

Condições biometeorológicas nas aulas de educação física escolar em Bambuí - MG

Biometeorological conditions in school physical education classes in Bambuí, Minas Gerais, Brazil

Condiciones biometeorológicas en las clases de educación física escolar en Bambuí, Minas Gerais, Brasil

DOI: 10.54033/cadpedv23n1-070

Originals received: 12/1/2025

Acceptance for publication: 12/25/2025

Sueli Ferreira Rocha da Silva

Graduanda em Educação Física

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais

Endereço: Bambuí, Minas Gerais, Brasil

E-mail: sueliferreirarochadasilva@gmail.com

Alexandre Sérvulo Ribeiro Hudson

Doutor em Ciências do Esporte

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais

Endereço: Bambuí, Minas Gerais, Brasil

E-mail: alexandre.hudson@ifmg.edu.br

RESUMO

A crise climática tem ampliado os riscos à saúde humana, especialmente em atividades físicas realizadas ao ar livre. No contexto escolar, as aulas de Educação Física configuram um espaço sensível às condições ambientais, particularmente para crianças e adolescentes, cujo sistema de termorregulação ainda está em desenvolvimento. O presente estudo teve como objetivo analisar as condições climáticas e biometeorológicas durante as aulas de Educação Física no Instituto Federal de Minas Gerais, *campus* Bambuí, nos anos de 2024 e 2025. Trata-se de uma pesquisa descritivo-exploratória de caráter longitudinal, baseada em dados secundários provenientes da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia e da plataforma IQAir®. Foram analisadas variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar) e biometeorológicas, incluindo o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), Índice de Desconforto Térmico (IDT), Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Calor (IC) e concentração de material particulado fino (MP_{2,5}), considerando os horários das aulas. Os resultados indicaram que os períodos vespertinos, especialmente a partir das 13h, concentram as condições

mais críticas, com valores elevados de temperatura, radiação solar e IBUTG, frequentemente classificados como de alto ou muito alto risco ao conforto e à saúde. Embora a qualidade do ar tenha permanecido dentro dos padrões nacionais, os níveis de MP2,5 superaram as diretrizes recomendadas pela Organização Mundial da Saúde. Conclui-se que as condições biometeorológicas e climáticas observadas demandam adaptações pedagógicas e organizacionais, visando à promoção da saúde, segurança e bem-estar no ambiente escolar.

Palavras-chave: Educação Física Escolar. Biometeorologia. Estresse Térmico. Mudanças Climáticas. Saúde Escolar.

ABSTRACT

Climate crisis has increased health risks, particularly during outdoor physical activities. In the school context, Physical Education classes represent a sensitive environment, especially for children and adolescents whose thermoregulatory systems are still developing. This study aimed to analyze the climatic and biometeorological conditions during Physical Education classes at the Federal Institute of Minas Gerais, Bambuí campus, in 2024 and 2025. A descriptive-exploratory longitudinal design was adopted, using secondary data from the National Institute of Meteorology's automatic weather station and the IQAir® platform. Climatic variables (air temperature, relative humidity, and solar radiation) and biometeorological indices—including the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), Thermal Discomfort Index (TDI), Temperature and Humidity Index (THI), Heat Index (HI), and fine particulate matter concentration (PM2.5)—were analyzed according to class schedules. The results showed that afternoon periods, particularly after 1:00 p.m., presented the most critical conditions, with elevated temperature, solar radiation, and WBGT values, frequently classified as high or very high risk to comfort and health. Although air quality remained within national standards, PM2.5 concentrations exceeded World Health Organization guidelines. These findings indicate the need for pedagogical and organizational adaptations to ensure health protection, safety, and well-being in school Physical Education settings.

Keywords: School Physical Education. Biometeorology. Heat Stress. Climate Change. School Health.

RESUMEN

La crisis climática incrementado los riesgos para la salud humana, especialmente durante actividades físicas al aire libre. En el contexto escolar, las clases de Educación Física constituyen un entorno sensible a las condiciones ambientales, particularmente para niños y adolescentes cuyo sistema de termorregulación aún está en desarrollo. Este estudio tuvo como objetivo analizar las condiciones climáticas y biometeorológicas durante las clases de Educación Física en el Instituto Federal de Minas Gerais, campus Bambuí, en los años 2024 y 2025. Se trata de una investigación descriptivo-exploratoria de carácter longitudinal, basada en datos secundarios provenientes de la estación meteorológica automática del Instituto Nacional de Meteorología y de la plataforma IQAir®. Se analizaron variables climáticas (temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar) e índices biometeorológicos, incluyendo el Índice de Bulbo Húmedo y

Termómetro de Globo (WBGT), Índice de Desconfort Térmico, Índice de Temperatura y Humedad, Índice de Calor y concentración de material particulado fino (PM_{2,5}), considerando los horarios de las clases. Los resultados indicaron que los períodos vespertinos, especialmente a partir de las 13:00 h, concentran las condiciones más críticas, con valores elevados de temperatura, radiación solar y WBGT, clasificados como de alto o muy alto riesgo para la salud y el confort. Aunque la calidad del aire se mantuvo dentro de los estándares nacionales, los niveles de PM_{2,5} superaron las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Se concluye que es necesario implementar adaptaciones pedagógicas y organizativas para promover la salud y el bienestar en el entorno escolar.

Palabras clave: Educación Física Escolar. Biometeorología. Estrés Térmico. Cambio Climático. Salud Escolar.

1 INTRODUÇÃO

A relação entre o corpo humano e o ambiente é reconhecida desde a Antiguidade, quando os tratados hipocráticos já associavam fatores climáticos, qualidade do ar e características geográficas à saúde das populações (Cairus, 2005; Souza; Neto, 2008). Na contemporaneidade, esse vínculo ganha centralidade diante da crise climática, marcada pelo aquecimento global e pela intensificação de eventos extremos, que deixaram de ser projeções futuras para se tornarem determinantes da saúde humana (IPCC, 2021). Assim, o clima passa a ser compreendido não apenas como um fenômeno ambiental, mas como um fator fisiológico e social capaz de influenciar diretamente a qualidade de vida e a sobrevivência das populações.

