

Análise de padrões climáticos locais e medidas mitigatórias para os riscos associados: Um estudo a partir de estações meteorológicas situadas no município de Macaé, RJ

RICARDO FRANCA SANTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)

RAFAEL MALHEIRO DA SILVA DO AMARAL FERREIRA

Análise de padrões climáticos locais e medidas mitigatórias para os riscos associados: Um estudo a partir de estações meteorológicas situadas no município de Macaé, RJ

***Abstract.** This study investigates microclimates in the municipality of Macaé, RJ, using data collected from 30 weather stations distributed across public schools. The objective is to identify local climate patterns and propose mitigation measures for associated environmental risks. The proposed methodology evaluates machine learning techniques, such as Neighborhood-Based Clustering, Fuzzy C-Means Clustering, and Hierarchical Clustering, to segment meteorological data into groups with similar characteristics. The analyzed data include variables such as air temperature and humidity, wind speed, wind gusts, and rainfall volume, collected from weather stations located in public schools between April and June 2024. The results indicate the formation of distinct microclimates, highlighting clusters with extreme conditions, such as high temperatures, intense wind gusts, and sporadic yet heavy rainfall. These patterns suggest an influence of urbanization and local geographical factors. The study concludes that continuous monitoring of climate variables can support the development of risk mitigation strategies, such as strengthening urban infrastructure, increasing vegetation cover, and implementing early warning systems to prevent impacts on the local population and economy.*

Keywords: Climate pattern analysis, climate risks, microclimates, machine learning

***Resumo.** Este estudo investiga os microclimas no município de Macaé, RJ, utilizando dados coletados por 30 estações meteorológicas distribuídas em escolas públicas. O objetivo consiste em identificar padrões climáticos locais e propor medidas mitigatórias para os riscos ambientais associados. NA metodologia proposta foram avaliadas técnicas de aprendizado de máquina, como Agrupamento Baseado em Vizinhaça, Agrupamento por Médias Fuzzy e Agrupamento Hierárquico, para segmentar os dados meteorológicos em grupos com características similares. Os dados analisados incluem variáveis como temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento e volume de chuva, coletados em estações meteorológicas situadas em escolas públicas no período de abril a junho de 2024. Os resultados indicam a formação de microclimas distintos, com destaque para os clusters que apresentam condições extremas, como altas temperaturas, rajadas intensas de vento e chuvas esparsas e volumosas. Esses padrões sugerem influência da urbanização e de fatores geográficos locais. A pesquisa conclui que o monitoramento contínuo das variáveis climáticas pode auxiliar na formulação de estratégias de mitigação de riscos, como o reforço da infraestrutura urbana, o aumento da cobertura vegetal e implementação de sistemas de alerta para prevenir impactos à população e à economia local.*

Palavras-chave: Análise de padrões climáticos, riscos climáticos, microclimas, Aprendizado de Máquina

1. INTRODUÇÃO

Segundo o IPCC (2023), eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e rajadas de vento, estão aumentando em frequência e intensidade devido às mudanças climáticas globais. As mudanças climáticas refletidas na subida do nível do mar podem alterar padrões de precipitação,

regimes locais de salinidade, afetar a temperatura e os ecossistemas, podendo resultar na submersão de ilhas e alterações nos microclimas, o que impacta a economia costeira (Srivastava *et al.*, 2016).

Diversos são os impactos das mudanças climáticas e este fenômeno tem sido estudado por perspectivas distintas (Marengo *et al.*, 2021). Os efeitos da urbanização assim como seu impacto no clima local podem ser monitorados por meio de estações meteorológicas com disponibilização de dados em tempo real. Isto que permite que sejam caracterizadas estações que possuam informações similares e dissimilares em relação ao clima, com a formação de agrupamentos, o que caracteriza microclimas locais. O microclima refere-se às condições atmosféricas específicas de uma área limitada, que diferem das regiões ao seu redor. Esta condição pode surgir devido a barreiras naturais, como relevo, presença de corpos d'água ou vegetação (Ministério das Minas e Energia, 2024).

Os efeitos das mudanças climáticas podem ser vistos em diversas áreas como a saúde pública com a mudança na distribuição espacial das doenças transmitidas por vetores (Carvalho *et al.*, 2020), nas políticas de segurança energética (Vieira & Dalgaard, 2013), na formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com transferência de umidade da região Amazônica para o sul e sudeste do Brasil (Lemes *et al.*, 2020), na criação de um conjunto de dados para Modelos de Circulação Geral e do Sistema Terrestre - GCMs/ESMs (Ballarin *et al.*, 2023), nos impactos das mudanças climáticas por meio de simulações em modelos hidrológicos (Ho *et al.*, 2016), na perda de biodiversidade por plantas exóticas invasoras (Fulgêncio-Lima *et al.*, 2021), no déficit de irrigação na agricultura (Permanhani *et al.*, 2016), no aumento do risco climático nos sistemas agrícolas brasileiros de duplo cultivo (Pires *et al.*, 2016), no papel do Brasil nas negociações da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Johnson, 2001), na vulnerabilidade da população avaliada por hotspots socioclimáticos no Brasil (Torres *et al.*, 2012), entre outras.

