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.v21i1.8921

Sistemas híbridos vs. climatização artificial: o caso do edifício Porto Seguro, São Paulo

Hybrid Systems vs. Artificial Cooling: The Case of the Porto Seguro Building, São Paulo

Loyde Vieira de Abreu Harbich
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie |São Paulo | Brasil | loyde.harbich@mackenzie.br
Thiago Corrêa Guimarães
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie |São Paulo | Brasil | 10388540@mackenzista.com.br

Resumo
O crescente consumo energético associado aos sistemas HVAC em edifícios corporativos, agravado pelo aumento das temperaturas urbanas e dos custos de energia, demanda estratégias que conciliem eficiência energética, conforto térmico e saúde dos ocupantes. Mesmo que a ventilação natural e os sistemas híbridos sejam apontados como alternativas promissoras, ainda são insuficientes as evidências sobre seu desempenho em edifícios corporativos de alto padrão no contexto climático brasileiro. Este trabalho avalia o desempenho de sistemas híbridos (ventilação natural integrada ao HVAC) como estratégia de mitigação do consumo no edifício Porto Seguro Matriz. A metodologia consistiu em simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus, comparando três cenários no edifício Porto Seguro Matriz: ventilação natural exclusiva, HVAC e sistema híbrido (Vent + HVAC). Foram utilizados dados climáticos de São Paulo e o modelo adaptativo de conforto da RTC. Os resultados revelam que a operação híbrida não apenas assegura 100% de horas em conforto térmico, como reduz o consumo energético em 52%, gerando uma economia anual superior a R$ 1,6 milhão. Conclui-se que a transição para sistemas híbridos é tecnicamente viável e economicamente imperativa para o setor imobiliário de alto padrão.

Palavras-chave: Edifícios híbridos. Eficiência energética. Conforto térmico. Arquitetura corporativa, Simulação computacional.

Abstract
The growing energy consumption associated with HVAC systems in office buildings, compounded by rising urban temperatures and increasing energy costs, calls for strategies that reconcile energy efficiency, thermal comfort, and occupant health. Although natural ventilation and hybrid systems have been identified as promising alternatives, evidence regarding their performance in high-end office buildings under Brazilian climatic conditions remains limited. This study evaluates the performance of hybrid systems (natural ventilation integrated with HVAC) as a consumption mitigation strategy, using the Porto Seguro Matriz building as a case study. The methodology consisted of computer simulations using EnergyPlus software, comparing three scenarios for the Porto Seguro Matriz building: exclusive natural ventilation, HVAC, and a hybrid system (Vent + HVAC). São Paulo climate data and the RTC adaptive comfort model were employed. The results reveal that hybrid operation not only ensures 100% of hours in thermal comfort but also reduces energy consumption by 52%, generating an annual saving exceeding R$ 1.6 million. It is concluded that the transition to hybrid systems is technically feasible and economically imperative for the high-end real estate sector.

Keywords: Hybrid Buildings. Energy efficiency. Thermal comfort. Corporate architecture. Computer simulation.

HARBICH, L. V. A.; GUIMARÃES, T. C. Sistemas híbridos vs. climatização artificial: o caso do edifício Porto Seguro, São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

O horizonte das grandes cidades tem sido ocupado por edifícios corporativos voltados à produção de capital informacional. Após a pandemia de 2020, os espaços de trabalho foram adaptados para modelos híbridos e colaborativos, priorizando o bem-estar e reduzindo distrações, o que possibilitou economia de energia de até 50% [1].

Nessas edificações, os sistemas de AVAC são amplamente utilizados, muitas vezes de forma superdimensionada [2]. Essa dependência pode reduzir a eficiência energética, elevar custos e afetar a saúde dos ocupantes, já que temperaturas fora da faixa de 22 °C a 25 °C aumentam riscos de doenças e fadiga cognitiva [3, 4]. Em um cenário de aquecimento global, a climatização torna-se também uma questão de saúde pública, respondendo por cerca de 16% do consumo energético mundial.

As pessoas passam grande parte do tempo em escritórios, o que torna a qualidade desses ambientes essencial para a saúde e o controle do consumo energético [5,6]. No Brasil, o ar-condicionado representa cerca de 14% do consumo residencial, com crescimento anual de 5,4% [6]. Entre 2017 e 2022, a TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) aumentou 222,61%, passando de 180,74 MWh para 402,36 MWh [7]. Estima-se que 60% dos lares terão ao menos um aparelho até 2030, com crescimento do consumo entre 70% e 190% até 2100 [8, 9]. Em edifícios comerciais, o ar-condicionado pode representar de 19% a 36% do consumo total [10, 11], enquanto o efeito de ilha de calor pode elevar em mais de 25% a demanda por resfriamento [12]. Globalmente, o setor HVAC responde por 10% a 20% do consumo energético [13].

