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.v21i1.8590

Quem controla as interfaces prediais em salas de aula?

Who controls building interfaces in classrooms?

João Henrique Alves da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | joaohenrique.arq@gmail.com
Renata Cordeiro Peguin
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul | Jardim | Brasil | arq.renatacordeiro@gmail.com
Renata De Vecchi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | redevecchi@gmail.com
Martín Gabriel Ordenes Mizgier
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br

Resumo

Este estudo investiga a influência dos ocupantes no controle das condições ambientais em salas de aula localizadas em clima tropical. A pesquisa combinou monitoramento ambiental, registro de ações sobre interfaces prediais e aplicação de questionários em dois cenários: sem e com disponibilização de informações ambientais por meio de um sinalizador visual. Foram analisadas a concentração de CO_2, o conforto térmico e as ações dos ocupantes sobre janelas, portas e sistemas de ar-condicionado. Os resultados mostram que, sem informação ambiental, não ocorreram ações de ventilação natural mesmo sob níveis críticos de CO_2. Com a introdução do sinalizador, observou-se aumento das ações adaptativas e redução das concentrações de CO_2. Conclui-se que o comportamento dos ocupantes é condicionado por fatores contextuais e pela distribuição de responsabilidades, sendo a informação isoladamente insuficiente para promover mudanças consistentes.

Palavras-chave: Comportamento dos ocupantes. Qualidade do ar interno. Conforto térmico. Sala de aula. Clima tropical.

Abstract

This study investigates the influence of occupants on the control of environmental conditions in classrooms located in a tropical climate. The research combined environmental monitoring, records of actions on building interfaces, and questionnaires under two scenarios: without and with environmental information provided through a visual indicator. CO_2 concentration, thermal comfort, and occupants' actions on windows, doors, and air-conditioning systems were analyzed. The results show that, without environmental information, no natural ventilation actions occurred even under critical CO_2 levels. With the introduction of the visual indicator, adaptive actions increased and CO_2 concentrations decreased. It is concluded that occupant behavior is conditioned by contextual factors and by the distribution of responsibilities, with information alone being insufficient to promote consistent behavioral change.

Keywords: Occupant behavior. Indoor air quality. Thermal comfort. Classrooms. Tropical climate.

Como citar:
SILVA, João Henrique Alves da; PEGUIN, Renata Cordeiro; DE VECCHI, Renata; MIZGIER, Martin Gabriel Ordenes. Quem controla as interfaces prediais em salas de aula? In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8590

INTRODUÇÃO

O desempenho ambiental de salas de aula depende não apenas das condições físicas do ambiente, mas da forma como os ocupantes interagem com as interfaces prediais ao longo do uso. Nesse contexto, o comportamento adaptativo assume papel central na regulação das condições internas e no consumo energético das edificações [1][2].

A dinâmica dessas ações é marcada por elevada complexidade, envolvendo variáveis fisiológicas, sociais, culturais, ambientais e contextuais, que atuam simultaneamente na tomada de decisão dos usuários [3]. Em condições ambientais multidomínio, nas quais conforto térmico e qualidade do ar interagem de forma simultânea, essa complexidade se intensifica, tornando ainda mais limitada a compreensão de como os ocupantes respondem a esses estímulos em situações reais de uso [2][4].

A literatura evidencia lacunas na análise integrada entre condições ambientais, comportamento observado e percepção dos ocupantes. Grande parte dos estudos aborda essas dimensões de forma isolada, sem considerar como elas se articulam na prática, especialmente em ambientes escolares localizados em climas tropicais, onde há potencial conflito entre estratégias de ventilação natural e uso de sistemas de climatização [4][5].

Entre os componentes da qualidade ambiental interna, a qualidade do ar interno se destaca como um dos fatores de grande relevância. A concentração de dióxido de carbono (CO_2) é amplamente utilizada como um dos indicadores, estando associada a impactos na saúde, no desempenho cognitivo e na aprendizagem em ambientes escolares [6][7]. No entanto, por se tratar de uma variável imperceptível aos sentidos humanos, sua influência no comportamento dos ocupantes tende a ser reduzida, resultando na ausência de ações adaptativas mesmo em condições de acúmulo progressivo [8][9][10].

Em ambientes escolares, esse processo é ainda mais complexo devido à dinâmica social e à distribuição de responsabilidades entre os ocupantes, frequentemente centralizada no docente [11][12].

Paralelamente, estratégias baseadas na disponibilização de informação ambiental em tempo real têm sido apontadas como uma alternativa promissora para reduzir a lacuna entre percepção e ação. Sistemas de sinalização visual permitem tornar visíveis variáveis imperceptíveis, como o CO_2, aumentando a probabilidade de adoção de comportamentos adaptativos, como a abertura de janelas [13][14]. No entanto, ainda são limitadas as evidências sobre a efetividade dessas estratégias em promover mudanças comportamentais consistentes em ambientes reais de uso, sobretudo quando fatores contextuais e sociais estão envolvidos [2][13].

Diante desse contexto, emerge a necessidade de compreender não apenas quais ações são realizadas pelos ocupantes, mas como essas ações se distribuem entre diferentes agentes e quais fatores condicionam sua ocorrência. Assim, este estudo investiga a influência do perfil dos ocupantes no comportamento adaptativo e no controle das condições ambientais em salas de aula, a partir de uma abordagem integrada que

combina monitoramento ambiental, registro comportamental e análise perceptiva em cenários com e sem disponibilização de informação ambiental.