A disponibilidade de conjuntos de dados climáticos, como o CLIMBra, pode contribuir com análises detalhadas das mudanças climáticas em nível regional (Ballarin *et al.*, 2023). Este fato ajuda ao entendimento de fatores que podem levar a formação de ilhas de calor e microclimas. Como exemplo de microclima, Kunert *et al.* (2015) apontam a influência da neblina como um fenômeno frequente em florestas tropicais nubladas montanhosas, o que impacta o abastecimento de água das regiões de planície adjacentes.

A urbanização é um dos principais fatores para a formação de ilhas de calor e interfere nos padrões de precipitação, vento, temperatura e umidade do ar, características que podem resultar em agrupamentos ou clusterização de áreas com padrões microclimáticos semelhantes na mesma cidade ou região (Gomes *et al.*, 2017). Ademais, a representação explícita da cobertura formada pela copa das árvores no ambiente urbano é fundamental para entender as circulações locais em megacidades tropicais (Flores Rojas *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a análise dos agrupamentos surge como uma ferramenta para contribuir e apresentar uma interação clara entre condições locais e os macros fatores climáticos, sugerindo que os microclimas analisados possam ser indicativos de impactos locais de mudanças climáticas. Carvalho *et al.* (2020) mencionam que as mudanças climáticas podem alterar a distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores no Brasil. Por conseguinte, este estudo tem como objetivo identificar e avaliar dados coletados, por meio de métodos de Aprendizado de Máquina, em trinta estações meteorológicas situadas em escolas públicas do município de Macaé, RJ, para apontar a existência de possíveis microclimas e sugerir potenciais medidas mitigatórias para os riscos ambientais associados.

Nesse contexto, Caluwaerts *et al.* (2021) apresenta um projeto com a integração de escolas no monitoramento meteorológico, que tem se mostrado eficaz para preencher essas

lacunas observacionais dos microclimas.

2. CONTEXTO INVESTIGADO

2.1. Objeto de Estudo

O estudo abrange o município de Macaé, localizado na região Norte Fluminense, onde foram instaladas trinta estações meteorológicas em locais determinados pela Defesa Civil do município. Estas estações coletam dados por meio de sensores que transmite para uma estação de monitoramento. Utilizou-se neste estudo dados reais, contudo, devido à confidencialidade do projeto, eles não serão divulgados com as coordenadas e locais específicos de coleta. A figura 1 apresenta o mapa do município de Macaé com as estações meteorológicas instaladas nas escolas.

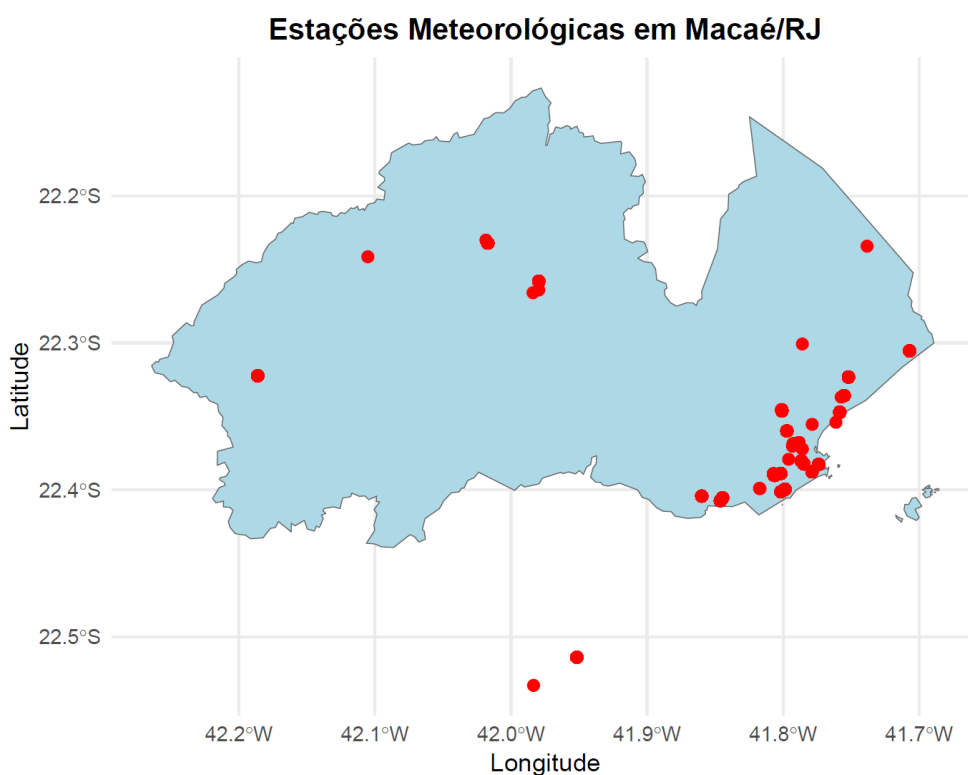


Figura 1. Estações Meteorológicas instaladas nas escolas do município de Macaé-RJ

3. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

3.1 Carregamento, tratamento e limpeza dos dados

As trinta estações meteorológicas estão distribuídas ao longo do município, predominantemente na área urbana, contudo existem duas estações que estão localizadas em município vizinho no mapa da fig.1 e os dados foram obtidos automaticamente dessas estações e transportados para um arquivo do tipo csv. O arquivo contém os seguintes parâmetros: Temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento, volume de chuva, período, identificador da estação, estação identificadora, descrição da estação, endereço da estação, latitude da estação, longitude da estação e data-hora do cadastro. Contudo, por motivo de confidencialidade, o arquivo será disponibilizado somente com os seguintes campos: identificador da estação meteorológica, temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento e volume de chuva. Os dados

foram obtidos no período de 08 de abril de 2024 até 20 de junho de 2024, o que corresponde a mais de 10.000 ocorrências registradas no período.

A partir dos dados brutos foi realizado o tratamento e a limpeza da base de dados para retirada de dados faltantes.

3.2 Estatística descritiva e Clusterização dos Dados

Utilizou-se o software JASP v.19.2, disponibilizado em 09 de dezembro de 2024 pela Universidade de Amsterdã em modelo open source. Com o JASP elaborou-se a estatística descritiva da amostra

Com o intuito de avaliar os dados das estações meteorológicas para segmentá-las em grupos com características semelhantes utilizou-se o aprendizado de máquina com as técnicas Agrupamento baseado em vizinhança (Neighborhood-Based Clustering), Agrupamento por Médias Fuzzy e Hierárquico Clustering.

Os algoritmos *Agrupamento Baseado em Vizinhança*, *Agrupamento por Médias Fuzzy* e *Agrupamento Hierárquico* foram aplicados com o objetivo de identificar padrões de agrupamento nos dados de forma complementar. O Agrupamento Baseado em Vizinhança foi utilizado para detectar estruturas de grupos com formas arbitrárias e identificar possíveis *outliers*, explorando a densidade local dos dados. O Fuzzy C-Means permitiu capturar relações mais sutis entre os elementos, atribuindo a cada ponto graus de pertencimento a múltiplos clusters, o que é útil em contextos com fronteiras difusas. Já o Agrupamento Hierárquico contribuiu para a visualização da estrutura hierárquica entre os dados, fornecendo uma perspectiva global sobre a similaridade entre os grupos, sem a necessidade de definir previamente o número de clusters.

4. INTERVENÇÃO PROPOSTA

A partir da utilização dessas técnicas pretende-se verificar se existem clusters ou agrupamentos que capturam dados meteorológicos semelhantes e que pudessem explicar um microclima naquela região. Se as variáveis avaliadas nessas estações ultrapassassem certos limites pré-estabelecidos pela Defesa Civil, por exemplo, e que representasse risco para a comunidade local, a comunidade seria alarmada para se prevenir ou evadir da área ameaçada.

Com base nos padrões microclimáticos a serem identificados, propõe-se no futuro a criação de um Plano Municipal Integrado de Monitoramento e Adaptação Climática, com foco nas regiões classificadas como críticas. Esse plano deverá incluir:

1. Ampliação da cobertura vegetal em áreas de alta temperatura e baixa umidade, para mitigar efeitos das ilhas de calor urbanas;
2. Reforço e modernização da infraestrutura urbana de drenagem nas regiões com alta variabilidade de chuvas intensas, reduzindo o risco de alagamentos;
3. Instalação de sistemas de alerta precoce baseados em dados das estações meteorológicas, interligados à Defesa Civil e a aplicativos comunitários;
4. Capacitação de professores e estudantes da rede pública para atuar no monitoramento climático e disseminar conhecimento ambiental nas comunidades locais;
5. Integração dos dados meteorológicos com plataformas de gestão municipal, para subsidiar políticas públicas em tempo real, especialmente nas áreas de saúde, educação e planejamento urbano.

Essa intervenção busca articular ciência, tecnologia e participação comunitária,

promovendo uma resposta adaptativa, inclusiva e territorializada às mudanças climáticas.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Por meio de estatística descritiva foram avaliadas as variáveis temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento, volume de chuva para todas as estações. A tabela 1 apresenta a avaliação realizada por meio de indicadores de dispersão, assimetria e curtose.