A ventilação natural pode garantir conforto térmico em até 90% do tempo no verão, reduzindo o uso de ar-condicionado [15].

Sistemas híbridos, que combinam ventilação natural e mecânica, mantêm o conforto e reduzem o consumo energético, sobretudo com controle inteligente e envoltórias adequadas [16], além de melhorar a qualidade do ar interno [17]. Em áreas poluídas, porém, requerem filtragem ou controle conforme a qualidade do ar externo [18]. Sua eficácia depende de fatores como clima, orientação, layout e controle das aberturas, sendo mais adequada que a ventilação natural isolada em edifícios profundos ou climas extremos. Já nas Zonas Bioclimáticas BZ2 e BZ3 do sul do Brasil, resfriamento noturno por ventilação natural é recomendado para renovação de ar e ajuda a cumprir requisitos de conforto térmico [19].

Considerando que os sistemas híbridos podem oferecer um melhor equilíbrio entre eficiência energética, conforto térmico e promoção da saúde, esta pesquisa tem como objetivo avaliar se a ventilação natural, em modo misto ou integral, pode contribuir para a eficiência energética desses edifícios no presente e no futuro, ao mesmo tempo em que promove benefícios à saúde dos ocupantes.

METODOLOGIA

Os procedimento metodológicos desse estudo consistem na descrição do clima de São Paulo, esclarecer o clima local e portanto entender as implicações deste no estudo dos

projetos e cálculos; seleção dos estudos de caso, caracterização das edificações através de projetos e informações técnicas utilizadas como estudo de caso; coleta de dados de campo in loco, descrever os sensores utilizados, neste caso, o nanodispositivo, para entender os limites e objetivos da aferição em um edifício; cálculo do desempenho termo energético por meio de simulação computacional simulando o cenário atual (com ar-condicionado), sistema híbrido (ventilação e ar-condicionado) e ventilação natural pela NBR 15575 – 2021 [20]; e desenvolver plano para sustentabilidade energética para o edifício selecionado a partir das análises de dados. A figura 1 apresenta o fluxo metodológico adotado nessa pesquisa

Figura 1: Fluxo metodológico adotado nessa pesquisa



Fonte: os autores.

CLIMA DE SÃO PAULO

A metodologia abrange a caracterização do clima de São Paulo, a seleção e análise do estudo de caso, a coleta de dados de campo, a simulação termo energética e a proposição de estratégias de sustentabilidade. O clima local, classificado como subtropical úmido (Cfa), apresenta temperatura média anual de 20,1 °C, máximas de 35,6 °C e mínimas de 4,39 °C, com umidade de 68,3%, ventos predominantes de sul/sudeste de 11 km/h e radiação média de 1402 kJ/m², indicando potencial para uso da ventilação natural [21].

