE, UFSC | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Roberto Lamberts
LabEEE, UFSC | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo
A Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) classifica a eficiência energética da envoltória com base na redução da carga térmica em relação a uma edificação de referência, utilizando um metamodelo de redes neurais para predição. Este artigo apresenta uma análise paramétrica e de sensibilidade da envoltória no contexto da INI-C, processando 5,76 milhões de combinações pelo metamodelo oficial para 8 arquétipos e 12 cidades representativas das zonas bioclimáticas brasileiras. Foram aplicados correlação de Spearman, Random Forest e análise de frequência modal a fim de entender os parâmetros de maior impacto na envoltória dessas tipologias. Os resultados indicam que a geometria da edificação define o parâmetro dominante: tipologias térreas são mais influenciadas pela absortância solar da cobertura, enquanto tipologias verticais são dominadas pela densidade de potência de iluminação e pelo fator solar dos vidros. O clima modula a importância relativa dos parâmetros, com inversão do perfil modal de transmitância de paredes entre zonas quentes e frias.

Palavras-chave: Eficiência energética. Envoltória. INI-C. Análise de sensibilidade. Metamodelo.

Abstract
The Brazilian energy efficiency labeling regulation for commercial buildings (INI-C) classifies envelope performance based on thermal load reduction relative to a reference building, using a neural network metamodel for prediction. This paper presents a parametric and sensitivity analysis of commercial building envelopes under INI-C, processing 5.76 million combinations through the official metamodel for 8 archetypes and 12 cities representative of Brazilian bioclimatic zones. Spearman correlation, Random Forest and modal frequency analysis were applied to identify the parameters with the greatest impact on envelope performance across typologies. Results show that building geometry determines the dominant parameter: single-story archetypes are impacted by roof solar absorptance, while multi-story typologies are dominated by lighting power density and glazing solar heat gain coefficient. Climate modulates relative parameter importance, with modal wall transmittance profiles inverting between hot and cold bioclimatic zones.

Keywords: Energy efficiency. Building envelope. INI-C. Sensitivity analysis. Metamodel.

Como citar:
ALIARDI, A. et al. Parâmetros dominantes na eficiência energética da envoltória de edificações comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8511

INTRODUÇÃO

O setor de edificações comerciais, de serviços e públicas responde por cerca de 25% do consumo de energia elétrica no Brasil [1], o que torna sua eficiência energética relevante para a política energética nacional. Nesse contexto, a Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) estabelece a metodologia para a classificação da eficiência energética de edificações, comparando o desempenho do projeto com uma edificação de referência [2]. O método simplificado da INI-C é baseado em um metamodelo de redes neurais artificiais (RNA) treinado a partir de extensas simulações paramétricas no programa EnergyPlus, que predizem a carga térmica anual de resfriamento e permitem calcular a redução da carga térmica em relação à edificação de referência, métrica que determina a classificação da edificação [3].

Embora a estrutura do método simplificado seja conhecida, a influência relativa de cada parâmetro construtivo na redução da carga térmica não é uniforme entre tipologias e climas [4]. Estudos de análise de sensibilidade em edificações demonstram que parâmetros como absortância solar, transmitância térmica, Percentual de Abertura na Fachada (PAF) e Fator Solar (FS) dos vidros têm impacto variável conforme o tipo de uso da edificação e a Zona Bioclimática (ZB) onde a edificação está localizada [2]. No entanto, análises que abranjam o espectro completo de tipologias previstas na INI-C e o conjunto de zonas bioclimáticas brasileiras ainda são escassas na literatura.