Tabela 1 – Avaliação das variáveis por indicadores da estatística descritiva

	Distribuição Simétrica e Amodal	Maior Dispersão	Menor Dispersão	Maior Assimetria	Menor Assimetria	Curtose positiva	Curtose negativa
Temperatura	02, 14, 17, 18, 29, 45 e 67	08 e 35	70 e 59	04	70	04	08
Umidade do ar	02, 14, 17, 18, 29, 45 e 67	08 e 35	50 e 59	39	70	50	08
Velocidade do vento	02, 14, 17, 18, 29, 45 e 67	55 e 54	70 e 35	70	04	70	57
Rajada de vento	02, 14, 17, 18, 29, 45 e 67	55 e 54	70 e 35	70	56	51	58
Volume de chuva	02, 04, 08, 14, 17, 18, 29, 45, 56 e 67	24 e 70	04, 08 e 56	58	70	58	70

Com os resultados obtidos verificou-se que as distribuições 02, 14, 17, 18, 29, 45 e 67 são simétricas e amodais para todas as variáveis. A temperatura e umidade do ar tiveram maior dispersão nas estações 08 e 35, da mesma forma que a velocidade do vento e rajada de vento tiveram as maiores dispersões nas estações 55 e 54. A estação meteorológica 59 apresentou menor dispersão tanto para a temperatura quanto para a umidade do ar, enquanto as estações 70 e 35 apresentaram maior dispersão para a velocidade do vento e rajada de vento. A estação 70 apresentou tanto a maior assimetria quanto a menor assimetria para a velocidade do vento e rajada de vento. Para a curtose positiva não houve estações com valores coincidentes, contudo para a curtose negativa a estação 08 apresenta os maiores valores de curtose para a temperatura e umidade do ar.

5.1 Técnicas de Aprendizado de Máquina

As técnicas Agrupamento Baseado em Vizinhaça, Agrupamento por Médias Fuzzy e Agrupamento Hierárquico se mostraram mais precisas em relação as demais técnicas disponíveis no software JASP (Density-Based, Model-Based e Random Forest). Este fato foi comprovado por meio das métricas R² e dos indicadores de parcimônia AIC e BIC. A tabela 2 apresenta os valores dos métodos utilizados no aprendizado de máquina para avaliar a qualidade do modelo.

Tabela 2 – Ajuste e Qualidade do Modelo

Método	Clusters	N	R ²	AIC	BIC	Sillhouette
--------	----------	---	----------------	-----	-----	-------------

Agrupamento Baseado em Vizinhança	10	9249	0,86	6555,440	6912,050	0,280
Agrupamento por Médias Fuzzy	10	9249	0,670	16834,180	17190,800	0,190
Agrupamento Hierárquico	9	9249	0724	12846,220	13167,180	0,380

Conforme os critérios da tabela 1, o método Agrupamento Baseado em Vizinhança apresentou o melhor ajuste e qualidade do modelo, com um R2 de 86% e os menores valores de AIC e BIC. Os resultados dos coeficientes de silhouette obtidos foram 0,28, 0,190 e 0,380, respectivamente para os algoritmos Agrupamento Baseado em Vizinhança, Agrupamento por Médias Fuzzy e Agrupamento Hierárquico, o que indica uma estrutura de agrupamento fraco. Isto pode ser aceitável dependendo do contexto, pois quanto mais próximo de zero for esse valor significa que o ponto está entre dois clusters, o que pode evidenciar uma possível sobreposição.

5.2 Técnica Agrupamento Baseado em Vizinhança

A figura 2 apresenta gráficos de matriz de *cluster* relacionando os parâmetros analisados.