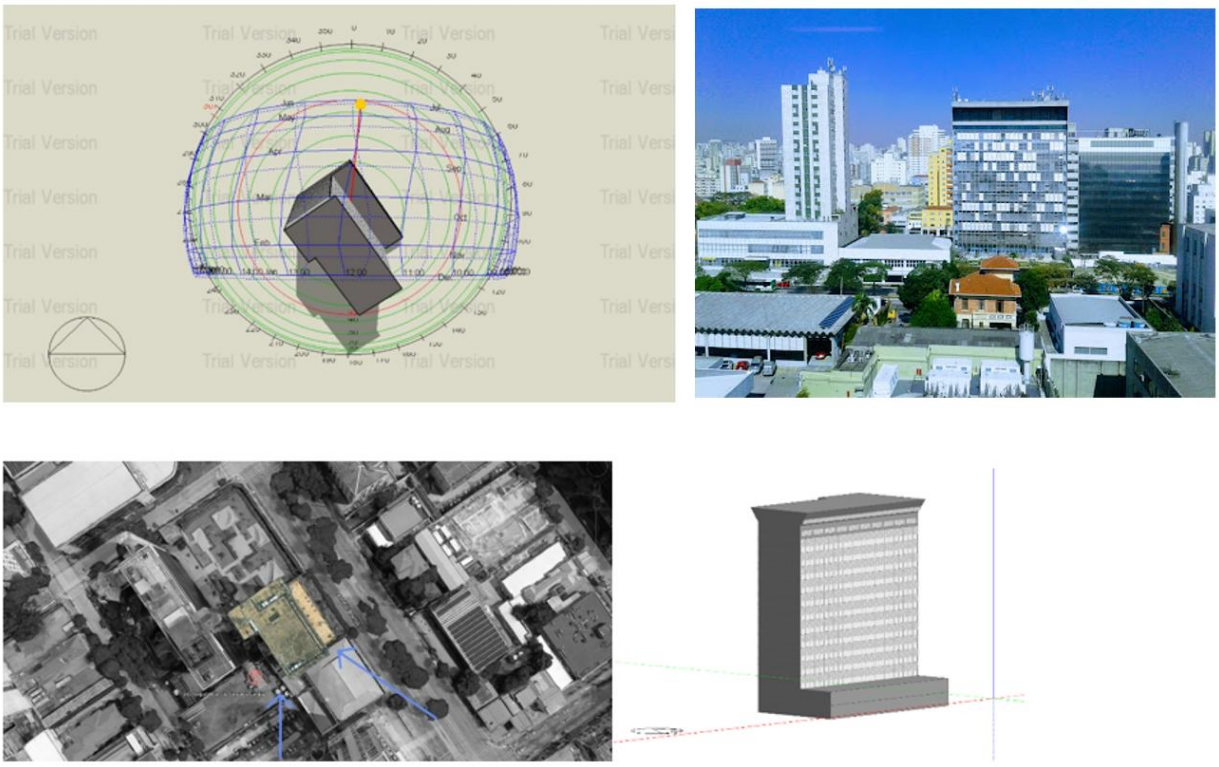
ESTUDO DE CASO

Para a seleção do edifício a ser analisado foi considerado: a orientação mais desfavorável em relação ao sol, ou seja, com mais horas de insolação nas envoltórias do ambiente em estudo, e a mais favorável em relação ao sol; sem obstruções das janelas por edifícios; local com a maior permanência de pessoas

O edifício Porto Seguro Matriz, situado na Alameda Barão de Piracicaba, Campos Elíseos, na região central de São Paulo, foi selecionado (Fig. 2). Esse edifício integra um importante complexo corporativo destinado a atividades administrativas e apresenta características típicas de edificações corporativas de grande porte, com pele de vidro,

e elevada dependência de sistemas de climatização para garantir condições adequadas de conforto térmico aos ocupantes.

Figura 2: Implantação do edifício Porto Seguro Matriz e análise de insolação



Fonte: Adaptado de Google Earth e Design Builder (2023) pelos autores.

ANÁLISE DOS DADOS

As normas brasileiras, como a NBR 15220 [22], a NBR 15575 (partes 4 e 5) [20] e o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica [23], estabelecem metodologias para avaliar o desempenho térmico da envoltória, visando conforto térmico e eficiência energética. A NBR 15220 define critérios com base em transmitância e capacidade térmica, considerando as zonas bioclimáticas. Para paredes externas, estabelece limites de transmitância entre 3,7 W/m²·K (climas quentes) e 1,0 W/m²·K (climas frios), e capacidade térmica mínima entre 130 kJ/m²·K e 300 kJ/m²·K.

A NBR 15575-1:2021 [24] é a principal referência para avaliação do conforto térmico em edificações residenciais, incorporando a diversidade climática do país. Destaca-se o Percentual de Horas em Conforto Térmico (PHFT), que expressa o tempo em que o ambiente permanece em condições adequadas de temperatura e umidade, com critérios ajustados às zonas bioclimáticas e à adaptação dos usuários [24,25].

Na ausência de norma específica para edificações comerciais, adotou-se a NBR 15575-1:2021 [20]. Como complemento, a ISO 7730 [26] e a ASHRAE 55 [27] indicam que o conforto térmico ocorre com temperatura operativa entre 22 °C e 27 °C, umidade relativa entre 40% e 60% e velocidade do ar entre 0,12 m/s e 0,24 m/s.

SIMULAÇÕES TERMO-ENERGÉTICA

Para fazer uma simulação computacional termo energética será utilizado o software DesignBuilder, que emprega cálculos do EnergyPlus 6.0, versão 6.1.0.006 revisada em 2019. Nesse tipo de simulação é possível obter como dados de saída a Temperatura Operativa e assim calcular as horas de conforto obtidas ao longo do ano em diferentes cenários. Logo, é possível verificar, as alternativas que proporcionem maior eficiência energética e conforto térmico para a edificação.

O modelo de construção será projetado no próprio programa, com base em características construtivas do edifício descritas anteriormente. Os cenários analisados foram: (1) Edifício real com ar-condicionado, portas e janelas fechadas; (2) Edifícios real com brise, Ventilação Natural, portas e janelas abertas; (3) Edifício Real sem os brises, com janelas e portas abertas.

A etapa de simulação termoenergética foi realizada no software DesignBuilder, modelando o edifício em três cenários distintos: (I) climatização artificial total, (II) climatização híbrida e (III) ventilação natural total.