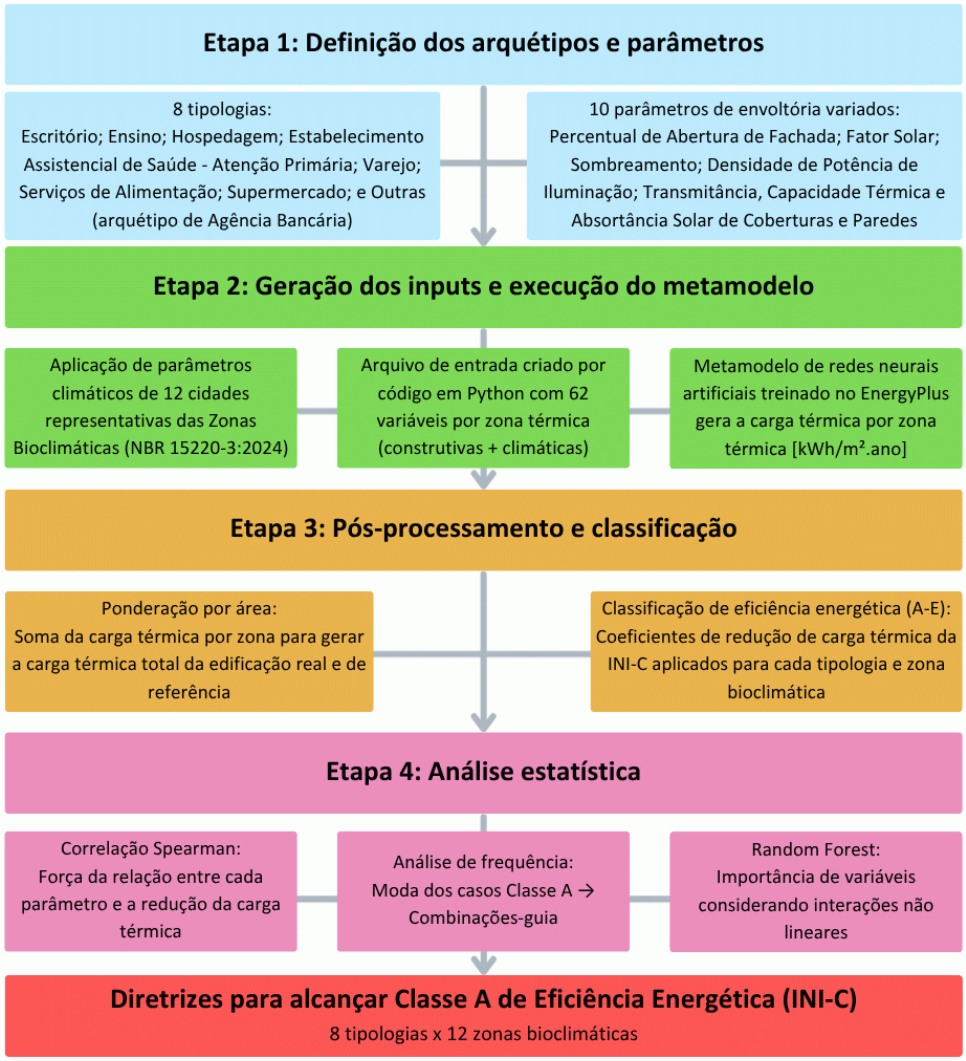
Estudos anteriores sobre a INI-C limitaram-se a tipologias isoladas e poucas cidades [2], e análises de maior abrangência existem na literatura brasileira apenas para edificações residenciais [4]. Este artigo tem como objetivo identificar e hierarquizar os parâmetros de envoltória de maior influência na eficiência energética de edificações comerciais sob a INI-C, tanto em escala global quanto desagregada por tipologia e zona bioclimática. Para isso, são processadas 5,76 milhões de combinações paramétricas avaliadas por meio do metamodelo oficial da INI-C para 8 arquétipos de referência em 12 cidades representativas das zonas bioclimáticas da ABNT NBR 15220-3:2024 [5], por meio de três métodos estatísticos complementares: correlação de Spearman, importância de variáveis por *Random Forest* (RF) e análise de frequência modal.

MÉTODO

O método adotado consiste em quatro etapas principais: i) definição dos arquétipos de referência e dos parâmetros a variar; ii) geração das combinações paramétricas e execução no metamodelo; iii) pós-processamento e cálculo da redução de carga térmica em relação à edificação de referência; e iv) análise estatística dos resultados. A Figura 1 apresenta o fluxograma geral do método.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8511

Figura 1: Fluxograma do método adotado



Fonte: os autores.