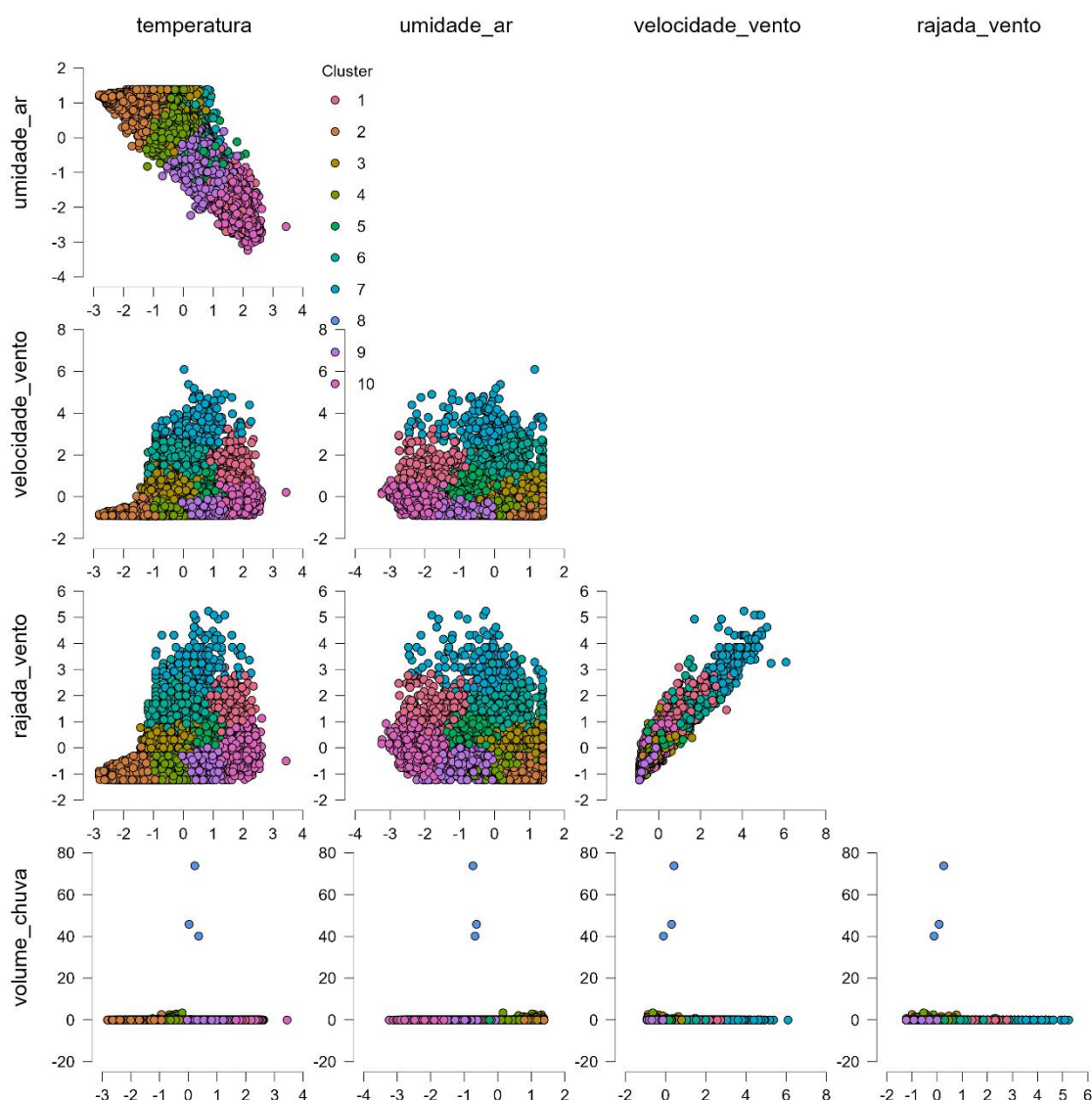


Figura 2. Matriz de Clusters para os parâmetros selecionados temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento e volume de chuva

Figura 2 – Matriz de *Clusters* para os parâmetros selecionados temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento, rajada de vento e volume de chuva.

Fonte: Próprio Autor adaptado de Software JASP v.19.2

Foram analisados os gráficos box-plots de cada um dos parâmetros para os clusters e a densidade por parâmetro desses clusters.

A figura 3 apresenta o gráfico clusters x temperatura e a figura 4 apresenta a temperatura x densidade.