MÉTODO

Este estudo integra uma investigação mais ampla sobre comportamento adaptativo e qualidade ambiental em salas de aula, sendo aqui apresentado um recorte voltado à análise do papel dos perfis de ocupantes no controle das condições internas.

O delineamento foi estruturado a partir da comparação entre dois cenários de uso do ambiente: um sem disponibilização de informações ambientais aos ocupantes e outro com fornecimento de dados em tempo real por meio de sinalização visual. Ambos foram conduzidos no mesmo espaço físico, sob condições operacionais semelhantes, permitindo a análise comparativa dos padrões de comportamento.

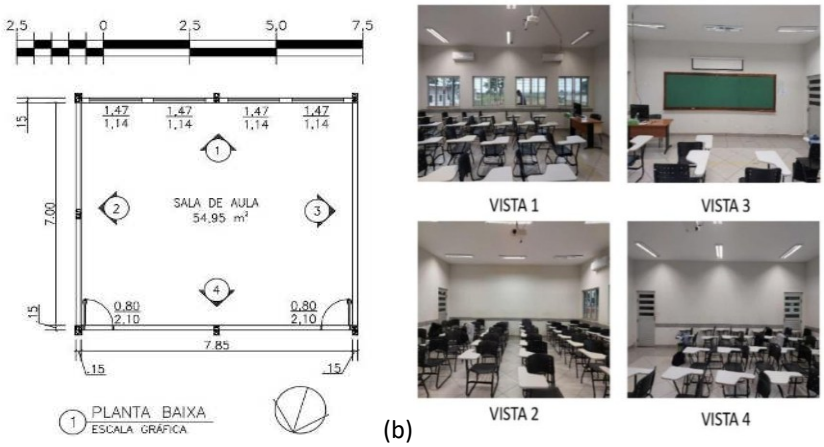
Os cenários foram tratados como condições experimentais para observar variações no comportamento adaptativo em função dos perfis de ocupantes. A análise considerou fatores contextuais, como nível de ensino, gênero, turno, densidade de ocupação e perfil do agente — sobre as condições ambientais, considerando o processo de adaptação das interfaces prediais.

CONTEXTO CLIMÁTICO E ESTUDO DE CASO

O estudo foi realizado em uma sala de aula do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS), situada no município de Jardim, Mato Grosso do Sul, Brasil. A região apresenta clima tropical de savana (Aw), segundo a classificação de Köppen, sendo também caracterizada como quente e úmida (zona climática 1A), conforme a ASHRAE Standard 169.

O ambiente analisado possui geometria retangular, capacidade aproximada para 40 ocupantes e disposição interna típica de salas de aula. A ventilação ocorre por meio de quatro janelas e uma porta operáveis, permitindo ventilação natural, enquanto o condicionamento térmico é realizado por dois aparelhos de ar-condicionado do tipo split (12.000 BTU/h cada), sem sistema de renovação mecânica de ar externo. A planta baixa e as vistas do ambiente analisado são apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Planta baixa e vistas da sala de aula analisada (a) e vistas (b)



(a) (b)

Fonte: os autores.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8590

ESTRUTURA DAS SESSÕES E PERFIS DE OCUPANTES

O estudo foi estruturado em dois cenários experimentais (com e sem informação), dentro dos quais foram monitoradas múltiplas turmas ao longo de diferentes aulas. A unidade de análise adotada corresponde às aulas monitoradas.

Tabela 1: Caracterização das sessões de aula e perfis de ocupantes nos cenários analisados

ID AULA	Data	Turno	Turma	Início	Fim	Cenário	Nº pessoas	Homens	Mulheres	Professor	Professora	Nível de ensino
V01	02/mar	Manhã	2026	07:00	10:18	1 (Controle)	39	19	20	1	1	Técnico
V02	02/mar	Noite	2226	18:30	22:21	1 (Controle)	22	15	7	1	1	Licenciatura
V03	03/mar	Manhã	2026	07:00	11:44	1 (Controle)	41	21	20	1	2	Técnico
V04	03/mar	Noite	2226	18:30	20:42	1 (Controle)	20	14	6	0	2	Licenciatura
V05	03/mar	Noite	2224	21:00	22:20	1 (Controle)	8	7	1	0	1	Licenciatura
V06	04/mar	Manhã	2026	08:28	11:00	1 (Controle)	39	19	20	2	0	Técnico
V07	04/mar	Noite	2226	21:02	22:23	1 (Controle)	20	14	6	0	1	Licenciatura
V08	05/mar	Manhã	2026	07:05	10:21	1 (Controle)	40	20	20	3	0	Técnico
V09	05/mar	Manhã	1225	10:23	12:09	1 (Controle)	15	4	11	1	0	Graduação
V10	05/mar	Noite	2225	18:30	20:50	1 (Controle)	16	9	7	1	0	Licenciatura
V11	05/mar	Noite	2226	21:02	21:59	1 (Controle)	17	11	6	1	0	Licenciatura
V12	06/mar	Manhã	2026	08:25	10:20	1 (Controle)	38	17	21	1	0	Técnico
V13	09/mar	Manhã	2026	07:04	10:19	2 (Experimental)	39	19	20	1	1	Técnico
V14	09/mar	Noite	2226	18:39	22:22	2 (Experimental)	20	13	7	1	1	Licenciatura
V15	10/mar	Manhã	2026	07:05	11:47	2 (Experimental)	42	20	22	1	2	Técnico
V16	10/mar	Noite	2226	19:50	20:48	2 (Experimental)	17	11	6	0	1	Licenciatura
V17	10/mar	Noite	2224	21:05	22:08	2 (Experimental)	6	5	1	0	1	Licenciatura
V18	11/mar	Manhã	2026	08:28	10:55	2 (Experimental)	41	20	21	2	0	Técnico
V19	11/mar	Noite	2226	20:58	22:24	2 (Experimental)	19	14	5	0	1	Licenciatura
V20	12/mar	Manhã	2026	07:03	10:21	2 (Experimental)	39	18	21	3	0	Técnico
V21	12/mar	Manhã	1225	10:23	12:26	2 (Experimental)	15	3	12	1	0	Graduação
V22	12/mar	Noite	2225	18:36	20:51	2 (Experimental)	16	10	6	1	0	Licenciatura
V23	12/mar	Noite	2226	21:03	22:14	2 (Experimental)	19	12	7	1	0	Licenciatura
V24	13/mar	Manhã	2026	08:34	10:20	2 (Experimental)	37	17	20	1	0	Técnico