ARQUÉTIPOS DE EDIFICAÇÕES

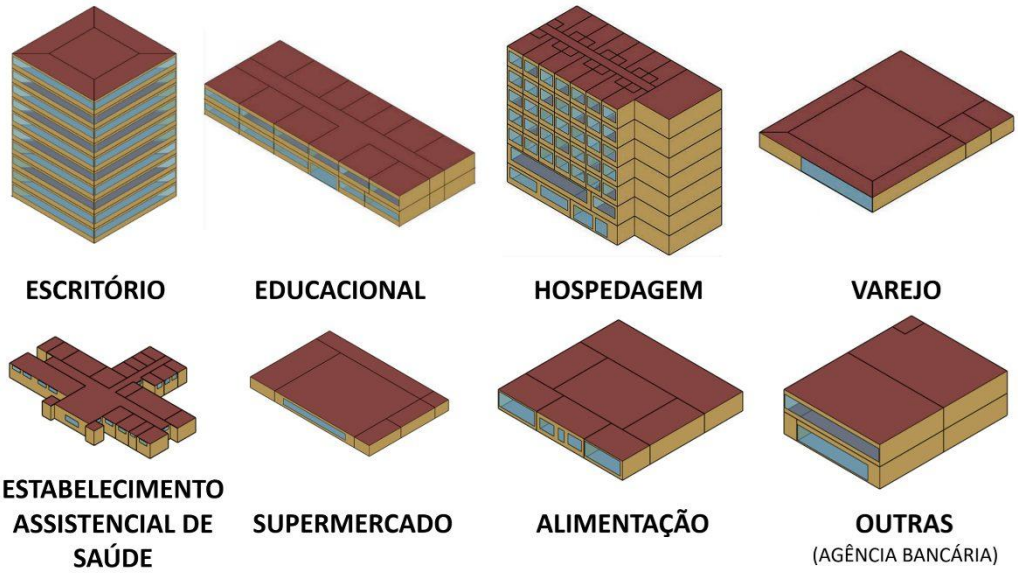
Foram utilizados 8 arquétipos representativos das tipologias previstas no Anexo A da INI-C [5] (Tabela 1), com parâmetros não construtivos fixos durante a variação paramétrica (Figura 2).

Tabela 1: Arquétipos utilizados por tipologia

Tipologia	Arquétipo	Dimensões (m)	Pavimentos
Serviços de Alimentação	Restaurante	22,7 x 22	1
EAS – Atenção Primária	Posto de saúde	22,4 x 17,5	1
Educacional	Escola de ensino fundamental	45 x 17,4	2
Escritório	Edifício de escritórios	20 x 20	10
Hospedagem	Hotel de grande porte	27,6 x 13,3	7
Outras	Agência bancária	20 x 15	2
Supermercado	Supermercado	79,2 x 52,8	1
Varejo	Loja de grande porte	50 x 40	1

Fonte: os autores.

Figura 2: Vistas isométricas dos arquétipos utilizados



Fonte: adaptado de [5].

ZONAS BIOCLIMÁTICAS

Foram utilizadas 12 cidades representativas das ZBs da ABNT NBR 15220-3:2024 [7]: Canela-RS (1R), Curitiba-PR (1M), Porto Alegre-RS (2R), São Paulo-SP (2M), Florianópolis-SC (3A), Brasília-DF (3B), Rio de Janeiro-RJ (4A), Goiânia-GO (4B), Recife-PE (5A), Cuiabá-MT (5B), Fortaleza-CE (6A) e Petrolina-PE (6B). Os dados climáticos foram extraídos de arquivos Typical Meteorological Year (TMY 2007–2021) no formato EPW, adotando o mesmo período e variáveis climáticas utilizados no desenvolvimento do metamodelo [3].

PARÂMETROS VARIADOS

Foram consideradas 5 combinações de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) para as paredes e coberturas, conforme as Tabelas 2 e 3. A absortância solar foi variada para as paredes (0,30; 0,50; 0,60 e 0,80) e coberturas (0,40; 0,65 e 0,80).