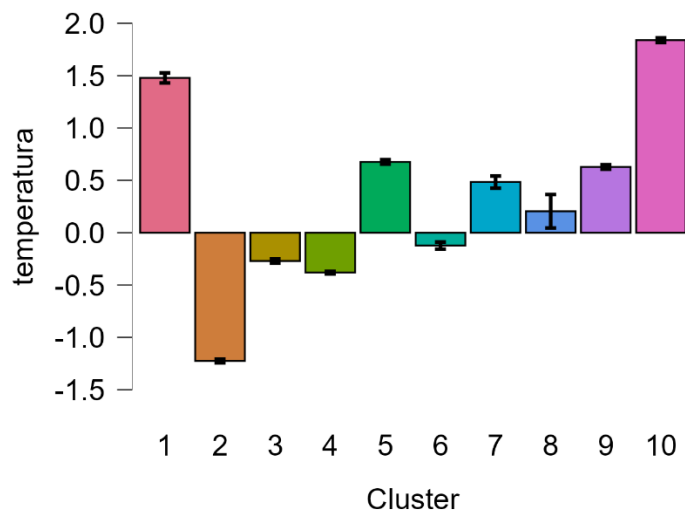


Figura 3 - Clusterização pelo aspecto temperatura

Fonte: Software JASP v.19.2

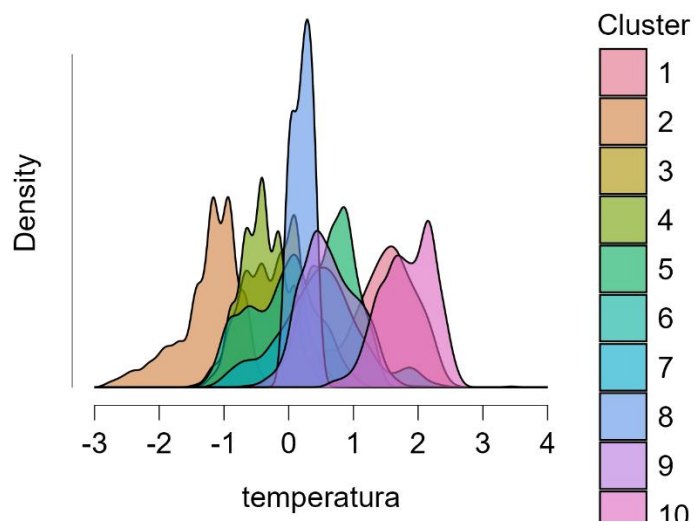


Figura 4 – Temperatura x Densidade

Fonte: Software JASP v.19.2

Na figura 3 observa-se que as maiores variações para os clusters definidos pela temperatura ocorreram nos clusters 8 e cluster 7. Observa-se uma tendência no cluster 2, 3, 4 e 6 de temperaturas inferiores à média registrada. As maiores amplitudes de temperatura ocorreram nos clusters 10 e 1, respectivamente. Na figura 4 observa-se que o cluster 8 apresentara a maior densidade de temperatura.

Para todas as variáveis analisadas foram elaborados os respectivos gráficos com os agrupamentos. Devido ao tamanho ocupado pelos gráficos eles não serão apresentados aqui, mas seus achados foram computados nos resultados encontrados.

5.3 Medidas Mitigatórias de Risco

A integração entre redução de riscos de desastres e adaptação às mudanças climáticas contribui para estratégias eficazes (Islam *et al.*, 2019). Considerando os resultados obtidos na clusterização, podem ser sugeridas medidas mitigatórias de risco associados às variáveis meteorológicas, especialmente nos clusters que apresentaram maior variabilidade destas variáveis. Os clusters 7 e 8 destacaram-se pela maior variabilidade em termos de temperatura, rajadas de vento e volume de chuva. O cluster 8, em particular, apresentou eventos extremos de chuva intensa, o que alerta para verificação e melhoria do sistema de drenagem urbana nessa região. No cluster 7 foram registrados os maiores valores de rajada de vento, apontando para uma avaliação da integridade das edificações nas áreas abrangidas por esse cluster.

A identificação de clusters com características meteorológicas similares, assim como clusters com discrepâncias extremas, sugerem a viabilidade dessa metodologia para destacar regiões que demandam maior atenção do ponto de vista da defesa civil. O monitoramento de dados em tempo real, associados às técnicas mencionadas, podem possibilitar respostas de forma mais instantânea, inclusive emitir alertas precoces à população sobre riscos iminentes. Sistemas de modelagem desenvolvidos a partir de Aprendizado de Máquina aplicados a dados instantâneos podem ser convenientes para prever eventos extremos na sua área de cobertura e mitigar seus impactos.

Contudo, esses sistemas de modelagem desenvolvidos sugerem a integração da Redução do Risco de Desastres (DRR) e a Adaptação às Alterações Climáticas (CCA) visando um uso mais eficiente dos recursos e desperdícios de sobreposições (Islam *et al.*, 2019). Entretanto, é necessário compreender como reconhecer situações em que a dinâmica do modelo se desvia sistematicamente das suposições implícitas nas observações, especialmente em relação aos aspectos que influenciam diretamente a previsibilidade (Lall, 2014).

Outra ação possível é utilizar as informações obtidas na modelagem dos dados para implementar programas de conscientização sobre gestão de riscos climáticos orientados as áreas mais vulneráveis. Adicionalmente, envolver a população local, através de atividades de educação ambiental e participação no monitoramento dos dados, pode trazer mais efetividade aos programas.

Uma vez que fatores como a supressão vegetal, feições do relevo e o uso e cobertura do solo podem interferir nos microclimas locais, é sugerido que medidas de adaptação climática devam ser consideradas, tais como o reflorestamento de áreas periurbanas e aumento de cobertura vegetal em solos expostos. Não obstante, as mudanças climáticas também influenciam a distribuição de plantas invasoras, o que pode afetar as Unidades de Conservação (Fulgêncio-Lima *et al.*, 2021)

Entre as medidas não estruturais comuns para todos os clusters identificados ressalta-se a educação e conscientização, engajando a população em práticas sustentáveis, como o uso racional da água e redução de emissões de gases poluente. Projeções hidrológicas para bacias brasileiras indicam a necessidade de considerar incertezas em cenários futuros (Ho et al., 2016). Além disso, a legislação hídrica desempenha um papel relevante na adaptação às mudanças climáticas e na prevenção da escassez de água (Cassuto & Sampaio, 2011).