Tabela 1: Parâmetros de Entrada das simulações no DesignBuilder

Parâmetro	Cenário I	Cenário II	Cenário III
HVAC	VAV, Chiller resfriado a água, controle total de umidade	VAV, Chiller resfriado a ar, reinicialização por ar externo + modo misto	Ventilação natural, sem resfriamento, sem aquecimento
Atividade	Área de escritório	Área de escritório	Área de escritório
Densidade (pessoas/m²)	0,25	0,25	0,25
Ventilação natural	Não	Sim / Ar externo 10 ac/h	Sim / Ar externo 10 ac/h
Aberturas	Vidro duplo, transparente – U = 1,960 W/m²·K	Vidro duplo, transparente – U = 1,960 W/m²·K / modo misto ativado	Vidro duplo, transparente – U = 1,960 W/m²·K / modo misto
Controle de fluxo de ar	—	Fluxo: 0,8 m³/s·m / abertura 50%	Fluxo: 0,8 m³/s·m / abertura 50%
Características construtivas	Conforme Tabela 4 (materiais e propriedades térmicas)	Conforme Tabela 4 (materiais e propriedades térmicas)	Conforme Tabela 4 (materiais e propriedades térmicas)

Fonte: os autores.

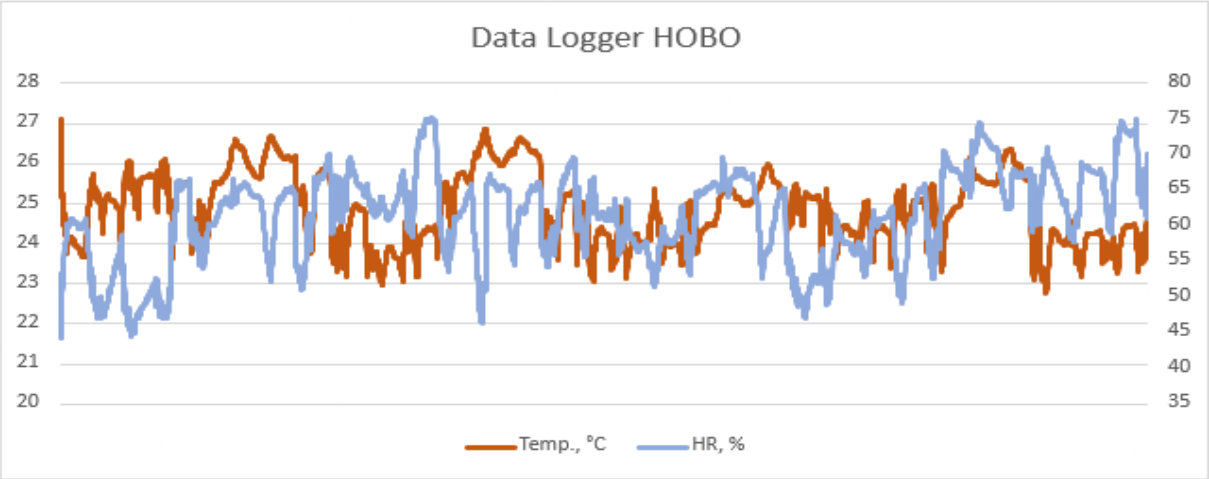
RESULTADOS

Após 32 dias de monitoramento no edifício “Porto Seguro Matriz”, a temperatura interna variou entre 23 °C e 27 °C, com picos diários associados à incidência solar e à ocupação. Ainda assim, prevaleceu dentro da faixa de conforto térmico estabelecida pela ISO 7730 e pela ASHRAE 55 (22 °C a 27 °C), resultado da atuação do sistema HVAC. A umidade relativa variou entre 45% e 75%, frequentemente acima da faixa ideal de 40% a 60%, porém sem ultrapassar níveis críticos de 80% [26, 27].

O monitoramento indicou condições térmicas estáveis, apesar das variações diárias (Fig.3). Esses picos podem afetar momentaneamente o conforto, mas a estabilidade geral reflete o uso de sistemas de AVAC robustos. Destaca-se, entretanto, a necessidade de avaliar o custo energético associado e o potencial de estratégias de ventilação para sua redução.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8921