Fonte: os autores.

COLETA DE DADOS

As variáveis ambientais e comportamentais monitoradas, bem como os instrumentos utilizados, parâmetros de mensuração, faixas de medição e acurácia, estão descritos na Tabela 2. As medições foram realizadas de forma contínua ao longo das sessões de aula, por meio de sensores instalados no ambiente. As ações comportamentais foram registradas por sensores de contato e complementadas por observação direta, sendo cada evento associado ao instante temporal e ao agente responsável.

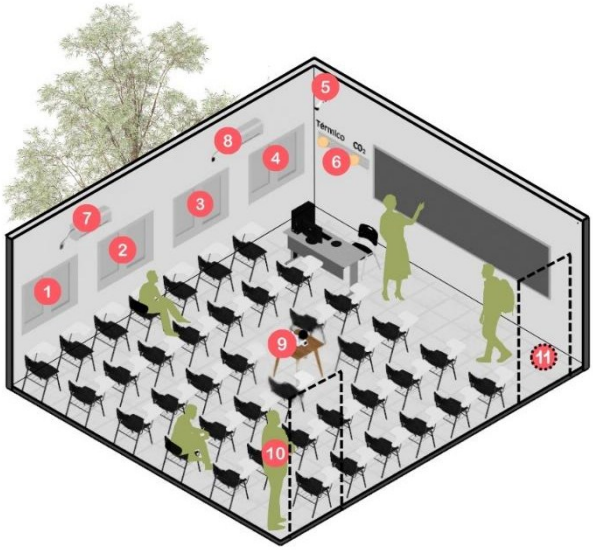
Tabela 2: Instrumentação e parâmetros de monitoramento utilizados na pesquisa

Instrumentos de monitoramento	Parâmetros de mensuração	Faixas de medição	Acurácia
Termo-higrômetro digital com data logger e sensor de CO_2 com Bluetooth (HOBO MX1102)	Concentração de CO_2 (ppm)	0 a 5000	±50.00 (ppm) a ±5.00%
	Temperatura do ar (T_a) (°C)	0 a 50	±0.21 °C
	Umidade relativa (RH) (%)	1 a 100	±2.00%
Confortímetro (SENSU)	Temperatura do ar (T_a) (°C)	0 a 100	±0.20 °C
	Temperatura de Globo (T_g) (°C)	0 a 80	±0.20°C
	Umidade relativa (RH) (%)	5 a 98	±3.00%
	Velocidade do ar (m/s)	0 a 3	±3.00%
Sensor de contato portas/janelas (Sonoff SNZB-04P, Zigbee 3.0)	Estado aberto/fechado	Binário (aberto/fechado)	—

Fonte: os autores.

A disposição dos equipamentos e a estrutura de coleta no ambiente podem ser observadas na Figura 2, que ilustra a localização dos sensores, dispositivos de monitoramento e pontos de interação dos ocupantes com as interfaces prediais.

Figura 2: Representação esquemática da sala de aula analisada



Fonte: os autores.

Nota: (1 - 4) Janelas com sensor de contato; (5) Câmera para registro comportamental; (7 e 8) Unidades de ar-condicionado; (9) Equipamento de monitoramento ambiental; (10) Pesquisador (observação de campo); (11) Porta 1 com sensor de contato.

Os equipamentos de medição foram previamente calibrados e instalados de forma a não interferir nas atividades regulares da sala de aula. Antes do início de cada sessão, os dispositivos eram ativados com antecedência mínima de 20 minutos, garantindo a estabilização das medições e a confiabilidade dos dados coletados.