Tabela 2: Variações de componentes construtivos de parede

Variação	U (W/m²K)	CT (kJ/m²K)	Descrição
Par-1	0,37	29,45	Placa cimentícia 1 cm + lã de vidro 10 cm + placa de gesso 1,25 cm
Par-2	1,46	103,15	Argamassa 2,5 cm + bloco cerâmico 9 furos + argamassa 2,5 cm
Par-3	2,18	66,25	Argamassa 2,5 cm + bloco cerâmico 6 furos + gesso 0,5 cm
Par-4	2,39	150,00	Edificação de referência (padrão Classe D)
Par-5	4,76	240,00	Concreto maciço 10 cm

Fonte: os autores.

Tabela 3: Variações de componentes construtivos de cobertura

Variação	U (W/m²K)	CT (kJ/m²K)	Descrição
Cob-1	0,61	139,0	Telha metálica + EPS 4 cm + câmara de ar 25 cm + laje pré-moldada 12 cm

Cob-2	0,65	17,5	Telha metálica + EPS 4 cm + câmara de ar 25 cm + forro de gesso 1,5 cm
Cob-3	1,64	163,1	Telha cerâmica + câmara de ar + laje nervurada 20 cm + forro de gesso 1,5 cm
Cob-4	2,06	233,0	Edificação de referência (padrão Classe D)
Cob-5	2,75	134,2	Laje nervurada 20 cm + câmara de ar 5 cm + forro de gesso 1,5 cm

Fonte: os autores.

Os demais parâmetros variados estão descritos na Tabela 4. Os valores de Densidade de Potência de Iluminação (DPI) adotados por tipologia correspondem aos limites referenciados na INI-C para as Classes D e A [6]. Para as 8 tipologias, os pares [DPI_D; DPI_A] (W/m²) são: Ensino [15,5; 7,5]; EAS [15,0; 8,3]; Varejo [20,0; 8,4]; Outras [15,0; 8,0]; Escritório [14,1; 6,7]; Alimentação [13,9; 7,0]; Hospedagem [15,7; 5,7]; Supermercado [16,3; 8,4].

Tabela 4: Variações de aberturas, sombreamento e iluminação

Parâmetro	Unidade	Variações	Descrição
PAF	%	25; 40; 50; 70; 80	Percentual de Abertura na Fachada
FS	–	0,27; 0,36; 0,54; 0,69; 0,82	Fator Solar do vidro
AVS	°	0; 15; 30; 45	Ângulo Vertical de Sombreamento
DPI	W/m²	Classe D e Classe A	Densidade de Potência de Iluminação

Fonte: os autores.

GERAÇÃO DOS INPUTS E EXECUÇÃO DO METAMODELO

Para utilizar o metamodelo, foi desenvolvido um código em Python que atribuiu as variações paramétricas de acordo com as tipologias e ZBs, gerando 96 arquivos CSV de entrada (8 tipologias, 12 cidades), cada um com até 600.000 linhas de zonas térmicas. O processamento foi realizado em blocos para otimizar a memória computacional.

Após a execução do metamodelo, os resultados foram pós-processados para: i) agregar as cargas térmicas por zona térmica à escala da edificação; ii) calcular a redução da carga térmica de cada combinação em relação à edificação de referência; e iii) determinar a classificação da envoltória para cada caso. O pós-processamento gerou um arquivo com 5,76 milhões de casos.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o intuito de avaliar o impacto dos parâmetros por tipologia e ZB, foram aplicados três métodos estatísticos: correlação de Spearman e Random Forest, tendo como variável dependente a redução de carga térmica, e análise de frequência modal, aplicada sobre os casos que atingiram a Classe A:

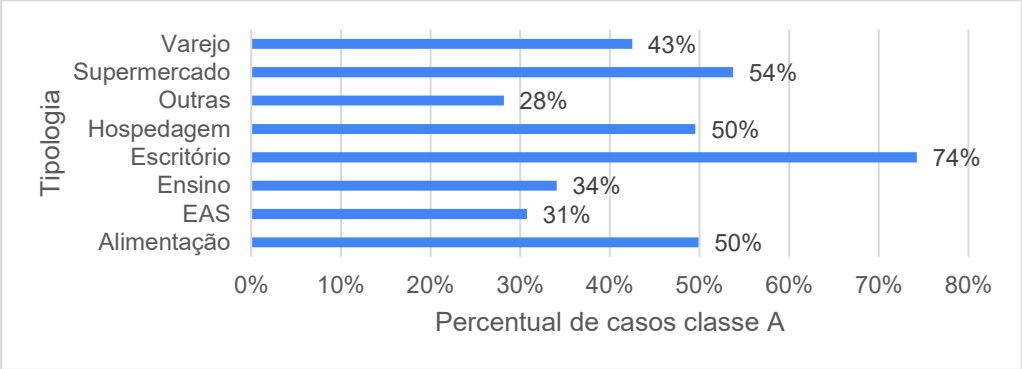
- Correlação de Spearman: mede a força e a direção da associação monotônica entre cada parâmetro e a redução de carga térmica. Correlação negativa indica que a diminuição do parâmetro corresponde à redução da carga térmica.
- Análise de frequência (moda): identifica os valores mais frequentes de cada parâmetro entre as combinações que atingiram a Classe A, funcionando como diretriz prescritiva a partir dos dados.

- *Random Forest*: captura efeitos não lineares e interações entre parâmetros, com importância expressa como peso percentual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Classe A é a classificação máxima da INI-C, obtida quando o coeficiente de redução de carga térmica supera o limite de referência para cada tipologia e ZB. Das 720.000 combinações paramétricas simuladas por tipologia, os percentuais de casos Classe A variam de 28% (Outras) a 74% (Escritório), conforme a Figura 3. O elevado percentual do Escritório deve-se às cargas internas moderadas e à forte sensibilidade aos parâmetros de fachada (FS, AVS e PAF), que atuam em todos os pavimentos e oferecem ampla margem de melhoria em relação à referência.

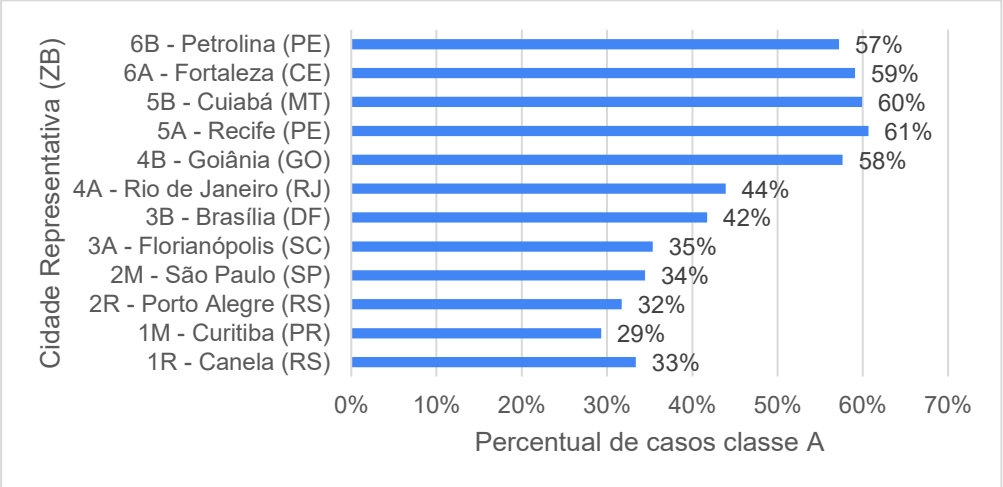
Figura 3: Percentual de casos Classe A por tipologia analisada



Fonte: os autores.

Em relação às zonas bioclimáticas, os maiores percentuais foram observados nas cidades mais quentes (ZBs 4 a 6). Nessas localidades, a edificação de referência apresenta elevada carga térmica constantemente, tornando mais fácil superá-la com ajustes paramétricos. Os menores percentuais ocorrem em Curitiba-PR (29%), em Porto Alegre-RS (32%) e Canela-RS (33%), onde o desempenho da referência é melhor. A Figura 4 apresenta esses resultados por cidade.

Figura 4: Percentual de casos Classe A por cidades representativas das Zonas Bioclimáticas



Fonte: os autores.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS E RESULTADOS GLOBAIS

A Tabela 5 resume os resultados globais dos três métodos. No *ranking* agregado, a DPI apresenta maior importância pelo *Random Forest*, com 46,45%, seguida da absortância solar da cobertura (21,67%). Transmitâncias e capacidades térmicas respondem por menos de 4% da importância total.