Nesse contexto, crianças e adolescentes configuram um grupo particularmente vulnerável, uma vez que seus sistemas de termorregulação ainda estão em desenvolvimento. O espaço escolar representa, portanto, um ambiente sensível às mudanças climáticas, sobretudo nas atividades que envolvem esforço físico. A Educação Física escolar, embora concebida como promotora de saúde, integração e bem-estar, pode expor estudantes a riscos de estresse térmico, desidratação e fadiga quando realizada em condições ambientais estressantes, especialmente em locais descobertos ou sem infraestrutura adequada (Matos, 2022). Essa condição confere à Educação

Física escolar um caráter complexificado na atual realidade climática.

A literatura científica tem demonstrado que o aquecimento global constitui uma das principais preocupações do século XXI, com impactos diretos sobre a saúde humana e o desempenho físico (Wanner et al., 2015). Evidências indicam aumento da temperatura média global nas últimas décadas, associado às emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (McMichael et al., 2014), bem como a intensificação de ondas de calor, que representam desafios crescentes à manutenção da homeostase térmica (Hanna; Tait, 2015). Eventos extremos já foram responsáveis por elevados índices de mortalidade em diferentes regiões do mundo, e projeções indicam agravamento desse cenário nas próximas décadas (Périard et al., 2021; Zhao et al., 2019). Deste modo, o estresse térmico e ambiental é um importante fator de risco, sobretudo em ambientes escolares.

Mudanças na temperatura do ar, bem como em outras condições meteorológicas, como umidade relativa e presença de poluentes atmosféricos, podem elevar o risco de internações e mortes por doenças respiratórias (Lam et al., 2016; Moraes et al., 2019). Essas alterações favorecem o desenvolvimento e a exacerbação de enfermidades respiratórias, como gripes, rinites, bronquites e asma, ao criarem condições propícias para a proliferação de agentes biológicos e alérgenos (Lam et al., 2016; Moraes et al., 2019), sendo já observada correlação entre rinite, concentração de poluentes e baixos níveis de umidade relativa (Nicolussi, 2014). Entre os poluentes, destaca-se o material particulado (MP), especialmente o MP_{2,5}, cuja elevada toxicidade decorre da capacidade de penetrar profundamente nas vias aéreas (Silveira et al., 2022). Paralelamente, a radiação solar incidente, exerce papel central nas análises biometeorológicas, uma vez que influencia diretamente o estresse térmico, a carga térmica diária e os riscos à saúde em atividades ao ar livre (Duffie; Beckman, 2006).

Apesar do avanço do conhecimento científico sobre clima e saúde, persiste uma lacuna entre esses achados e sua aplicação prática no cotidiano das escolas. Torna-se, portanto, fundamental integrar ciência climática e planejamento pedagógico, considerando ajustes de horários, espaços e

intensidade das atividades (Oliveira, 2014; Santos (2018); Matos, 2022; Almeida et al. 2020). Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo a analisar os impactos das condições biometeorológicas e climáticas nas aulas de Educação Física do Instituto Federal de Minas Gerais *campus* Bambuí. Buscou-se caracterizar o clima local e mensurar o estresse térmico e ambiental, com o intuito de fornecer bases para adaptações pedagógicas, contribuindo para que a Educação Física se consolide como espaço de promoção de saúde e resiliência frente à crise climática.

2 MÉTODOS

Este estudo realizou registros de dados quantitativos e foi estruturado como uma pesquisa descritivo-exploratória de caráter longitudinal. Diante da inviabilidade de uma coleta primária de dados da região de Bambuí - MG, a coleta foi realizada pela rede de estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Nesta rede, as estações meteorológicas automáticas fornecem dados atmosféricos históricos coletados a cada hora, sendo a estação meteorológica de Bambuí – MG utilizada para obtenção dos dados. Foram coletados a Temperatura do Ar (°C), Umidade Relativa do Ar (%), pressão de vapor (em hPa) e Radiação Solar (kJ/m²). O universo da análise foi delimitado pelos horários aproximados em que ocorrem as aulas de Educação Física do IFMG *campus* Bambuí (8h, 10h, 13h, 14h, 15h e 16h; de segunda a sexta-feira), funcionando como um critério de amostragem que conferiu relevância pedagógica aos dados climáticos analisados. Todas as aulas de Educação Física escolar do IFMG *campus* Bambuí são realizadas em turmas do ensino médio integrado ao técnico.

Os dados foram organizados e apresentados como média dos dados registrados: média anual em cada um dos horários de aula de Educação Física (8h, 10h, 13h, 14h, 15h e 16h) e média mensal (nessa média os dados dos horários de aula foram agrupados). Os anos considerados para a análise foram 2024 e 2025, sendo os dados apresentados de janeiro a novembro, já que em 2025 não obtivemos os dados completos de mês de dezembro.

Além disso, foram registrados os dados de qualidade do ar através da concentração atmosférica de material particulado 2,5 (MP_{2,5} partículas sólidas ou líquidas minúsculas suspensas no ar, com diâmetro menor ou igual a 2,5 µm). Os dados públicos foram obtidos da plataforma IQAir® que estima a qualidade do ar, incluindo as concentrações de MP_{2,5}, em cidades que não possuem sensores próprios ou dados públicos integrando informações de diversas fontes como dados de satélite, modelos de previsão atmosférica e algoritmos. Devido às restrições de realização da coleta de dados, obtivemos apenas dados de MP_{2,5} no período entre 16/07/2025 e 28/11/2025, nos horários aproximados de aula.

2.1 CÁLCULO DAS VARIÁVEIS

A partir dos dados climáticos foram calculados o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), o Índice de Desconforto Térmico (IDT), o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e o Índice de Calor (IC).

A escolha do IBUTG justifica-se pela importância desse indicador na avaliação de riscos em atividades ao ar livre (MACHADO et al., 2024). Para o cálculo foi utilizado o método proposto pelo Australian Bureau of Meteorology (ABM, 2009), em que se considera a temperatura do ar e a pressão de vapor. O IBUTG foi classificado em faixas: risco baixo (<18 °C), moderado (18–23 °C), alto (23–28 °C) e muito alto (>28 °C) (ACSM, 1999).