Além disso, poderiam ser criadas parcerias entre instituições, através do trabalho conjunto de universidades, ONGs e governo local para integrar os dados meteorológicos com as políticas públicas. O desenvolvimento de um plano municipal de adaptação climática e redução dos riscos a desastres naturais deve considerar a análise de clusters como ferramenta de priorização.

6. CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA-SOCIAL

Este estudo também apresenta uma significativa contribuição tecnológica-social ao demonstrar como o uso de tecnologias acessíveis, utilizando estações meteorológicas de baixo custo integradas a algoritmos de aprendizado de máquina, pode ser aplicado em escala local para monitoramento climático em tempo real. A combinação entre ciência de dados e infraestrutura educacional pública evidencia o potencial de projetos colaborativos e de ciência cidadã na redução de vulnerabilidades sociais. Ao envolver diretamente a comunidade escolar e promover o uso social dos dados gerados, a pesquisa reforça a importância da democratização da informação climática como ferramenta para adaptação urbana, educação ambiental e fortalecimento da resiliência comunitária frente às mudanças climáticas.

O estudo analisou os microclimas no município de Macaé, RJ, utilizando dados de 30 estações meteorológicas e técnicas de Aprendizado de Máquina para identificar padrões climáticos locais. O objetivo principal foi alcançado por meio da avaliação da existência de microclimas locais e das propostas de medidas mitigatórias para os riscos ambientais associados.

Os resultados confirmaram a existência de microclimas distintos, caracterizados por clusters que variam em parâmetros como temperatura, umidade, velocidade do vento e volume de chuva. Destaque especial foi dado ao cluster 8, que apresentou alta densidade de temperatura e eventos extremos de precipitação, e ao cluster 7, que registrou temperaturas elevadas e rajadas de vento intensas, ambos associados a impactos significativos da urbanização e variações locais. A avaliação de precipitações extremas em variações de longo prazo tem se mostrado eficaz em estudos climáticos (He et al., 2021).

Este estudo contribui para a compreensão das condições atmosféricas em áreas urbanas e periurbanas. As técnicas de clustering utilizadas provaram ser ferramentas eficazes para agrupar dados meteorológicos e explicar a heterogeneidade climática em níveis locais.

No entanto, o estudo apresenta limitações, como a restrição dos dados a um período curto e a confidencialidade dos locais específicos das estações meteorológicas, o que pode limitar a generalização dos resultados. Outra limitação é o desconhecimento do resultado oriundo das diferenças entre os clusters em relação aos diversos relevos, morfologias, e ao uso e ocupação do solo, o que pode ser investigado em outro trabalho.

Recomenda-se o uso contínuo das estações meteorológicas para monitoramento em tempo real e a implementação de sistemas de alerta para a população. Além disso, políticas de adaptação climática, como o aumento da cobertura vegetal e melhorias na infraestrutura urbana, devem ser priorizadas. Sugere-se também o fortalecimento de colaborações entre universidades, o governo e a sociedade para integrar dados meteorológicos a políticas públicas.

Em futuras pesquisas poderiam ser expandido o período de análise, incorporar dados de outras fontes meteorológicas de municípios vizinhos e investigar os impactos das intervenções mitigatórias propostas. Ademais, outras pesquisas podem explorar a influência de fatores topográficos e de uso do solo nos microclimas locais, além de avaliar como mudanças climáticas globais interagem com padrões climáticos regionais. Esse aprofundamento permitirá um planejamento mais eficiente e resiliente, beneficiando tanto a comunidade local quanto as estratégias de gestão ambiental.

Os resultados obtidos neste estudo não apenas demonstram a eficácia das técnicas de agrupamento para identificação de microclimas urbanos, mas também fornecem suporte prático para gestores públicos, especialmente na formulação de planos municipais de adaptação climática e prevenção de desastres. A metodologia empregada pode ser replicada por órgãos municipais, como secretarias de meio ambiente e defesa civil, como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Com isso, o presente artigo contribui para o desenvolvimento de modelos gerenciais aplicáveis ao contexto urbano, articulando ciência, tecnologia e políticas públicas locais.