Tabela 5: Comparação global entre Spearman, Random Forest e moda para os parâmetros

Parâmetro	RF importância (%)	Spearman (ρ)	Rank RF / Spearman	Valor modal (Classe A)
DPI	46,45	–0,38	1º / 2º	DPI_A por tipologia
Acob	21,67	–0,43	2º / 1º	0,40
FS	8,60	–0,24	3º / 3º	0,27
AVS	7,73	+0,23	4º / 4º	45°
PAF	4,71	–0,13	5º / 7º	25%
Ucob	3,78	–0,16	6º / 6º	0,61 W/(m²K)
Apar	3,57	–0,17	7º / 5º	0,30
CTcob	1,25	+0,02	8º / 8º	139 kJ/(m²K)
Upar	1,16	–0,01	9º / 9º	2,39 W/(m²K)
CTpar	1,08	–0,01	10º / 10º	150 kJ/(m²K)

Fonte: os autores.

O Spearman aponta a absortância da cobertura como parâmetro de maior correlação média (|ρ| = 0,43), seguida de DPI (|ρ| = 0,38), FS (|ρ| = 0,24) e AVS (|ρ| = 0,23). A moda global reafirma os resultados: o perfil mais frequente entre os casos Classe A combina PAF = 25%, AVS = 45°, Ucob = 0,61 W/(m²K), Acob = 0,40, Upar = 2,39 W/(m²K), Apar = 0,30, FS = 0,27 e DPI no valor mínimo para Classe A da tipologia.

A divergência entre Spearman e *Random Forest* no 1º lugar do *ranking* global resulta de uma diferença metodológica: o Spearman é calculado separadamente por tipologia e depois agregado como média, de modo que as altas correlações da absortância da cobertura em tipologias térreas de grande área (varejo: ρ = −0,72; supermercado: ρ = −0,73; alimentação: ρ = −0,69) elevam sua média global. O RF, ao processar as 5,76 milhões de combinações de forma unificada, captura o grande impacto da DPI em todas as 8 tipologias, enquanto a absortância da cobertura tem pouca relevância nas tipologias verticais, como escritório (RF: 3,75%) e hospedagem (4,13%). No caso de Ucob, os dois métodos convergem para o 6º lugar (|ρ| = 0,16; RF: 3,78%), mas sua importância absoluta permanece baixa: como Ucob e Acob compartilham parte do espaço de variância explicada (ambas governam o fluxo de calor pela cobertura), o *Random Forest* tende a concentrar o crédito na variável de maior magnitude de efeito (Acob), reduzindo a importância residual de Ucob. Vale destacar ainda que a DPI foi variada em apenas dois níveis (valor de referência e valor mínimo para Classe A), em contraste com os 3 a 5 valores observados nos demais parâmetros. A eficiência luminosa é relevante, mas sua magnitude de importância no RF deve ser interpretada com cuidado, pois a variação em apenas dois níveis concentra toda a variância explicada em um único corte binário, o que pode superestimar sua importância relativa. Assim, o RF oferece o retrato mais fiel do conjunto completo, enquanto o Spearman é mais informativo para decisões de projeto específicas.

A única divergência de diagnóstico relevante entre os métodos para tipologias ocorre em “Outras” (agência bancária): o Spearman aponta a DPI como parâmetro de maior correlação (|ρ| = 0,49), enquanto o RF indica a absortância da parede externa como dominante (23,77% vs. 22,75% da DPI). Essa inversão ocorre porque o Spearman, por avaliar cada parâmetro isoladamente, não captura as interações da absortância da parede com PAF e sombreamento, que o Random Forest detecta ao modelar todas as variáveis simultaneamente. Para as demais tipologias, Spearman e *Random Forest* convergem no 1º e 2º lugares do *ranking*.