Com base na Norma Regulamentadora nº 15 (NR15) foi elaborada uma tabela com os critérios técnicos estabelecidos no Anexo 3 (BRASIL, 2020), que relaciona a taxa metabólica da atividade aos limites de tolerância para exposição ao calor, expressos pelo IBUTG. Para sua construção, as atividades típicas do professor de Educação Física foram agrupadas de acordo com o nível de esforço físico observado, sendo então associadas, por equivalência metabólica, às categorias de atividade descritas na NR-15 (sentado, em pé, em movimento). A partir dessa correspondência, foram adotados os valores de taxa metabólica (W) e, em seguida, identificados os limites máximos de IBUTG para cada faixa de esforço definidos no Quadro 1. Dessa forma, o quadro 1 não atribuiu diretamente atividades docentes à norma, mas utilizou seus parâmetros como referência

técnica comparativa para avaliar a adequação das condições térmicas no ambiente escolar.

Quadro 1. Enquadramento das atividades do professor de Educação Física segundo a taxa metabólica e os limites de exposição ao calor da NR-15

Atividade Típica do Professor de Educação Física	Classificação NR-15	Taxa Metabólica (W)	Limite de Exposição (IBUTG máximo) (°C)
Planejamento e Supervisão em Sala	Sentado, em repouso	100	33,7
Supervisão em Quadra/Campo	Em pé, em repouso	126	32,5
Instrução Ativa e Movimentação Moderada	Em pé, em movimento, andando no plano (3 km/h)	252	29,1
Demonstração Intensa ou Participação em Jogos	Em pé, em movimento, andando no plano (5 km/h)	360	27,3

Fonte: Elaboração própria com base na NR-15 – Anexo 3 (BRASIL, 2020).

Para determinar o IC foi utilizada a equação de Steadman (1979), que relaciona a Temperatura e a Umidade Relativa do Ar. Os níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos às pessoas foram classificados de acordo com a NOAA (2018): quando o IC é menor que 27°C, há ausência de alerta; entre 27°C e 32°C, o nível é de atenção; de 32°C a 41°C, recomenda-se muito cuidado; entre 41,1°C e 54°C, a situação é considerada de perigo; já quando o índice ultrapassa 54°C, o nível é de extremo perigo.

Para cálculo do IDT foi utilizada a equação de Thom (1959) e para classificação foram utilizados os critérios apresentados com níveis ajustados às condições tropicais propostas por Santos (2011). Quando o IDT é menor que 24°C, a condição é considerada confortável; Valores entre 24,0°C e 26,0°C caracterizam um ambiente parcialmente confortável; Valores entre 26,0°C e 28,0°C, é classificado como desconfortável. Já valores iguais ou superiores a 28,0°C indicam uma situação muito desconfortável.

O ITU foi quantificado pela equação apresentada por Figueiredo et al. (2024). Os critérios de classificação para este índice foram propostos por Nóbrega e Lemos (2011): entre 21 e 24, a condição é considerada confortável; entre 24 e 26 indicam um estado levemente desconfortável; e superior a 26, o

ambiente é classificado como extremamente desconfortável.

3 RESULTADOS

A análise por horários de aula (Tabela 1) revelou que entre 13h e 16h, período em que se concentram muitas aulas de Educação Física no IFMG *campus* Bambuí, as temperaturas médias situaram-se entre 27,3°C e 28,2°C, com máximas absolutas superiores a 38°C. A URA mínima atingiu patamar crítico de 11% em agosto, e foi observado uma redução da URA ao longo do dia (Tabela 1).

Tabela 1. dados climáticos (2024 e 2025)

2024											
Horário (h)	T Média (°C)	T Máx (°C)	T Mín (°C)	URA Média (%)	URA Máx (%)	URA Mín (%)	IDT	ITU	IC		
8	19,3	26,9	7,4	91	100	60	19	19	20		
10	24,3	32,8	15,7	70	100	34	23	23	25		
13	27,7	37,7	18,9	57	100	15	25	25	29		
14	28,2	38,4	20,2	54	100	14	25	26	29		
15	28,0	38,5	20,6	55	100	13	25	26	29		
16	27,6	38,2	19,2	56	100	11	25	25	29		

2025											
Horário (h)	T Média (°C)	T Máx (°C)	T Mín (°C)	URA Média (%)	URA Máx (%)	URA Mín (%)	IDT	ITU	IC		
8	18,2	24,9	7,6	88	100	59	18	18	18		
10	22,9	30,8	16,0	67	100	36	21	21	23		
13	27,1	35,0	16,7	51	100	21	24	24	28		
14	29,9	36,2	24,0	41	60	22	25	26	30		
15	27,6	34,5	17,2	48	95	17	24	25	28		
16	27,3	34,5	20,5	50	100	18	24	24	28		

Legenda: T – temperatura; Máx – Máxima; Mín – Mínima; URA – Umidade relativa do ar.
Fonte: elaboração própria.

O ano de 2024 apresentou temperatura média de 25,9°C enquanto 2025 registrou média de 26,8°C. O destaque mais preocupante foi fevereiro de 2025: 27,4 °C, superando em 0,5 °C valor registrado de 2024 (26,9 °C; Tabela 2). Foi verificada amplitude sazonal típica, a diferença entre as médias do mês mais úmido e o mais seco, isto é março/24 vs agosto/24, atingiu 31%. Nos dois anos,

foi verificado que os meses com menor URA foram de junho a outubro, com especificidades anuais (Tabela 2).

O IBUTG apresentou valores mais baixos no horário de 8h. O IBUTG aumentou e permaneceu aproximadamente no mesmo patamar entre 13h e 16h, nos dois anos. Os valores mínimos registrados de IBUTG em cada ano foram de 23,1 em julho/24 e 22,6 em agosto/2025, sendo observado os maiores valores em março/24 (29,8) e janeiro/2025 (29,2). Não foi possível analisar adequadamente esta e outras variáveis no mês de setembro de 2024 pois houve perda de dados por problemas na obtenção junto à plataforma INMET.

