RESUMO EXPANDIDO
Anais do Congresso Interdisciplinar Internacional – CONIÚNICA
08 a 11 de setembro. Híbrido, Ipatinga – MG
doi.org/10.53426/con.v5i0.004

ISSN: 2965-0399 REVISTA CONEXÕES
V. 1, 2026
Revista dos cursos de Graduação e Pós-graduação da Faculdade Única de Ipatinga na modalidade EaD

GÊMEOS CLIMÁTICOS VERDE-AZUIS E JUSTIÇA SOCIOAMBIENTAL: MODELO ANALÍTICO PARA ADAPTAÇÃO MUNICIPAL A ENCHENTES E ONDAS DE CALOR

BLUE-GREEN CLIMATE DIGITAL TWINS AND SOCIO-ENVIRONMENTAL JUSTICE: AN ANALYTICAL MODEL FOR MUNICIPAL ADAPTATION TO FLOODS AND HEATWAVES

GEMELOS CLIMÁTICOS VERDE-AZULES Y JUSTICIA SOCIOAMBIENTAL: MODELO ANALÍTICO PARA LA ADAPTACIÓN MUNICIPAL A INUNDACIONES Y OLAS DE CALOR

doi.org/10.53426/con.v5i0.004

Carlos Henrique Fonseca e Silva Tavares Reto[1]
[1] Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, São Paulo-SP, carlosreto0458@gmail.com
Grupo de Trabalho: GT 4 – Meio Ambiente, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas

RESUMO

O aumento da frequência de precipitações extremas e ondas de calor impõe aos municípios brasileiros o desafio de converter dados climáticos, ambientais e sociais em decisões de adaptação territorialmente justas. Este estudo objetivou construir um modelo analítico, de natureza bibliográfica e documental, para apoiar a priorização de intervenções municipais baseadas na integração entre gêmeos digitais urbanos, infraestrutura verde-azul e justiça socioambiental. A metodologia compreendeu revisão integrativa de literatura recente sobre resiliência urbana, soluções baseadas na natureza e gêmeos digitais; análise normativa da Lei nº 14.904/2024 e de diretrizes nacionais de adaptação; e síntese categorial dos componentes necessários à gestão local do risco climático. Como resultado efetivamente obtido, sistematizou-se o Modelo de Gêmeo Climático Verde-Azul Justo, organizado em cinco camadas: perigos climáticos, condições físico-ambientais, infraestrutura crítica, vulnerabilidade socioespacial e portfólio de intervenções adaptativas. A análise indicou que o uso público de gêmeos digitais pode qualificar a decisão municipal quando permite simular cenários de alagamento, calor urbano, continuidade de serviços essenciais e distribuição social dos benefícios antes da execução dos investimentos. Também se verificou que soluções como parques inundáveis, jardins de chuva, arborização, corredores ecológicos e superfícies permeáveis devem ser avaliadas não apenas por eficiência hidrológica ou térmica, mas também por seus efeitos sobre populações vulnerabilizadas e por riscos de gentrificação verde. Conclui-se que a inovação tecnológica em adaptação climática somente adquire legitimidade pública quando articulada à transparência metodológica, à governança de dados, à participação social e à prioridade dos territórios mais expostos e menos protegidos. O modelo proposto contribui para a formulação de planos locais de adaptação compatíveis com a agenda brasileira de resiliência urbana e com a necessidade de integrar ciência, tecnologia e equidade na resposta à crise climática.

Palavras-chave: adaptação climática; gêmeos digitais urbanos; infraestrutura verde-azul; justiça climática; soluções baseadas na natureza.

INTRODUÇÃO

A mudança do clima vem ampliando riscos urbanos que não podem ser compreendidos apenas como eventos naturais. Enchentes, alagamentos e ondas de calor resultam da combinação entre perigo climático, ocupação do território, impermeabilização do solo, perda de cobertura vegetal, fragilidade de infraestruturas e desigualdades sociais acumuladas. O IPCC (2023) assinala que os impactos

ISSN: 2965-0399 REVISTA CONEXÕES
V. 1, 2026
Revista dos cursos de Graduação e Pós-graduação da Faculdade Única de Ipatinga na modalidade EaD

climáticos já afetam sistemas humanos e naturais, exigindo adaptação acelerada e socialmente orientada. No Brasil, a Lei nº 14.904/2024 determina que planos de adaptação considerem vulnerabilidade, exposição e riscos dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura.

O problema enfrentado por este trabalho reside na fragmentação dos dados utilizados pela gestão municipal. Informações climáticas, urbanísticas, sociais, sanitárias e de defesa civil costumam permanecer dispersas, dificultando a identificação dos territórios prioritários. A lacuna científica e prática consiste em integrar ferramentas digitais de simulação, soluções baseadas na natureza e critérios de justiça climática em um instrumento compreensível, auditável e aplicável ao planejamento local.