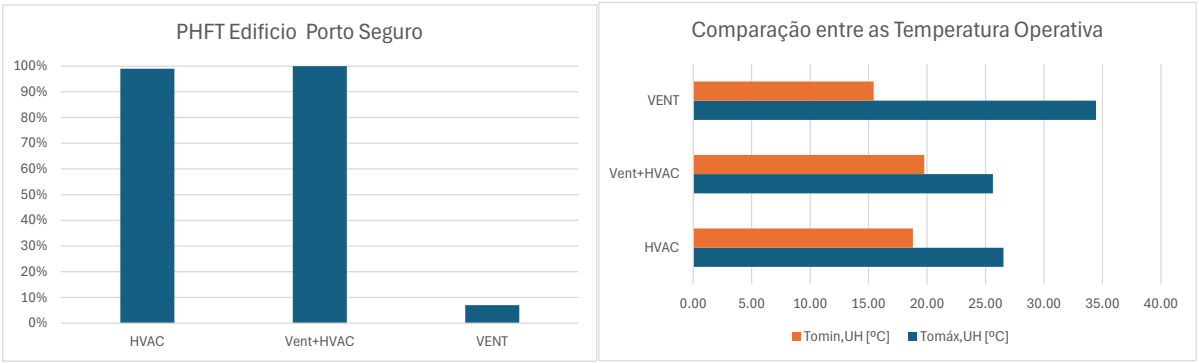
Figura 3: Gráfico do conforto medido in loco



Fonte: os autores.

O percentual de horas confortáveis e o máximo e mínimo de temperatura operativa interna para cada situação analisada é apresentado na figura 3. A análise comparativa entre os sistemas de climatização HVAC, Vent+HVAC e NATVENT revelou diferenças significativas no desempenho térmico do edifício. O sistema Vent+HVAC apresentou o melhor resultado, com 100% de Percentual de Horas de Funcionamento Térmico (PHFT), seguido de perto pelo HVAC com 98,98%. Já a ventilação natural obteve apenas 53,58%, indicando menor eficiência em manter o conforto térmico.

Figura 4: Percentual de Horas Confortáveis e o máximo e mínimo das temperaturas operativas por situação analisada



Fonte: os autores.

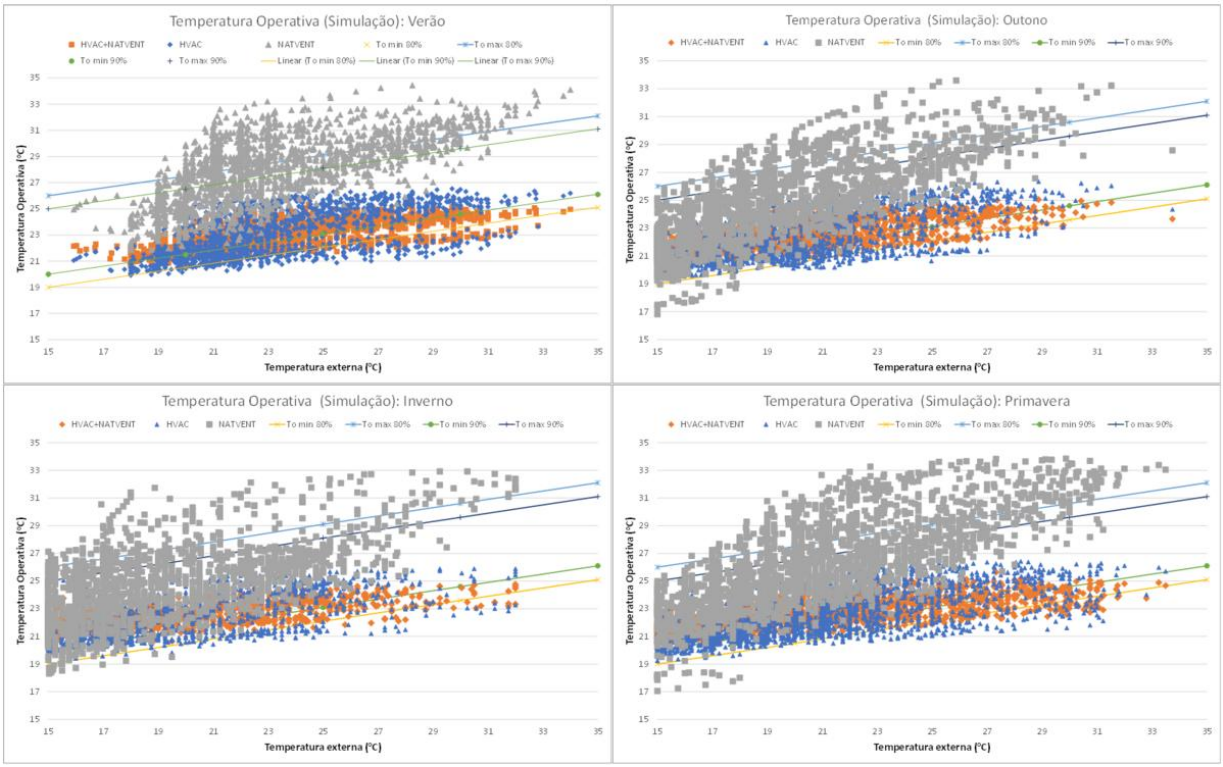
O consumo energético para resfriamento (CgTR) foi nulo nos sistemas HVAC e Vent+HVAC (0,00 kWh), enquanto a ventilação natural apresentou valor negativo de -0,07 kWh, indicando ausência de demanda ou possível superdimensionamento. Para aquecimento (CgTA), todos os sistemas registraram 0,00 kWh. A temperatura máxima foi menor no Vent+HVAC (25,64 °C), seguida pelo HVAC (26,54 °C), enquanto a ventilação natural atingiu 34,45 °C. A mínima foi mais estável no Vent+HVAC (19,76 °C) e no HVAC (18,79 °C), sendo inferior na ventilação natural (15,44 °C). O consumo total de energia térmica (CgTT) também foi nulo nos sistemas HVAC e Vent+HVAC, permanecendo em -0,07 kWh na ventilação natural.