Em relação ao IDT, o horário de 8h foi o de maior conforto, enquanto horários próximos às 12h aumentaram o índice (Tabela 1). Em cada ano, o mês mais desconfortável foi outubro/24 (25) e janeiro a março/25 (24), sendo os meses do meio do ano com menores valores de desconforto térmico.

O horário de 8h foi o de maior conforto em relação ao ITU, enquanto horários depois de 13h tiveram aumentos sustentados do índice (Tabela 1). Os maiores valores de ITU foram observados nos meses mais quentes, como janeiro a abril/24 (25-26) e, janeiro a abril e setembro a novembro/25 (24-25), indicando maior desconforto térmico nessas épocas. Já os meses do meio do ano, especialmente junho a agosto, apresentaram os menores índices, variando entre 19 e 21 (Tabela 2).

Resultado similar foi encontrado para a variável IC, isto é, 8h foi o de maior conforto enquanto horários depois de 10h (em 2024) e depois de 13h (em 2025) tiveram aumentos sustentados do índice (Tabela 1). O IC apresentou os maiores valores nos meses mais quentes, de janeiro a março, chegando a 29–30 °C, enquanto os meses do meio do ano, como junho e julho, registraram os menores índices (22–25 °C), evidenciando maior desconforto no verão e condições mais amenas no inverno (Tabela 2).

Tabela 2. dados climáticos e biometeorológicos (2024 e 2025)

Meses	2024						
	T Média (°C)	URA(%)	IDT	ITU	IC	IBUTG	Radiação (Kj/m ²)
Janeiro	26,7	75	24	25	29	29,4	1893
Fevereiro	26,9	72	24	25	29	29,3	1946
Março	27,0	76	24	26	29	29,8	1710

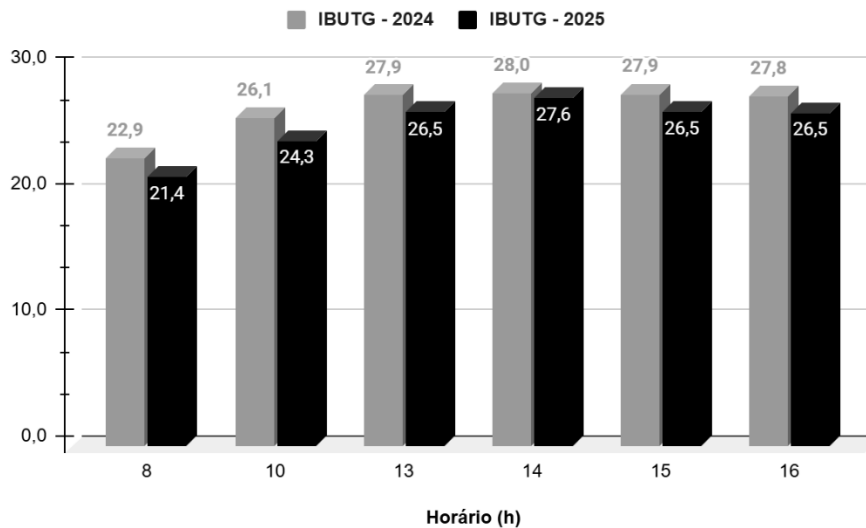
Abril	26,7	66	24	25	28	28,2	1793
Mai	26,0	58	24	24	27	26,4	1827
Junho	23,6	55	21	21	25	23,6	1690
Julho	23,6	50	22	21	25	23,1	1697
Agosto	24,6	45	23	22	26	23,3	1786
Setembro	-	-	-	-	-	-	-
Outubro	27,2	65	25	25	29	28,6	1588
Novembro	26,1	71	23	25	27	28,1	1761

2025							
Meses	T Média (°C)	URA(%)	IDT	ITU	IC (°C)	IBUTG	Radiação (Kj/m ²)
Janeiro	26,8	73	24	25	30	29,2	2089
Fevereiro	27,4	64	24	25	30	28,6	2182
Março	27,3	65	24	25	30	28,6	2127
Abril	25,1	74	23	24	28	27,5	1821
Mai	22,5	68	21	21	25	24,0	1758
Junho	21,3	67	20	20	23	22,7	1603
Julho	21,4	56	20	19	23	22,8	1787
Agosto	23,0	51	21	21	24	22,6	1978
Setembro	26,7	47	23	24	29	26,7	2344
Outubro	26,0	54	23	24	27	25,8	2378
Novembro	26,8	59	23	25	29	27,3	2396

Legenda: T – temperatura; URA – Umidade relativa do ar; IC – índice de Calor; ITU – Índice de temperatura e umidade; IDT – Índice de desconforto térmico.

Fonte: elaboração própria.

Gráfico 1. IBUTG médio em diferentes horários de aulas de Educação Física (2024 e 2025)

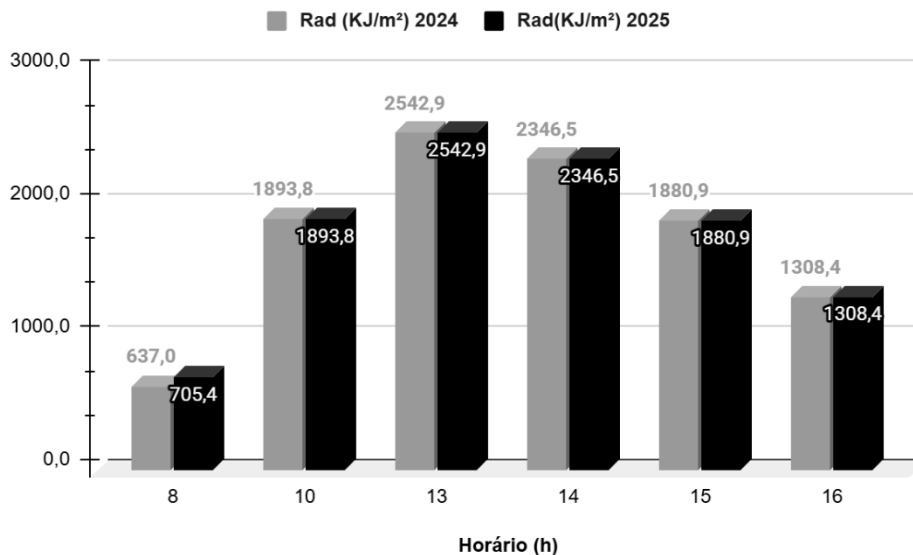


Fonte: elaboração própria

A análise horária revelou concentração da carga radiativa entre 13h e 14h, com pico absoluto às 13h (Gráfico 2). Os meses com maior radiação em 2025 foram janeiro a março, e setembro a novembro. Já no ano anterior, em 2024, houve maior similaridade entre as médias registradas, sendo janeiro e fevereiro

os com maior nível de radiação solar (Tabela 2). Além disso, 2024 e 2025 apresentaram picos de radiação acima de 3900 kJ/m² entre 13 e 15h.