Os dados perceptivos foram obtidos por meio de questionários aplicados aos ocupantes. No Cenário 1, foram aplicados os questionários A (discentes) e C (docentes), com o objetivo de avaliar a percepção das condições ambientais, satisfação e aspectos relacionados ao comportamento adaptativo e à tomada de decisão. No Cenário 2, foram aplicados os questionários B (discentes) e D (docentes), ao final do período experimental, com foco na avaliação da percepção ambiental, compreensão das condições internas e influência da informação na interação com o ambiente. Para

este estudo, foram selecionadas questões específicas desses instrumentos, alinhadas aos objetivos da análise proposta.

O estudo foi submetido e aprovado por Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CAAE: 74158323.4.0000.0121), assegurando o cumprimento dos procedimentos éticos na coleta e tratamento dos dados envolvendo os participantes.

ANÁLISE DOS DADOS

As condições ambientais foram avaliadas por meio da concentração de CO_2 e do índice de conforto térmico *Predicted Mean Vote* (PMV). Para o CO_2, foram analisados valores médios, máximos e sua evolução temporal ao longo das diferentes aulas, adotando-se como referência o limite de aproximadamente 1160 ppm, conforme a soma da concentração externa média e incremento de 700 ppm. O conforto térmico foi avaliado pelo PMV, calculado a partir das variáveis monitoradas, adotando-se valores constantes de vestimenta (0,5 clo) e metabolismo (1,1 met). Foi adotada a faixa de ±1,0 como representativa de condições aceitáveis, por permitir uma melhor representação das condições reais de uso e da variabilidade dos ocupantes, conforme evidências anteriores [15].

A apresentação dos dados ambientais foi realizada permitindo comparar os cenários e identificar padrões de estabilidade ou degradação das condições internas.

O comportamento adaptativo foi analisado a partir da identificação e quantificação das ações operacionais, incluindo abertura de janelas e porta, acionamento dos sistemas de ar-condicionado e ajustes de *setpoint*. As ações foram avaliadas em termos absolutos e relativos, por turma, ao longo de diferentes aulas e cenários.

A influência dos perfis de ocupantes foi investigada por meio de análises comparativas entre grupos, considerando agente, turno, nível de ensino e densidade de ocupação. Os resultados foram complementados pela análise das respostas dos questionários, permitindo relacionar comportamento observado e percepção dos ocupantes.

Por fim, os resultados foram complementados pela análise das respostas dos questionários, permitindo confrontar comportamento observado e percepção dos ocupantes.

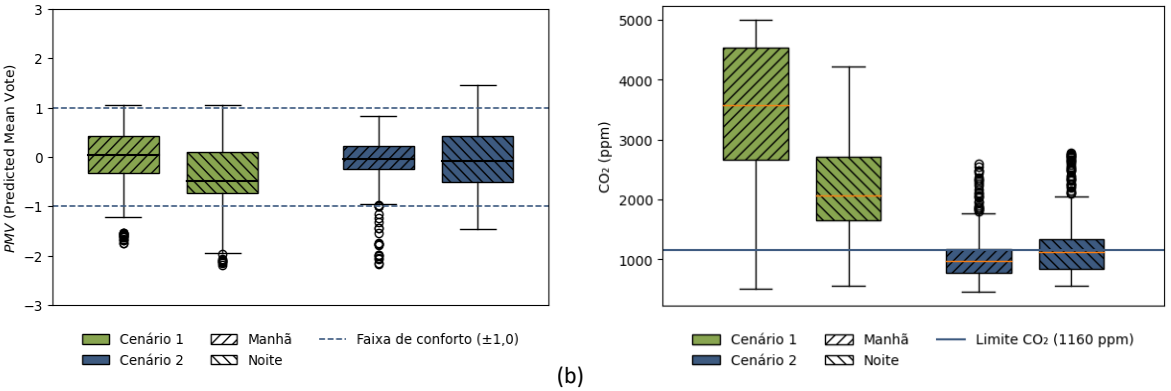
RESULTADOS E DISCUSSÕES

CONDIÇÕES AMBIENTAIS NOS CENÁRIOS

Na Figura 3 é apresentada a distribuição das condições ambientais nos Cenários 1 (sem sinalização) e 2 (com sinalização), considerando os turnos matutino e noturno.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8590

Figura 3: Condições ambientais nos cenários analisados: (a) distribuição do PMV e (b) concentração de CO_2 por cenário e turno



(a) (b)

Fonte: os autores.

A variabilidade do PMV foi semelhante entre os cenários. Em contrapartida, observou-se redução consistente das concentrações de CO_2 no cenário com sinalização, indicando que a disponibilização de informação ambiental favoreceu a adoção de ações adaptativas. Esses resultados sugerem que o controle das interfaces prediais responde mais diretamente às condições de qualidade do ar do que às condições térmicas.