Quanto ao desempenho, o sistema Vent+HVAC atendeu aos níveis mínimo, intermediário e superior em todos os indicadores (PHFT, temperaturas e CgTT). A ventilação natural não atendeu aos critérios mínimos e intermediários para PHFT e

temperaturas, embora tenha cumprido os requisitos energéticos intermediários e superiores para CgTT.

A Figura 5 apresenta os resultados das simulações por estação do ano: verão (dezembro a fevereiro), outono (março a maio), inverno (junho a agosto) e primavera (setembro a novembro).

Figura 5 : Resultados pelo modelo adaptativo RTC.



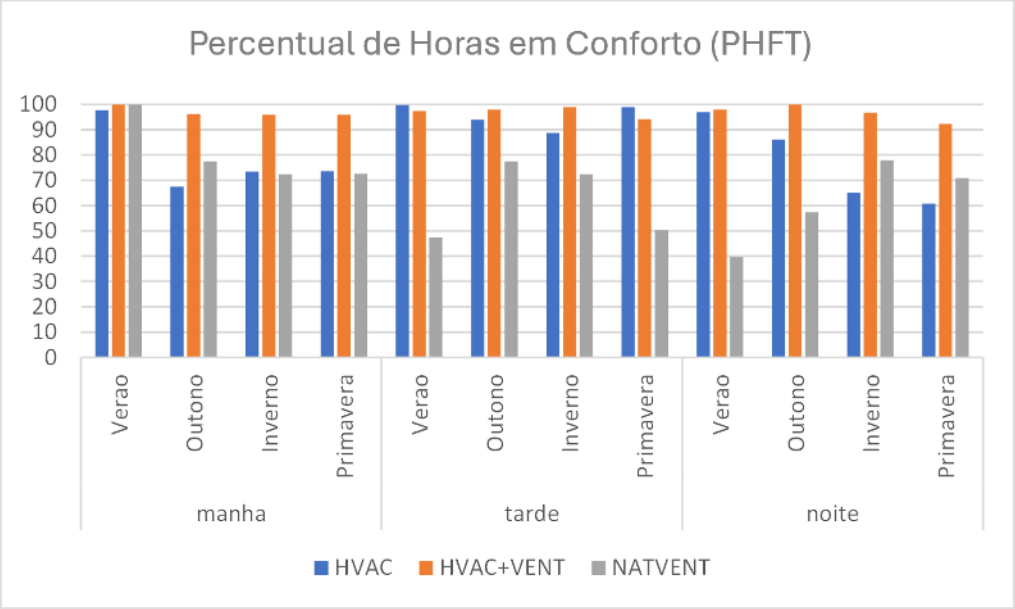
Fonte: os autores.

A Figura 6 apresenta o percentual de horas em conforto térmico (PHFT) por estação e período do dia, comparando os sistemas HVAC, HVAC+VENT e NATVENT. Pela manhã, no verão, HVAC+VENT e NATVENT atingiram 100%, enquanto HVAC registrou 97,67%. No outono, HVAC apresentou 67,50%, HVAC+VENT 96,23% e NATVENT 77,55%. No inverno e primavera, HVAC ficou em torno de 73%, HVAC+VENT acima de 95% e NATVENT próximo de 72%.

À tarde, HVAC apresentou 99,84% no verão, HVAC+VENT 97,46% e NATVENT 47,38%. No outono, HVAC e HVAC+VENT registraram 93,88% e 97,96%, com NATVENT em 77,55%. No inverno, os valores foram 88,66% (HVAC), 98,91% (HVAC+VENT) e 72,36% (NATVENT). Na primavera, HVAC atingiu 98,91%, HVAC+VENT 94,25% e NATVENT 50,15%.