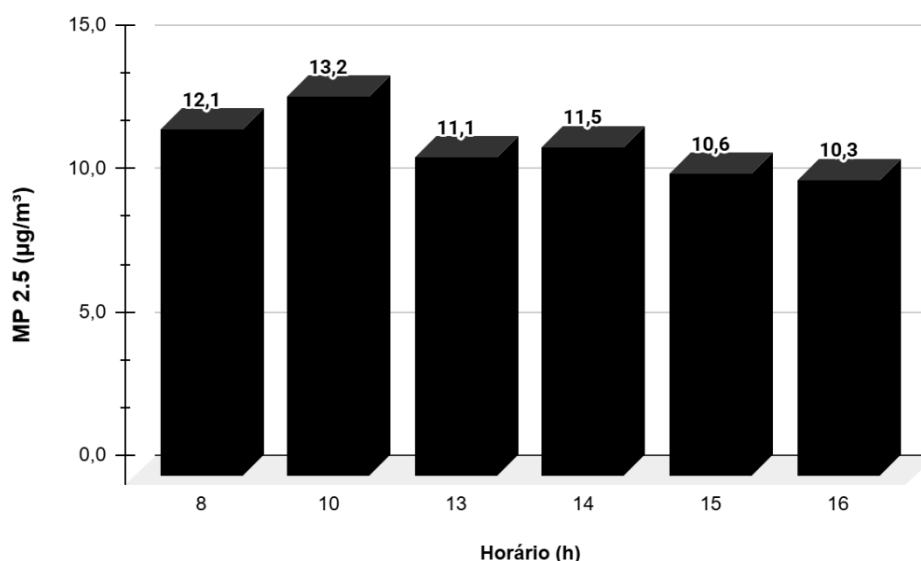
Gráfico 2. Radiação solar média em diferentes horários de aulas de Educação Física (2024 e 2025)



Fonte: elaboração própria

A qualidade do ar, inferida a partir da concentração de MP_{2,5} indicou valores mínimo no final da tarde (10,3 µm/m³) e pico às 10h (13,2 µm/m³; Gráfico 3). O maior valor registrado no período (julho a novembro), foi de 18,6 µm/m³ no dia 11 de setembro/25.

Gráfico 3. Concentração média de Material Particulado no ar em diferentes horários de aulas de Educação Física (julho a novembro de 2025)



Fonte: elaboração própria

4 DISCUSSÃO

A análise dos dados climáticos e biometeorológicos durante as aulas de Educação Física do IFMG *campus* Bambuí de janeiro a novembro de 2024 e 2025, indicou que em vários momentos ao longo dos anos, docentes e estudantes são submetidos a situações ambientais estressantes, principalmente nas aulas após as 13h. As temperaturas médias situaram-se entre 27,3°C e 28,2°C, com máximas absolutas superiores a 38°C. Esse nível de temperatura faz com que os seres humanos estejam diante de um grande desafio: manter a temperatura corporal central estável e dentro de limites seguros, mesmo em face da temperatura elevada e das limitações dos mecanismos de termorregulação, principalmente os autonômicos (Wanner et al., 2015).

No campo da Educação Física, o cenário socioambiental atual tem estimulado pesquisas sobre as respostas fisiológicas induzidas pelo exercício físico, particularmente as respostas termorregulatórias. Afinal, dentre as alterações ambientais atualmente observadas, o aquecimento global é considerado uma das preocupações emergentes do século XXI (Wanner et al., 2015). Evidências epidemiológicas sugerem que aumentos progressivos na temperatura global estão

diretamente relacionados ao crescimento de hospitalizações por doenças cardiovasculares e choque hipertérmicos (Easterling et al., 2000; Ebi et al., 2004). A capacidade de dissipação térmica é criticamente comprometida quando a temperatura ambiente excede aproximadamente 35°C, ponto no qual cessam as trocas por convecção e radiação, restando apenas a evaporação do suor como mecanismo termolítico. Em Bambuí - MG, as máximas registradas acima de 37°C às 13h ultrapassaram perigosamente este limite, configurando o que Raymond et al. (2020) denominam "limite térmico de sobrevivência", situação agravada pela maior vulnerabilidade fisiológica da população escolar. Portanto, esforços físicos realizados em aulas de Educação Física sob estresse térmico, representaram um risco considerável.

Devido a características geográficas, Bambuí - MG possui verão quente e chuvoso, e inverno frio e seco. Com efeito, no período seco registramos URA mínima de 11% em agosto, condição favorável para evaporação do suor em atividades físicas e melhor termorregulação, porém em condições de umidade muito baixa (inferior a 50%), observadas consistentemente nos horários vespertinos, pode ocorrer ressecamento das vias aéreas e assim aumentar a susceptibilidade a problemas respiratórios (OPAS/Ministério da Saúde, 2009; Lam et al., 2016; Moraes et al., 2019). De forma oposta, encontramos URA próximos à 100% em determinadas épocas do ano e em certos horários. Tais valores altos combinados com temperaturas elevadas podem representar um grande estresse térmico por reduzirem drasticamente a evaporação do suor e a termorregulação humana.