Tabela 3: Indicadores de desempenho ambiental por turmas ao longo de diferentes aulas

ID	Cenário	Turno	CO_2 médio	CO_2 máx. (ppm)	% CO_2 >1160 (ppm)	PMV médio	% PMV <±1.0>
V01	1	Manhã	3286	4965	100.0%	-0.62	4.5%
V02	1	Noite	2537	4225	84.9%	-0.65	21.1%
V03	1	Manhã	4180	5000	100.0%	0.35	0%
V04	1	Noite	2050	3394	79.7%	-0.04	10.5%
V05	1	Noite	1840	1949	100.0%	-0.71	3.7%
V06	1	Manhã	2766	5000	94.1%	0.69	5.2%
V07	1	Noite	1923	2881	86.6%	0.44	6.1%
V08	1	Manhã	3996	5000	100.0%	-0.28	4.1%
V09	1	Manhã	3566	5000	100.0%	0.18	0%
V10	1	Noite	1872	3139	77.3%	-0.56	2.1%
V11	1	Noite	2165	2650	100.0%	-0.71	15.5%
V12	1	Manhã	2475	3662	91.4%	-0.26	0%
V13	2	Manhã	980	1744	30.6%	0.17	0%
V14	2	Noite	1024	1496	33.0%	0.25	10.3%
V15	2	Manhã	915	1392	13.4%	0.21	0%
V16	2	Noite	1117	1654	52.3%	-0.28	0%
V17	2	Noite	853	1091	0%	-0.37	0%
V18	2	Manhã	935	1549	22.3%	-0.03	0%
V19	2	Noite	1284	1722	64.4%	0.36	0%
V20	2	Manhã	1121	1897	41.2%	-0.30	4.5%
V21	2	Manhã	851	1125	0%	-0.71	7.3%
V22	2	Noite	1561	2773	72.8%	-0.54	0%
V23	2	Noite	1176	1347	54.2%	0.12	0%
V24	2	Manhã	1345	2596	55.1%	0.03	0%

Fonte: os autores.

No Cenário 1, observa-se que a média do CO_2 permanece fora do limite em 97,6% das sessões no período matutino e 88,1% no noturno, evidenciando uma condição sistematicamente inadequada de qualidade do ar. Em contraste, o PMV apresenta baixos percentuais fora da faixa de conforto (2,3% manhã e 9,8% noite), indicando que o ambiente é predominantemente aceitável do ponto de vista térmico.

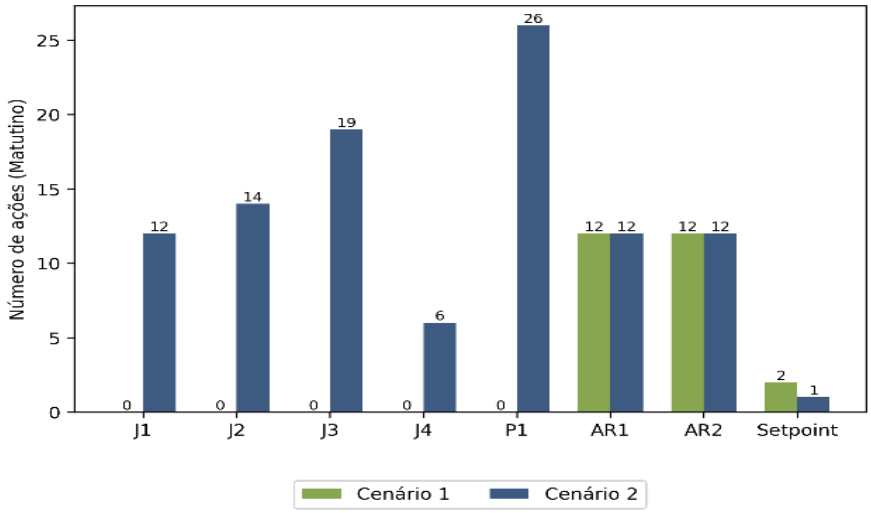
No Cenário 2, há uma redução expressiva nos valores médios de CO_2 (27,1% manhã e 46,1% noite), mas ainda com elevada variabilidade, especialmente no turno noturno, o que revela um controle inconsistente. Já o PMV permanece estável e com baixa incidência de desconforto (≈2% em ambos os turnos), sem alterações relevantes entre cenários.

FREQUÊNCIA E TIPO DE AÇÕES ADAPTATIVAS

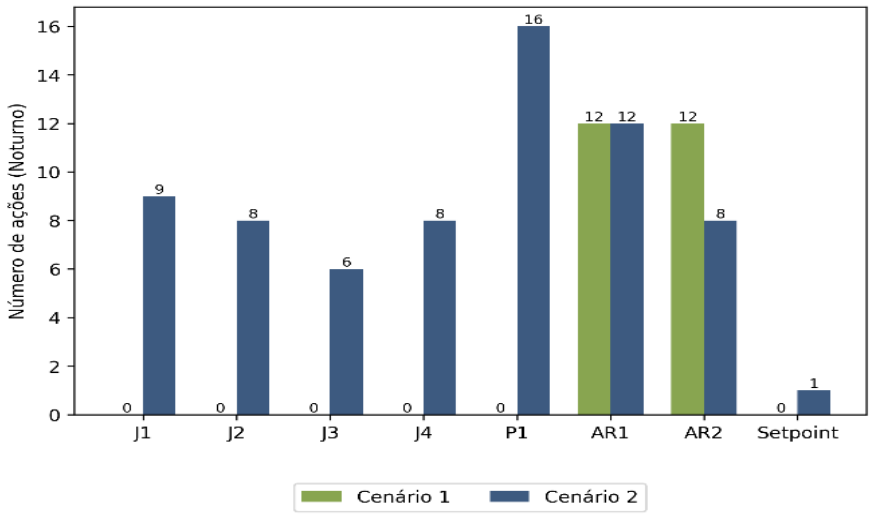
Na Figura 4 é apresentada a distribuição das ações dos ocupantes sobre as interfaces prediais, considerando os cenários analisados e a distinção entre os turnos matutino (a) e noturno (b).