No período noturno, houve maior variação. No verão, HVAC registrou 96,83%, HVAC+VENT 97,93% e NATVENT 39,72%. No outono, HVAC+VENT alcançou 100%, HVAC 86,03% e NATVENT 57,30%. No inverno, HVAC teve 65,06%, HVAC+VENT 96,74% e NATVENT 77,95%. Na primavera, os valores foram 60,71% (HVAC), 92,39% (HVAC+VENT) e 70,96% (NATVENT).Figura 5 – Percentagem de Horas confortáveis ao longo do ano e por período

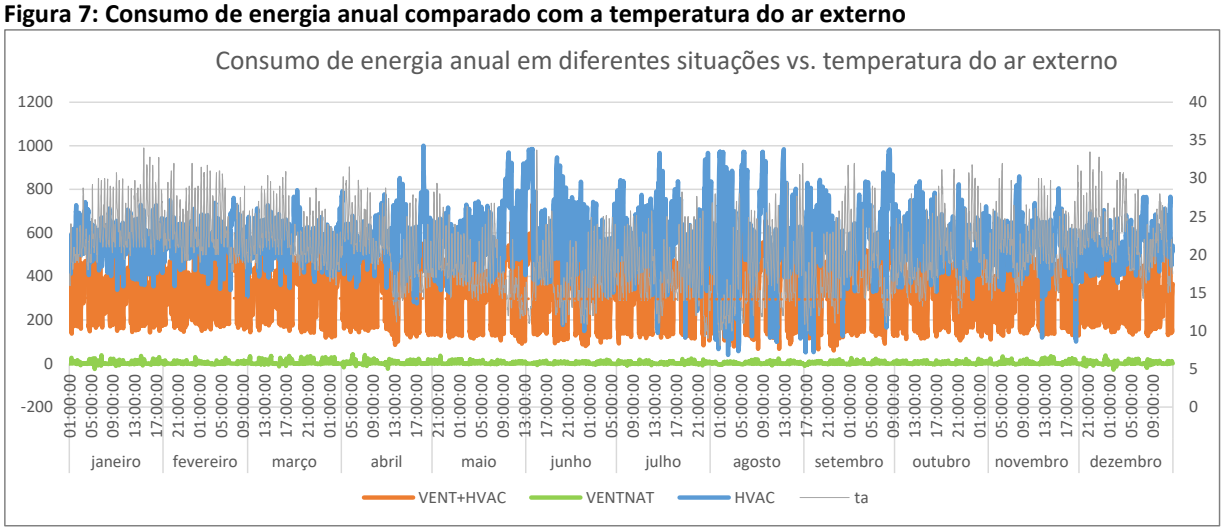
Figura 6: Percentual de Horas de Conforto (PHFT) por período e por estação



Fonte: os autores.

O primeiro cenário a ser discutido será a (I) climatização artificial total, que está mais próximo da realidade atual do edifício Porto Seguro Matriz. Durante um ano com climatização artificial total, a temperatura varia com mínimas e picos de 20°C a 25°C, um range confortável e equilibrado, o que é esperado dada a utilização total de sistemas artificiais. Já o gasto energético de climatização anual simulado foi 1.427.855.50 KWh, o que difere do valor cedido à pesquisa pela própria Porto Seguro, que foi de 717.612,28 kWh, decorrente provavelmente de um uso de um sistema mais eficiente que o escolhido, que não altera a importância do dado simulado, visto que a pesquisa tem seus próprios parâmetros dentro de si e a importância reside na proporcionalidade dos resultados para serem replicados (figura 7).

Figura 7: Consumo de energia anual comparado com a temperatura do ar externo



Fonte: os autores.

O segundo cenário analisado corresponde à (II) climatização híbrida, relevante para comparação com o cenário (I). A temperatura variou entre 16 °C e 25 °C, apresentando

momentos de desconforto, sobretudo no inverno, quando ocorrem as mínimas. O consumo anual de climatização simulado foi de 984.522,22 kWh.

O terceiro cenário, (III) ventilação natural total, foi avaliado para comparação das variações térmicas e seus efeitos no conforto. As temperaturas variaram entre 16 °C e 34 °C, com extremos desconfortáveis, embora haja períodos aceitáveis durante o outono e o inverno.

CONCLUSÃO

Este artigo analisou o desempenho térmico de um edifício e seu consumo de energia com base nas horas de conforto em três condições: uso de ar-condicionado (HVAC), ventilação natural e sistema híbrido (Vent+HVAC). Os resultados mostram que o sistema Vent+HVAC apresentou o melhor desempenho, com 100% de horas de conforto e temperaturas operativas estáveis, seguido pelo HVAC, com 98,98%. Já a ventilação natural, embora energeticamente eficiente, foi limitada em termos de conforto, registrando apenas 53,58% de horas dentro da faixa ideal e maiores variações térmicas. O monitoramento in loco confirmou a eficácia do HVAC em manter temperaturas entre 23°C e 27°C, dentro dos padrões normativos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do MackPequisa no desenvolvimento dessa pesquisa.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram as ferramentas Gemini.ai para a geração da imagem 1 e ChatGPT para a tradução, revisão, melhoria da coesão do texto. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] APPEL-MEULENBROEK, R.; KEMPERMAN, A.; VAN DE WATER, A.; WEIJS-PERRÉE, M.; VERHAEGH, J. How to attract employees back to the office? A stated choice study on hybrid working preferences. Journal of Environmental Psychology, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101784.