REFERÊNCIAS

- Ballarin, A.S., Sone, J.S., Gesualdo, G.C. et al. (2023) “CLIMBra - Climate Change Dataset for Brazil”. *Scientific Data*, 10, 47. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-01956-z>.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990.
- Carvalho, B.M. de, Perez, L.P., Oliveira, B.F.A., Jacobson, L.S.V., Horta, M.A., Sobral, A., & Hacon, S.S. (2020) “Vector-borne diseases in Brazil: climate change and future warming scenarios”. *Sustainability in Debate*, 11(3), pp. 361–404. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33985>.
- Caluwaerts, S. et al. (2021) “Engaging Schools to Explore Meteorological Observational Gaps”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102, pp. E1126–E1132. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0051.1>.
- Cassuto, D.N. & Sampaio, R.S.R. (2011) “Water Law in the United States and Brazil - Climate Change & Two Approaches to Emerging Water Poverty”. *William and Mary Environmental Law & Policy Review*, 35, pp. 371. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1821403>.
- Favero, L.P. & Belfiori, P. (2017) *Manual de Análise de Dados*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Flores Rojas, J.L., Pereira Filho, A.J., Karam, H.A. et al. (2018) “Effects of Explicit Urban-Canopy Representation on Local Circulations Above a Tropical Mega-City”. *Boundary-Layer Meteorology*, 166, pp. 83–111. <https://doi.org/10.1007/s10546-017-0292-8>.
- Fulgêncio-Lima, L.G., Andrade, A.F.A., Vilela, B. et al. (2021) “Invasive plants in Brazil: climate change effects and detection of suitable areas within conservation units”. *Biological Invasions*, 23, pp. 1577–1594. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02460-4>.
- Gomes, W.P., Amorim, M.C.C.T. & Dubreuil, V. (2017) “Modelagem da Ilha de Calor Urbana Aplicada ao Ambiente Litorâneo - Ubatuba/Brasil”. *Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo*, 34.
- He, Q., Yang, J., Chen, H., Liu, J., Ji, Q., Wang, Y. & Tang, F. (2021) “Evaluation of Extreme Precipitation Based on Three Long-Term Gridded Products over the Qinghai-Tibet Plateau”. *Remote Sensing*, 13(15), 3010. <https://doi.org/10.3390/rs13153010>.

- Ho, J.T., Thompson, J.R. & Brierley, C. (2016) “Projections of hydrology in the Tocantins-Araguaia Basin, Brazil: uncertainty assessment using the CMIP5 ensemble”. *Hydrological Sciences Journal*, 61(3), pp. 551–567. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1057513>.
- IPCC (2023) “Summary for Policymakers”. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.
- Islam, S., Chu, C., Smart, J.C.R. & Liew, L. (2019) “Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: a systematic literature review”. *Climate and Development*, 12(3), pp. 255–267. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1613217>.
- Johnson, K. (2001) “Brazil and the Politics of the Climate Change Negotiations”. *The Journal of Environment & Development*, 10(2), pp. 178–206. <https://doi.org/10.1177/107049650101000204>.
- Kunert, N., Aparecido, L.M.T., Higuchi, N., Santos, J. & Trumbore, S. (2015) “Higher tree transpiration due to road-associated edge effects in a tropical moist lowland forest”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, pp. 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.06.009>.
- Lall, U. (2014) “Debates—The future of hydrological sciences: A (common) path forward? One water. One world. Many climes. Many souls.” *Water Resources Research*, 50, pp. 5335–5341. <https://doi.org/10.1002/2014WR015402>.
- Lemes, M.C.R., Oliveira, G.S., Fisch, G., Tedeschi, R.G. & Silva, J.P.R. (2020) “Analysis of Moisture Transport from Amazonia to Southeastern Brazil During the Austral Summer”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(6), pp. 2650–2670. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2650-2670>.
- Marengo, J.A., Camarinha, P.I., Alves, L.M., Diniz, F. & Betts, R.A. (2021) “Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil”. *Frontiers in Climate*, 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.610433>.
- Ministério das Minas e Energia (2024) *ProjeteEEE: Glossário - Microclima*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteeee/glossario/microclima/>. Acesso em: 29 dez. 2024.
- Permanhani, M.; Costa, J.M.; Conceição, M.A.F.; Souza, R.T.; Vasconcellos, M.A.S.; Chaves, M.M. Deficit irrigation in table grape: eco-physiological basis and potential use to save water and improve quality. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.28, p.85-108, 2016.
- Pires, G.F., Abrahão, G.M., Brumatti, L.M., Oliveira, L.J.C., Costa, M.H., Liddicoat, S., Kato, E. & Ladle, R.J. (2016) “Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228–229, pp. 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>.
- Srivastava, P.K., Islam, T., Singh, S.K., Petropoulos, G.P., Gupta, M. & Dai, Q. (2016) “Forecasting Arabian Sea level rise using exponential smoothing state space models and ARIMA from TOPEX and Jason satellite radar altimeter data”. *Meteorological Applications*, 23, pp. 633–639. <https://doi.org/10.1002/met.1585>.
- Torres, R.R., Lapola, D.M., Marengo, J.A. et al. (2012) “Socio-climatic hotspots in Brazil”. *Climatic Change*, 115, pp. 597–609. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0461-1>.
- Vieira, M.A. & Dalgaard, K.G. (2013) “The energy-security–climate-change nexus in Brazil”.

Environmental Politics, 22(4), pp. 610–626.
<https://doi.org/10.1080/09644016.2013.806633>.