Figura 4: Distribuição das ações de controle das interfaces prediais observadas durante as medições: a) matutino; b) noturno

(a)



(b)



Fonte: os autores.

Na Figura 4 é observado que, no Cenário 1 (barras em verde), praticamente não ocorreram ações de ventilação natural, mesmo sob níveis elevados de CO_2. No Cenário 2 (barras azuis), observou-se aumento das ações, especialmente de abertura de janelas, indicando influência da disponibilização de informação sobre o comportamento dos ocupantes [8][14].

No entanto, essas ações não ocorrem de forma contínua, mas pontual, sugerindo um padrão reativo. A comparação entre turnos mostra menor frequência de ações no período noturno, associada a fatores contextuais observados em campo, como a presença de insetos, que limitaram a abertura das janelas [12].

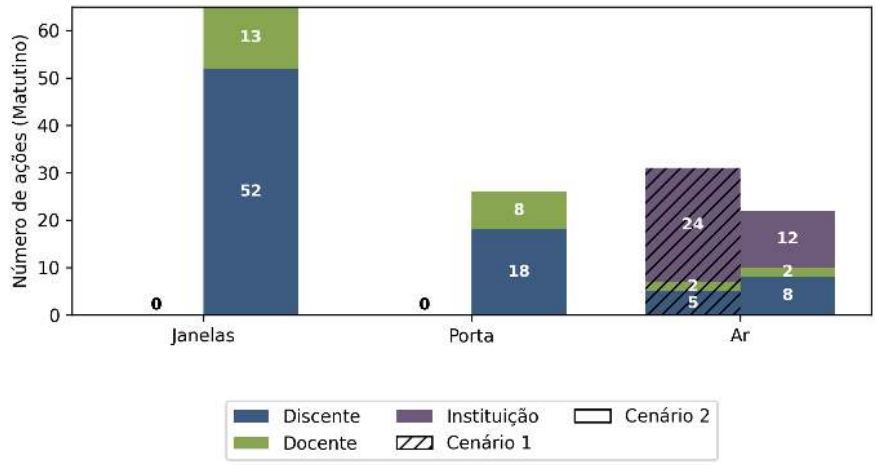
Esses resultados indicam que, embora a informação contribua para mobilizar ações, sua efetividade é condicionada por fatores contextuais e não garante um controle consistente das condições ambientais [12].

QUEM CONTROLA O AMBIENTE?

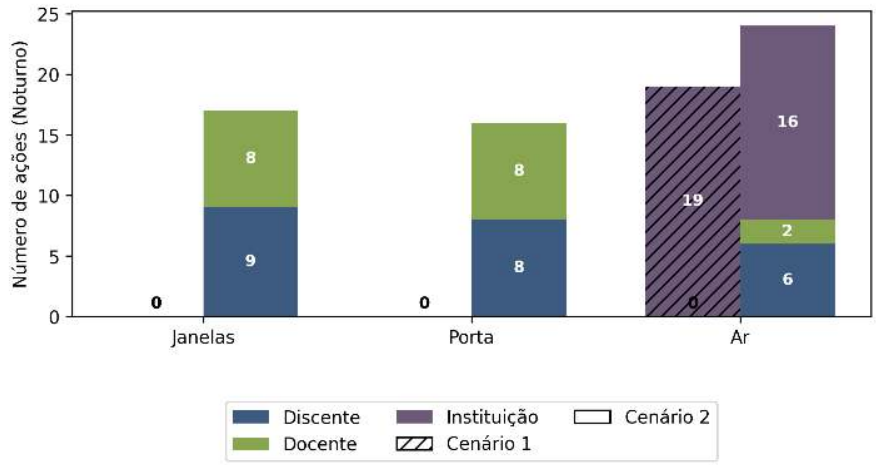
Esta seção investiga a distribuição das ações de controle das interfaces prediais observadas pelo pesquisador entre os diferentes agentes presentes na sala de aula, buscando identificar se o comportamento adaptativo ocorre de forma centralizada ou distribuída entre os ocupantes.

Figura 5: Distribuição das ações por agente e tipo de interface (a) Matutino e (b) Noturno

(a)



(b)



Fonte: os autores.

Os resultados indicam que o controle ambiental em salas de aula não é apenas técnico, mas socialmente estruturado. No cenário 1, o predomínio da instituição no uso do ar-condicionado configura um regime passivo, no qual o ambiente opera por rotinas pré-estabelecidas, com baixa responsividade às condições ambientais, em linha com estudos que apontam a limitação do comportamento adaptativo na ausência de estímulos e clareza de responsabilidade [2][3]. A atuação institucional concentra-se principalmente no acionamento dos sistemas antes do início das aulas e, em menor medida, após seu encerramento. Durante as aulas, embora o controle permaneça disponível aos ocupantes, observa-se baixa apropriação desse recurso, mantendo-se o padrão passivo de operação.

No cenário 2, a introdução da informação ambiental promove uma descentralização parcial do controle, ampliando a atuação dos discentes nas estratégias de ventilação natural. No entanto, a permanência do controle institucional sobre o sistema mecânico evidencia um padrão híbrido, no qual diferentes interfaces implicam distintos níveis de autonomia e engajamento, conforme já observado na literatura sobre percepção de controle e comportamento do usuário [4][10].