PARÂMETROS DE MAIOR IMPACTO POR TIPOLOGIA

A análise por tipologia revela perfis de sensibilidade distintos. Nas tipologias térreas de grande área de cobertura (Varejo, Supermercado e Alimentação), a absortância solar da cobertura é o parâmetro dominante, respondendo por 48,76%, 43,64% e 44,57% da importância total, respectivamente. O Spearman confirma: ρ entre −0,69 e −0,73 para esses três arquétipos. Esse resultado é fisicamente coerente, pois a proporção entre a área de cobertura e o volume construído é elevada nessas tipologias, tornando o ganho solar pela cobertura o principal responsável pela alta carga térmica. Para EAS, também térrea, mas com maior densidade de cargas internas, a absortância da cobertura ainda domina no *Random Forest* (34,74%), enquanto o FS dos vidros ganha relevância (19,99%), em razão da maior proporção entre área de fachada e área de cobertura nesse arquétipo.

Nas tipologias verticais (Escritório e Hospedagem), o padrão se inverte. Para o Escritório, os parâmetros FS (27,39%) e AVS (26,66%) lideram. Para a Hospedagem, a DPI é dominante (40,79%), seguida do FS (17,17%) e do AVS (14,56%): o grande número de quartos e o longo período de ocupação tornam a eficiência do sistema de iluminação crítica. Ensino e Outras tipologias apresentam comportamento intermediário, com múltiplos parâmetros competindo em importância: em Ensino, DPI lidera (18,94%) seguida de FS (15,29%), Apar (13,38%) e Acob (13,06%); em Outras, a absortância da parede domina (23,77%), seguida de DPI (22,75%), sugerindo que o padrão de fachadas nesse arquétipo amplifica o impacto da cor das paredes externas.

PARÂMETROS DE MAIOR IMPACTO POR ZONA BIOCLIMÁTICA

Ao analisar os resultados agregados por ZB, a DPI se consolida como parâmetro dominante no *Random Forest* em todas as 12 cidades, com importâncias variando entre 46,38% (Cuiabá-MT) e 56,81% (Rio de Janeiro-RJ). A absortância solar da cobertura ocupa consistentemente o 2º lugar, entre 21,47% (Recife-PE) e 24,73% (Petrolina-PE). Os demais parâmetros, individualmente, respondem por menos de 10% da importância em todas as zonas. Essa estabilidade contrasta com a variação observada por tipologia, pois a diversidade de arquétipos dilui os efeitos específicos de cada uso.

No Spearman por ZB, a absortância da cobertura é o parâmetro de maior correlação com a redução de carga térmica em todas as cidades, com valores ligeiramente mais elevados nas zonas frias (Canela-RS: ρ = −0,48; Porto Alegre-RS: ρ = −0,46) do que nas mais quentes (Recife-PE e Fortaleza-CE: ρ = −0,37). Nas quatro cidades restantes

(Curitiba-PR, São Paulo-SP, Florianópolis-SC e Rio de Janeiro-RJ), a DPI supera a Acob por margem estreita (|ρ| de 0,01 a 0,03). Nas zonas quentes, a transmitância da cobertura e das paredes ganham força: Ucob sobe para 2º lugar em Fortaleza-CE (ρ = −0,30), Recife-PE (ρ = −0,28) e Cuiabá-MT (ρ = −0,28), praticamente empatada com a DPI nessas cidades, com Upar também ganhando relevância nas mesmas, evidenciando que em climas quentes o isolamento térmico da envoltória passa a ter papel mais importante na redução de carga térmica.

COMBINAÇÕES MAIS FREQUENTES PARA A CLASSE A

A análise modal revela uma base paramétrica bem definida: em todas as tipologias e zonas bioclimáticas, o perfil dos casos Classe A combina PAF = 25%, AVS = 45°, Acob = 0,40, Apar = 0,30 e FS = 0,27, os valores mínimos de abertura e máximos de proteção solar disponíveis. Essa uniformidade reflete relações monotônicas fortes, em que o valor mais favorável de cada parâmetro é sempre o mais frequente entre os casos Classe A. A DPI modal corresponde ao valor mínimo para Classe A de cada tipologia.