[2] MANTESI, E.; CHMUTINA, K.; GOODIER, C. The office of the future: Operational energy consumption in the post-pandemic era. **Energy Research & Social Science**, v. 87, p. 102472, 2022.

[3] HENARI, B.; SAADATIAN, S.; GAMEIRO DA SILVA, M. Experimental Assessment of Demand-Controlled Ventilation Strategies for Energy Efficiency and Indoor Air Quality in Office Spaces. **Air**, v. 3, n. 2, p. 17, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/air3020017.

[4] WOLKOFF, P.; AZUMA, K.; CARRER, P. Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation.

International Journal of Hygiene and Environmental Health, v. 233, 113709, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709.

[5] DEAR, R.; XIONG, J.; KIM, J.; CAO, B. A review of adaptive thermal comfort research since 1998. **Energy and Buildings**, v. 214, 109893, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109893.

[6] MISHRA, A.; RAMGOPAL, M. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v. 92, p. 396-406, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.024.

[7] LETSCHERT, V. **The Manufacturer Economics and National Benefits of Cooling Efficiency for Air Conditioners in Brazil**. [S. l.: s. n.], 2019.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifas e informações econômico-financeiras**. Brasília: ANEEL, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras. Acesso em: 5 maio 2026.

[9] BEZERRA, P. *et al*. Impacts of a warmer world on space cooling demand in Brazilian households. **Energy and Buildings**, 2021.

[10] INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.07.067.

[11] COSTA, M.; FREIRE, M.; DA SILVA, K.; FREIRES, F. Analysis of Energy Consumption Related to the Use of Air Conditioning in University Buildings in a Tropical Climate. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.24857/rgsa.v16n2-019.

[12] GERALDI, M. *et al*. Assessment of the energy consumption in non-residential building sector in Brazil. **Energy and Buildings**, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112371.

[13] DE SOUZA, C. Quantitative Analysis of the Impact of Urban Heat Island Intensity on Air Conditioning Energy Consumption in São Paulo. **Journal of Progress in Engineering and Physical Science**, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.56397/jpeps.2024.12.08.

[14] D'AGOSTINO, D.; GRECO, A.; MASSELLI, C.; MINICHIELLO, F. The employment of an earth-to-air heat exchanger as pre-treating unit of an air conditioning system for energy saving: A comparison among different worldwide climatic zones. **Energy and Buildings**, v. 229, 110517, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110517.

[15] BIARDEAU, L.; DAVIS, L.; GERTLER, P.; WOLFRAM, C. Heat exposure and global air conditioning. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 25-28, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41893-019-0441-9.

[16] RAJI, B.; TENPIERIK, M.; BOKEL, R.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. Natural summer ventilation strategies for energy-saving in high-rise buildings: a case study in the Netherlands. **International Journal of Ventilation**, v. 19, p. 25-48, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/14733315.2018.1524210.

[17] GOMIS, L.; FIORENTINI, M.; DALY, D. Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings. **Energy and Buildings**, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110597.

[18] MANGA, A.; ALLEN, C. Implications of a Natural Ventilation Retrofit of an Office Building. **Climate Emergency – Managing, Building, and Delivering the Sustainable**, 2021.7

[19] VETTORAZZI, E.; FIGUEIREDO, A.; REBELO, F.; VICENTE, R.; DA CUNHA, E. G. Optimization of the passive house concept for residential buildings in the South-Brazilian region. **Energy and Buildings,** v. 240, p. 110871, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.

[20] NASROLLAHI, N.; GHOBADI, P. Field measurement and numerical investigation of natural cross-ventilation in high-rise buildings; Thermal comfort analysis. **Applied Thermal Engineering**, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118500.

[21] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Brasília, DF: INMET, 1992.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[24] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica)**. Rio de Janeiro: INMETRO, [s.d.]. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/. Acesso em: 5 maio 2025.

[25] KRELLING, A. *et al*. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 278, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112770. Acesso em: 19 ago. 2025.

[26] OLIVEIRA, R. *et al*. Thermal Comfort for Users According to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards. **Energy Procedia**, [S. l.], v. 78, p. 2923–2928, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.11.668. Acesso em: 19 ago. 2025.

[27] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva: ISO, 2005.

[28] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2020.