A redução das ações no período noturno reforça que a efetividade do controle distribuído depende da viabilidade prática de ação. Barreiras situacionais podem limitar a resposta dos ocupantes mesmo quando há percepção e estímulo, evidenciando o papel de fatores operacionais e sociais no comportamento adaptativo [3][4].

Assim, observa-se uma dinâmica complexa, na qual o controle do ambiente depende do tipo de interface disponível, do contexto de uso e da lógica operacional da instituição, evidenciando a coexistência de comportamentos ativos e passivos.

INFLUÊNCIA DO PERFIL DOS OCUPANTES

Os dados da pesquisa foram sintetizados por turma, incorporando variáveis de perfil e indicadores normalizados de comportamento, expressos em termos de ações por pessoa e por unidade de tempo, permitindo comparações consistentes entre contextos com diferentes durações de coleta e níveis de ocupação.

Tabela 4: Síntese do perfil das turmas e indicadores normalizados de comportamento adaptativo

Turma	1225	2026	2224	2225	2226
Nível de ensino	Graduação	Técnico	Licenciatura	Licenciatura	Licenciatura
Turno	Manhã	Manhã	Noite	Noite	Noite
Idade média (anos)	22.07	14.65	26.79	27.90	19.87
Tempo de coleta (h)	3.82	33.35	2.38	4.58	13.52
Nº de sessões	2.00	12.00	2.00	2.00	6.00
Ocupação média (pessoas)	15.00	35.92	7.00	16.00	19.67
Homens (média)	3.50	17.75	6.00	9.50	13.50
Mulheres (média)	11.50	18.17	1.00	6.50	6.17
% homens	23%	49%	86%	59%	69%
% mulheres	77%	51%	14%	41%	31%
Ações – janelas (total)	5	50	0	6	21
Ações – portas (total)	0	33	0	1	8
Ações – ar-condicionado (total)	9	49	8	8	22
Índice de comportamento adaptativo (ICA)	0.36	0.63	0.00	0.47	0.57
Janelas (ações/h)	1.31	1.50	0.00	1.31	1.55
Portas (ações/h)	0.00	0.99	0.00	0.22	0.59
Ar (ações/h)	2.36	1.47	3.36	1.75	1.63
Janelas (ações/pessoa·h)	0.09	0.04	0.00	0.08	0.08
Portas (ações/pessoa·h)	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03
Ar (ações/pessoa·h)	0.16	0.04	0.48	0.11	0.08

Fonte: os autores.

Os resultados indicam que o comportamento adaptativo resulta da interação entre perfil dos ocupantes e contexto de uso. Diferenças entre turmas são observadas, mas não se explicam de forma consistente por fatores como gênero ou número de ocupantes, corroborando estudos que apontam a limitação dessas variáveis como preditores isolados do comportamento em edificações. [2][3].

Por outro lado, aspectos relacionados à dinâmica da turma — como nível de ensino, frequência de uso e padrão de ocupação — demonstram maior influência sobre a intensidade das ações. Turmas com maior engajamento coletivo apresentam maior incidência de intervenções, indicando que o comportamento adaptativo emerge como um fenômeno social, dependente da interação entre os ocupantes e não apenas de atributos individuais, conforme discutido na literatura sobre comportamento coletivo em ambientes compartilhados [4][10].

A análise também evidencia que a intensidade das ações não está diretamente associada à densidade de ocupação ou ao tempo de permanência, reforçando que a presença de mais usuários não implica maior probabilidade de intervenção. Esse resultado sugere que o comportamento adaptativo depende mais da iniciativa e da percepção de controle do que da quantidade de ocupantes, em linha com estudos que destacam o papel da autonomia percebida na tomada de decisão [2][4].

Adicionalmente, a relação entre perfil e comportamento mostra-se condicionada pelas condições ambientais. Turmas expostas a situações mais críticas de qualidade do ar tendem a apresentar maior intensidade de ações, indicando que o comportamento é, em parte, responsivo ao ambiente. No entanto, essa resposta não é contínua, evidenciando um padrão reativo e não sistemático, conforme observado em estudos sobre comportamento adaptativo em contextos reais [3][13].

Assim, o perfil dos ocupantes atua como mediador do comportamento adaptativo, que se mostra coletivo e fortemente dependente do contexto.

PERCEPÇÃO E COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES

Os dados perceptivos evidenciam que a limitação do comportamento adaptativo observada nos cenários não decorre apenas da ausência de informação, mas de uma combinação entre percepção distorcida, baixa iniciativa e difusão de responsabilidade. No cenário inicial, a avaliação predominantemente positiva da qualidade do ar, mesmo sob níveis elevados de CO_2, indica que os ocupantes não reconhecem adequadamente a degradação ambiental, o que reduz a probabilidade de ação — especialmente em variáveis não perceptíveis, conforme apontado na literatura [5][8].

Observou-se ainda que a ação depende de como as decisões são distribuídas entre os ocupantes. A baixa proporção de respostas indicando ação direta, associada à predominância de comportamentos baseados em solicitação ou espera, pode indicar um padrão de dependência entre agentes, consistente com a centralização do controle observada em estudos anteriores [2][10].