A principal variação modal ocorre nos parâmetros de cobertura e de parede. Para Ucob, o valor modal global é de 0,61 W/(m²K), o mais baixo, e prevalece em quase todas as tipologias e cidades. Contudo, em Curitiba-PR, o valor modal de Ucob é 2,06 W/(m²K) (o próprio valor de referência) em todas as tipologias, e em Canela-RS e São Paulo-SP esse valor prevalece em metade delas, sugerindo que, nos climas mais frios, reduzir a transmitância da cobertura não é determinante para atingir a Classe A. Para Upar, o valor modal varia conforme a ZB: nas cidades de clima quente (Cuiabá, Fortaleza, Petrolina e Recife), o valor modal é 0,37 W/(m²K), o mais isolado disponível, embora em Recife-PE esse valor prevaleça em apenas metade das tipologias; nas cidades de clima temperado a frio (Canela, Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e São Paulo), predominam os valores mais elevados (4,76 e 2,39 W/(m²K)), indicando que o isolamento da parede tem pouca influência na classificação nessas ZBs, onde a carga de resfriamento já é naturalmente reduzida; nas demais cidades (Brasília, Goiânia e Rio de Janeiro), o valor modal assume valores intermediários (2,39 W/(m²K) e 1,46 W/(m²K)), refletindo sensibilidade moderada a esse parâmetro.

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma análise paramétrica e de sensibilidade da envoltória de edificações comerciais no contexto da INI-C, cobrindo 8 tipologias, 12 zonas bioclimáticas e 5,76 milhões de combinações processadas pelo metamodelo oficial.

A geometria da edificação define o parâmetro dominante: tipologias térreas de grande área de cobertura (Varejo, Supermercado e Alimentação) são extremamente impactadas pela absortância solar da cobertura (RF entre 50% e 55%), que se consolida como a principal responsável pelo ganho térmico nesses arquétipos. Em tipologias verticais (Escritório e Hospedagem), a DPI e o FS dos vidros assumem a liderança, com a absortância da cobertura respondendo por menos de 5% da importância total. Essa polarização entre tipologias térreas e verticais tem implicações diretas para a priorização de estratégias de projeto.

No plano global, o *Random Forest* aponta a DPI como parâmetro de maior importância (46,45%), presente em todas as 8 tipologias, embora esse resultado deva ser interpretado com cautela, dado que a DPI foi variada em apenas dois valores. A análise modal confirma que a DPI mínima é condição necessária para a certificação máxima da envoltória em qualquer tipologia ou ZB. Junto a ela, os valores modais de PAF = 25%, AVS = 45°, Acob = 0,40, Apar = 0,30 e FS = 0,27 formam um núcleo de combinações associado à Classe A.

O clima regula a importância dos parâmetros de forma relevante: a transmitância de paredes e cobertura ganha relevância relativa nas zonas mais quentes, onde o isolamento térmico mais impacta. Nas zonas frias, o perfil modal de Upar inverte para o valor máximo disponível.

Os três métodos são complementares: o Spearman é mais informativo para decisões de projeto específicas, o *Random Forest* captura interações e oferece o retrato global mais fiel, e a moda funciona como diretriz prescritiva. A convergência nos parâmetros dominantes (DPI, absortância da cobertura, FS e AVS) reforça a robustez dos resultados.

Os resultados evidenciam que a proporção de casos Classe A varia com o clima: enquanto as cidades mais quentes atingiram até 61% das combinações em Classe A, as cidades mais frias alcançaram no máximo 35%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar) e ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou a ferramenta Claude (versão Sonnet 4.6) para auxiliar no desenvolvimento do código de análise estatística e na revisão do documento, com o objetivo de identificar problemas de coesão textual. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

[2] JORDÃO, B. et al. 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). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 16., 2021, Palmas. **Anais**... Palmas: ANTAC, 2021.

[3] MACHADO, R. M. S. et al. Metamodel to predict annual cooling thermal load for commercial, services and public buildings: A country-level approach to support energy efficiency regulation. **Energy and Buildings**, v. 301, p. 113690, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113690

[4] ELI, L. G. et al. Análise de sensibilidade do metamodelo da etiquetagem brasileira: edificações residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 368-376.

[5] GERALDI, M. S. et al. Developing reference building models for the non-residential building sector to support public policies in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 332, p. 115419, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115419

[6] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C): Anexo I da Portaria Inmetro nº 309**. 2022.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.