Considerar temperatura e URA para a elaboração dos planos de aulas é fundamental. Como indicou a pesquisa de Matos (2022), desenvolvida em Manaus - AM, as mudanças nos componentes climáticos vêm comprometendo a realização de atividades físicas e esportivas no contexto escolar amazônico, especialmente em ambientes abertos e sem infraestrutura de proteção térmica. Neste estudo, foi demonstrado que temperatura ambiente e URA constituem variáveis decisivas para a prática segura, pois interferem diretamente nos mecanismos de termorregulação corporal, elevando o risco de estresse térmico, desidratação e queda de desempenho físico. Ao projetar um cenário de aquecimento

regional superior a 2°C, somado à redução da umidade e aumento do IC para as próximas décadas, Matos (2022) indicou que a Educação Física escolar no clima equatorial de Manaus pode tornar-se inviável ao ar livre durante todo o ano letivo. Além disso, é importante destacar as evidências levantadas por Matos (2022) em Manaus - AM, Oliveira (2014) em Belo Horizonte - MG, Santos (2018) em Alagoas e Almeida et al. (2020) no Ceará, demonstrando que as condições climáticas exerceram influência direta sobre o interesse, engajamento, bem-estar e desempenho dos alunos nas aulas de Educação Física. A constatação de que aproximadamente 60% dos estudantes, segundo Oliveira (2014), perceberam dias quentes e úmidos como mais cansativos e desgastantes, associados a sensações de indisposição, calor excessivo, dores de cabeça, tontura e falta de ar, ganha dimensão corrobora os dados biometeorológicos aqui apresentados, principalmente do IBUTG.

O IBUTG representa um parâmetro destacado para avaliação de estresse térmico em ambientes ocupacionais e esportivos, porque integra temperatura, umidade, radiação e velocidade do vento em um único valor preditivo. Na maioria dos meses do ano o IBUTG atingiu valores médios considerados de alto risco (i.e., entre 23 e 28 °C), com os meses de verão atingindo valores acima de 28 °C, ou seja, de risco extremo (ABM, 2009). Ademais, os resultados indicaram que aulas realizadas após 13h foram em condições de alto risco e risco extremo. Ao comparar esses valores com os limites estabelecidos pela NR-15 (Brasil, 2020) verificou-se que para atividades de "Instrução Ativa e Movimentação Moderada" (taxa metabólica de 252W), o limite de exposição é de 29,1°C. Para "Demonstração Intensa ou Participação em Jogos" (360W), o limite reduz-se para 27,3°C. Os dados evidenciaram que nos horários de 13h, 14h e 15h, esses limites foram ultrapassados ou aproximados, configurando situação de risco ocupacional. Os valores elevados de IBUTG observados no período vespertino reforçam a necessidade de atenção ao estresse térmico, corroborando achados de pesquisas em contextos laborais a céu aberto (Machado et al., 2024).

Praticantes de esforço físico em atividades externas são grupo de risco prioritário para doenças relacionadas ao calor, e são necessárias adaptações estruturais (sombreamento), operacionais (realocação de horários, pausas

frequentes) e uso de equipamentos de proteção individual apropriados (Bitencourt et al. 2023). Nesse sentido, é importante ressaltar que a presente pesquisa possui a limitação de não ter registrado as atividades realizadas nas aulas de Educação Física no período estudado. Sendo plausível que professores e estudantes tenham tomado decisões similares às apontadas por Bitencourt et al. (2023) para minimizar o estresse térmico, como redução das aulas práticas, realização de aulas com menor esforço físico, paradas para hidratação, entre outras possibilidades.

Outro resultado importante foram os valores de IDT, ITU e IC que, contrariamente aos outros parâmetros, indicaram condições pouco preocupantes de prática de atividade física. Na maioria dos meses do ano o IC foi classificado como de “Atenção” (i.e., possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física; NOAA, 2018), sendo os horários após 13h mais prováveis de registro dessa classificação de “Atenção”. O IDT apresentou em todos os meses do ano valores médios classificados dentro do “Confortável”, sendo o horário de 13h em diante mais possível de se ter um IDT “Parcialmente confortável” e o ITU na maioria dos meses foi classificado como “confortável” ou “levemente confortável”. Isso mostra que diferentes parâmetros podem resultar em conclusões diferentes se utilizados de forma separada.

Conforme estabelecido por Duffie e Beckman (2006), a radiação solar incidente expressa em kJ/m^2 representa a energia acumulada sobre uma superfície ao longo de um intervalo definido, sendo essencial para análises térmicas e aplicações biometeorológicas. Em crianças e adolescentes, a exposição à radiação prolongada assume dimensão preocupante. Conforme destacado por Gomes et al. (2013) e Notley et al. (2020), a maior razão entre área de superfície e massa corporal nessa população favorece tanto a absorção de calor externo quanto a perda de calor em ambientes frios. Em condições de alta radiação solar, essa característica anatômica torna-se desvantajosa, pois amplifica a absorção de energia radiante em proporção à capacidade de dissipação térmica, sobrecarregando mecanismos termorregulatórios limitados pela imaturidade fisiológica. Outro aspecto relevante refere-se ao efeito cumulativo da exposição radiativa. Em uma aula típica de Educação Física com duração de 50 minutos iniciada

às 13h, os estudantes poderiam estar expostos a valores de radiação superiores a 3900 kJ/m^2 , sem considerar a radiação refletida por superfícies claras comumente presentes em quadras esportivas. Essa exposição prolongada, somada ao calor metabólico gerado pela atividade física, cria uma carga térmica total que pode facilmente ultrapassar a capacidade termorregulatória de crianças e adolescentes.

Portanto, os dados de radiação solar, quando analisados conjuntamente com temperatura, umidade e índices biometeorológicos, reforçam a caracterização dos horários vespertinos (especialmente a partir de 13h) como inadequados para atividades físicas intensas e/ou prolongadas no ambiente escolar. A carga radiativa elevada nesses períodos não apenas contribui diretamente para o desconforto térmico, mas também intensifica os mecanismos de estresse térmico documentados pelos índices IBUTG, IDT, ITU e IC, configurando um cenário de risco multifatorial para a saúde de estudantes e professores.