No cenário experimental, a melhoria da percepção ambiental confirma o papel do sinalizador na redução da lacuna informacional. No entanto, a limitada alteração no

comportamento indica que a informação atua principalmente no nível cognitivo, sem garantir mudança consistente nas ações [13][14].

Assim, os resultados indicam que a dissociação entre perceber e agir está associada não apenas à percepção, mas também à distribuição de responsabilidade e à viabilidade de ação, evidenciando que o comportamento adaptativo em salas de aula é fortemente condicionado por fatores sociais e contextuais [3][10].

CONCLUSÃO

Neste estudo a influência do perfil dos ocupantes no comportamento adaptativo e no controle das condições ambientais em salas de aula foi investigada a partir de uma abordagem integrada, considerando as variáveis ambientais, comportamentais e perceptivas.

Os resultados mostraram que o controle das interfaces prediais não é determinado apenas pelas condições ambientais, mas pela interação entre informação, contexto de uso e distribuição de responsabilidade entre os ocupantes. No cenário sem sinalização, observou-se a ausência de ações relacionadas ao uso da ventilação natural mesmo sob níveis críticos de CO_2, associadas à baixa percepção da qualidade do ar e à centralização do controle.

A introdução do sinalizador foi suficiente para aumentar das ações e redução dos níveis de CO_2, sem alterações relevantes nas condições térmicas, o que apontou para uma possível dissociação entre qualidade do ar e conforto térmico. Entretanto, essas ações ocorreram de forma pontual, indicando que a informação, embora relevante, não garante controle contínuo das condições ambientais.

Adicionalmente, a análise por agente das ações e por contexto mostrou que o comportamento adaptativo é condicionado por fatores sociais e operacionais, incluindo a distribuição de responsabilidade e a viabilidade prática de ação, como observado no período noturno.

Assim, é possível concluir que as estratégias voltadas à melhoria das condições ambientais em salas de aula devem ir além da disponibilização de informação, incorporando mecanismos que promovam autonomia, clareza de responsabilidade e condições efetivas de atuação dos ocupantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram o ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5) para apoio na revisão textual, melhoria da coesão e clareza da redação,

adequação gramatical e organização do conteúdo. Após o uso da ferramenta, os autores revisaram e editaram criticamente todo o material produzido, assumindo total responsabilidade pelo conteúdo final e pela versão publicada do artigo.

REFERÊNCIAS

[1] BERARDI, U. A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 123, p. 230–241, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.03.014.

[2] D'OCA, S.; HONG, T.; LANGEVIN, J. The human dimensions of energy use in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 731-742, 2018.Dong et al., 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.01

[3] SCHWEIKER, M.; *et al*. Review of multi-domain approaches to indoor environmental perception and behaviour. **Building and Environment**, v. 176, p. 106804, 2020. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106804.

[4] O'BRIEN, W.; *et al.* Introducing IEA EBC Annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation. **Building and Environment**, v. 178, p. 106738, 2020. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106738.

[5] VERMA, A.; *et al.* Tropical climates and the interplay between QAI and energy consumption in buildings: A review. **Building and Environment**, v. 242, p. 110551, 2023. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110551.

[6] SATISH, U.; *et al.* Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. **Environmental health perspectives**, v. 120, n. 12, p. 1671-1677, 2012. DOI: 10.1289%2Fehp.1104789.

[7] ZHANG, X.; *et al.* Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. **Indoor air**, v. 27, n. 1, p. 47-64, 2017. DOI: 10.1111/ina.12284.

[8] SILVA, J. H. A.; *et al.* Impact of visual CO_2 and thermal comfort indicators on adaptive behaviour and energy use in classrooms in a tropical climate. In: PLEA 2026 – Passive and Low Energy Architecture Conference, 2026, Costa Rica. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2026. No prelo.

[9] SHAUGHNESSY, R. J.; *et al.* A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance**. Indoor air**, v. 16, n. 6, 2006. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2006.00440.x

[10] CHATZIDIAKOU, L.; MUMOVIC, D.; SUMMERFIELD, A. Is CO2 a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 1: The interrelationships between thermal conditions, CO2 levels, ventilation rates and selected indoor pollutants**. Building Services Engineering Research and Technology**, v. 36, n. 2, p. 129-161, 2015a. DOI: 10.1177/0143624414566244.

[11] BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Environmental comfort in school buildings: A case study of awareness and participation of users. **Environment and behavior**, v. 38, n. 2, p. 155-172, 2006. DOI: 10.1177/0013916505275307.

[12] PISTORE, L.; *et al.* Analysis of subjective responses for the evaluation of the indoor environmental quality of an educational building. **Science and Technology for the Built Environment**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 000, 2019. DOI: 10.1080/23744731.2019.1649460.

[13] WARGOCKI, P.; WYON, D. P. Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork**. Building and Environment**, v. 112, p. 359-366, 2017. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.11.020.

[14] BASTIEN, D.; *et al.* The impact of real-time carbon dioxide awareness on occupant behavior and ventilation rates in student dwellings. **Energy and Buildings**, v. 310, p. 114132, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114132.

[15] SILVA, J. H. A.; *et al.* Validação do sistema de um sinalizador visual como ferramenta de previsão das condições de conforto térmico em ambientes escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–18. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6217.