Segundo a classificação do Índice de Qualidade do Ar (AQI) dos Estados Unidos adotada pela plataforma IQAir, todos os valores observados enquadram-se na categoria "Moderada" ($9,1\text{-}35,4 \mu\text{g/m}^3$). De acordo com as recomendações de saúde para exposição de 24 h nesta faixa, indivíduos sensíveis deveriam evitar atividades ao ar livre, pois podem apresentar sintomas respiratórios. A classificação apresentada anteriormente confronta com os padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 248/2023, que define o limite intermediário atual (PI-1) para exposição de 24 horas em $60 \mu\text{g/m}^3$. Ou seja, por esse documento, verifica-se que todas as concentrações médias observadas se situam substancialmente abaixo do limite, representando entre 17% e 22% do padrão PI-1. No entanto, além do AQI dos Estados Unidos, as diretrizes recomendadas pela OMS (2014) para $\text{MP}_{2,5}$ também são mais rigorosas, indicando o limite de $5,0 \mu\text{g/m}^3$. Ou seja, todos os valores observados no presente estudo situaram-se acima do limite ideal estabelecido para qualidade do ar satisfatória.

A classificação da qualidade do ar como insatisfatória para todos os horários de aula em Bambuí demanda atenção dos professores de Educação Física no planejamento e execução das atividades. Durante exercícios físicos, a ventilação pulmonar aumenta significativamente, ampliando a inalação de material

particulado. Estudantes com condições respiratórias preexistentes, como asma e bronquite, constituem grupo de maior vulnerabilidade e podem apresentar sintomas mesmo em concentrações classificadas como moderadas. Como já mostrado anteriormente, adolescentes são suscetíveis a quadros inflamatórios decorrentes de poluentes atmosféricos (Poursafa et al., 2011). Esta constatação sugere a necessidade de protocolos pedagógicos que considerem a qualidade do ar como critério para ajuste de intensidade, duração ou até suspensão de atividades ao ar livre.

De forma geral, é verificado que o clima impacta significativamente diversos setores da sociedade, incluindo a saúde e as escolas (Araújo; Belchior; Viégas, 2016). Além do cenário preocupante registrado no presente estudo nos anos de 2024 e 2025, o cenário futuro é ainda mais crítico. É possível que regiões do Brasil alcancem condições climáticas que representarão graves riscos à saúde, mesmo para pessoas jovens e saudáveis (Raymond; Matthews; Horton, 2020). Além dos registros de aquecimento nas últimas décadas, vem sendo projetado que entre os anos de 2030 e 2052 as temperaturas médias do planeta subirão algo em torno de 1,5°C (Périard et al., 2021).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente (2015) estima que a elevação da temperatura média no estado de Minas Gerais pode variar entre 2 °C e 4 °C até 2100. Complementando essa perspectiva, Reboita et al. (2018) projetaram cenários ainda mais graves, apontando possibilidade de aumento de até 5 °C na temperatura média do ar entre 2070 e 2095, além de alterações na dinâmica sazonal, com verões mais chuvosos, invernos mais secos e intensificação de eventos extremos.

Deste modo, a Educação Física, é e será uma disciplina diretamente afetada pela crise climática, uma vez que suas práticas frequentemente ocorrem ao ar livre, expondo alunos e professores a condições ambientais adversas. Isso reforça a compreensão de que a crise climática não se limita ao ambiente natural, mas repercute na saúde, na segurança e na participação estudantil nas aulas, revelando a necessidade de intervenções urgentes de mitigação e adaptação no espaço escolar.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa caracterizou as condições climáticas e biometeorológicas durante as aulas de Educação Física no IFMG *campus* Bambuí, evidenciando que os horários vespertinos e os meses próximos do verão concentram as condições térmicas mais críticas, com maior risco ao conforto e à saúde dos estudantes segundo diferentes índices biometeorológicos, em especial o IBUTG e a radiação solar. Embora a qualidade do ar tenha permanecido dentro dos padrões nacionais, os níveis de MP_{2,5} ultrapassaram as diretrizes recomendadas pela OMS. O padrão climático observado complementa estudos realizados em outras regiões brasileiras e reforça a influência das variáveis ambientais sobre a saúde, o bem-estar e o desempenho dos alunos. Em suma, o presente estudo pode subsidiar o planejamento pedagógico, a organização dos horários e a adoção de estratégias de adaptação às condições climáticas locais, contribuindo para a integração entre clima, saúde e Educação Física escolar.

REFERÊNCIAS

- ABM - AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. **Thermal comfort observations**. 2009. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/>. Acesso em: 10 jan.2025.
- ACSM- American College of Sports Medicine. Distúrbios causados pelo frio e pelo calor durante corridas de longa distância. **Revista Brasileira De Medicina Do Esporte**, 108–119, 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbme/a/TdZrYjq8gRLs96VKzpJ9fmk/?lang=pt>>. Acesso em: 05 dez. 2024.
- ALMEIDA, R. G.; CAVALCANTE, A. M. B.; SILVA, E. M. Impactos das mudanças climáticas no bioma Caatinga na percepção dos professores da rede pública municipal de General Sampaio – Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 397–405, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/SyJFmxKNkXqBc4VXtKb6tdR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- ARAÚJO, A. R.; BELCHIOR, G. P. N.; VIEGAS, T. E. S. (Org.). **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro**. Fortaleza; São Paulo: Fundação Sintaf, 2016. Disponível em: <<https://fundacaosintaf.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Ebook-impactos-das-mudancas-climaticas-no-nordeste-brasileiro.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- BITENCOURT, D. P.; MAIA, P. A.; RUAS, A. C.; CUNHA, I. A. Trabalho a céu aberto: passado, presente e futuro sobre exposição ocupacional ao calor. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 48, ed. especial, e36022, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbso/a/zd77kyprCN4BN3wdGRwmFKB/?lang=pt>>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n. 15 (NR-15): Atividades e operações insalubres. Anexo n. 3: Limites de tolerância para exposição ao calor**. (Alterado pela Portaria SEPRT n. 1.359, de 09 de dezembro de 2019). Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaoscolegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-03.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- CAIRUS, H. F. Ares, águas e lugares. In: CAIRUS, H. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. A. (Org.). **Textos hipocráticos: o doente, o médico e a doença**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2005. p. 91–129. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/9n2wg/pdf/cairus-9788575413753-07.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2025.
- DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-0-471-

69867-8. Disponível em: <https://www.mechfamily-ju.com/storage/images/files/file_1731558700SHIa9.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2024.

EASTERLING, D. R., MEEHL, G. A., PARMESAN, C., CHANGNON, S. A., KARL, T. R., & MEARNNS, L. O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. **Science**, 289(5487), 2068–2074, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>>.

EBI, K. L., EXUZIDES, K. A., LAU, E., KELSH, M., & BARNSTON, A. (2004). Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. **International journal of biometeorology**, 49(1), 48–58. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00484-004-0207-5>>.

FIGUEIREDO, W. V. R.; REIS, J. L. O.; DANELICHEN, V. H. M.; NOVAIS, J. W. Z.; DIAS DE SOUZA, M. D. Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) na Cidade de Diamantino, Mato Grosso, para o Período de 2018 a 2021. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 445–450, 2024. DOI: 10.17921/1415-6938.2024v28n4p445-450. Disponível em: <<https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/article/view/13220>>. Acesso em: 02 mar. 2025.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Minas Gerais). **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: sumário executivo**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. 49 p. il. Disponível em: <<https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/T8a10n47WuWW9lIFuxojZRFpfgjarTQ4.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

GOMES, L. H. L. S.; CARNEIRO-JÚNIOR, M. A.; MARINS, J. C. B. Respostas termor regulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 104-110, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rpp/a/XYKGxTMGKT58LRMsDXrPNhg/?lang=pt>>. Acesso em: 20 dez.2024.

Hanna, E. G., & Tait, P. W. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. **International journal of environmental research and public health**, 12(7), 8034–8074, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijerph120708034>>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>. Acesso em: 19 dez. 2025.

MA, X.; MORAWSKA, L.; ZOU, B.; GAO, J.; DENG, J.; WANG, X.; WU, H.; XU, X.; WANG, Y.; TAN, Z.; JIANG, N.; SHEN, Y.; LI, D.; GAO, J.; FAN, Y.;

SALMOND, J. Towards compliance with the 2021 WHO air quality guidelines: A comparative analysis of PM2.5 trends in australia and china. **Environment International**, v. 198, p. 109378, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109378>>.

MACHADO, J. S.; SCHETTINO, S.; CABACINHA, C. D.; SORANSO, D. R.; MINETTE, L. J. Trabalho a céu aberto e sua relação com a saúde dos trabalhadores: exposição ao calor e a radiação solar. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 5, p. e4045, 2024. DOI: 10.54033/cad pedv21n5-130. Disponível em: <<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/4045>>. Acesso em: 02 dez. 2025.

MATOS, J. A. V. **Mudanças climáticas e educação física no complexo esportivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas Campus Manaus Centro**. 2022. 178 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <<http://www.profciamb.eesc.usp.br/programa/mudancas-climaticas-e-educacao-fisica-no-complexo-esportivo-do-institutofederal-de-educacao-ciencia-e-tecnologia-do-amazonas-campus-manaus-centro/>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Heat Index Chart and Information**. Washington, DC: NOAA, 2018. Disponível em: <<https://www.weather.gov/safety/heat-index>>. Acesso em: 23 mar 2025.

NOTLEY, S. R.; AKERMAN, A. P.; MEADE, R. D.; MCGARR, G. W.; KENNY, G. P. Exercise thermoregulation in prepubertal children: a brief methodological review. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 52, n. 11, p. 2412–2422, 2020. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32366798/>>. Acesso em: 14 dez. 2024.

NÓBREGA, Ranyére Silva; VERÇOSA, Tiago. O MICROCLIMA E O (DES)CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ABERTOS NA CIDADE DO RECIFE. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 93–109, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228942>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

OLIVEIRA, Warley Henrique Duarte de. **Efeitos das condições climáticas no interesse dos alunos pelas aulas de Educação Física**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.eeffto.ufmg.br/eeffto/DATA/defesas/20180201100924.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). **Mudança climática e saúde: um perfil do Brasil**. Brasília. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/mudanca_climatica_saude.pdf>. Acesso em: 6 set. 2025.

Périard, J. D., Eijsvogels, T. M. H., & Daanen, H. A. M. (2021). Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological reviews*, *101*(4), 1873–1979. Disponível em: <<https://doi.org/10.1152/physrev.00038.2020>>.

POURSAFA, P. et al. Association of air pollution and hematologic parameters in children and adolescents. **Jornal de pediatria**, v. 87, p. 350-356, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jped/a/Fkqq8HFPCNsypFHDNsP3zsb/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 05 maio 2025.

RAYMOND, C.; MATTHEWS, T.; HORTON, R. M. The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. **Science Advances**, v. 6, n. 19, p. eaaw1838, 2020. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32494693/>>. Acesso em: 15 dez. 2024.

REBOITA, M. .; MARRAFON, V.H.A.; LLOPART, M.; ROCHA, R. P. Cenários de Mudanças Climáticas Projeta para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 1, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60524>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

SANTOS, Jane Oliveira da Silva. **O (Des)conforto térmico na sala de aula: dificuldades de aprendizagem**. 2018. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação no Semiárido) - Unidade Delmiro Gouveia - Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/3643>>. Acesso em: 22 dez. 2024.

STEADMAN, R. G. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, *18*, 861–873, 1979. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2)>.

THOM, E. C. The Discomfort Index. **Weatherwise**, *12*(2), 57–61, 1959. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>>

WANNER, S. P., PRÍMOLA-GOMES, T. N., PIRES, W., GUIMARÃES, J. B., Hudson, A. S., KUNSTETTER, A. C., FONSECA, C. G., DRUMMOND, L. R., DAMASCENO, W. C., & TEIXEIRA-COELHO, F. Thermoregulatory responses in exercising rats: methodological aspects and relevance to human physiology. **Temperature**, *2*(4), 457–475, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1119615>.

ZHAO, Qi et al. The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: a nationwide time series study between 2000 and 2015. **PLoS medicine**, v. 16, n. 2, p. e1002753, 2019. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1002753>>. Acesso em: 03 out. 2025.