METODOLOGIA

Trata-se de estudo bibliográfico-documental, qualitativo e exploratório, com finalidade analítico-propositiva. A revisão concentrou-se em literatura sobre resiliência urbana, gêmeos digitais, soluções baseadas na natureza, drenagem sustentável e justiça climática. A análise documental examinou a Lei nº 14.904/2024, diretrizes federais de adaptação e o Programa Cidades Verdes Resilientes. A etapa de análise adotou síntese categorial, agrupando achados em dimensões técnicas e socioambientais. O resultado foi consolidado em matriz própria de decisão, sem emprego de entrevistas, dados primários ou simulações empíricas, preservando a coerência entre método, resultados e conclusão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise resultou na formulação do Modelo de Gêmeo Climático Verde-Azul Justo. O modelo articula cinco camadas: perigos climáticos; base físico-ambiental; infraestrutura crítica; vulnerabilidade socioespacial; e intervenções adaptativas. Essa organização permite que o município deixe de tratar enchentes e calor extremo como problemas isolados e passe a reconhecer interdependências entre drenagem, saúde, mobilidade, energia, habitação e proteção social.

Quadro 1 – Síntese do modelo analítico proposto

Camada	Pergunta decisória	Produto esperado
Perigo climático	Onde enchente e calor tendem a ocorrer?	Mapa de exposição
Vulnerabilidade	Quem sofrerá maior dano?	Mapa de prioridade social
Infraestrutura crítica	Que serviços podem falhar?	Mapa de continuidade
Intervenções	Que solução reduz risco com justiça?	Carteira verde-azul priorizada

Fonte: elaboração própria, a partir da revisão bibliográfica e documental.

O primeiro achado é que os gêmeos digitais urbanos podem funcionar como infraestrutura pública de decisão, desde que não sejam reduzidos a visualizações tecnológicas. Estudos recentes indicam que tais ferramentas auxiliam a modelagem de complexidade, a simulação de futuros possíveis e a colaboração entre atores (THERIAS; RAFIEE, 2023). No campo climático, seu valor está em testar previamente cenários de chuva intensa, ilhas de calor, interrupção de serviços e efeitos combinados sobre comunidades vulnerabilizadas.

O segundo achado é que a infraestrutura verde-azul oferece respostas multifuncionais: infiltra água, reduz escoamento superficial, amplia sombreamento, favorece biodiversidade e cria espaços de

ISSN: 2965-0399 REVISTA CONEXÕES
V. 1, 2026
Revista dos cursos de Graduação e Pós-graduação da Faculdade Única de Ipatinga na modalidade EaD

convivência. Contudo, a literatura alerta que soluções ambientais podem aprofundar desigualdades quando valorizam áreas sem proteger moradores de baixa renda. Assim, parques inundáveis, jardins de chuva, arborização e corredores ecológicos devem ser avaliados por desempenho climático e por distribuição social de benefícios e ônus.

O terceiro achado é a necessidade de um índice de priorização transparente. Propõe-se avaliar cada território por exposição climática, sensibilidade social, criticidade dos serviços, déficit de infraestrutura verde-azul e capacidade adaptativa. A prioridade deve recair sobre locais em que maior risco físico coincida com menor proteção institucional. Esse procedimento dialoga com a Lei nº 14.904/2024, que orienta a priorização de medidas conforme vulnerabilidade e exposição, e com a agenda federal de cidades resilientes.

Ver quadro 1.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a adaptação climática municipal exige integração entre ciência de dados, ecologia urbana e justiça socioambiental. O modelo proposto oferece uma matriz de leitura e priorização capaz de apoiar planos locais de adaptação sem substituir a deliberação pública. Sua principal contribuição é explicitar que a melhor intervenção não é apenas a que reduz maior volume de água ou temperatura, mas a que reduz riscos onde a vulnerabilidade é maior. Como limitação, o estudo não realizou validação empírica em município específico. Recomenda-se aplicação futura do modelo em estudo de caso, com dados geoespaciais, oficinas comunitárias e avaliação de desempenho das soluções implementadas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 14.904, de 27 de junho de 2024. Estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 jun. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Programa Cidades Verdes Resilientes. Brasília, DF: MMA, 2024.

CHU, E. et al. An evaluation of U.S. cities' efforts to further distributive justice in climate adaptation planning. npj Urban Sustainability, v. 5, art. 41, 2025. DOI: 10.1038/s42949-025-00237-5.

ESRAZ-UL-ZANNAT, M.; DEDEKORKUT-HOWES, A.; MORGAN, E. A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation. WIREs Climate Change, v. 15, n. 5, 2024. DOI: 10.1002/wcc.889.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

PAN, X. et al. Assessing and forecasting collective urban heat exposure with smart city digital twins. Scientific Reports, v. 14, art. 9653, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-59228-8.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva et al. Qualidade físico-química entre sistema de tratamento de água e áreas de vulnerabilidade. Caderno Pedagógico, v. 21, n. 4, e3747, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n4-085.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva; FONSECA, Ronald Assis; LOUBACK, Geisa Corrêa; SIQUEIRA, Moisés Luiz Gomes; CAMARGO, Isabela Fernanda Leite Gomes; CICARINI, Sthéfany Rhodes; TEIXEIRA, Débora Rith Costa; TEIXEIRA, Danubia da Costa. SbN em perspectiva: por que precisamos de um conceito padronizado. ARACÊ, v. 7, n. 9, e8553, 2025. DOI: 10.56238/arev7n9-297. Disponível em: https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/8553. Acesso em: 1 out. 2026.

ISSN: 2965-0399 REVISTA CONEXÕES
V. 1, 2026
Revista dos cursos de Graduação e Pós-graduação da Faculdade Única de Ipatinga na modalidade EaD

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva; FONSECA, Ronald Assis; RODRIGUES, Kleber Ramon; PEREIRA, Márcia Meryllis Alves; MARTINS, Daniel William Ferreira; MENDES, Gustavo Nicholas Gonçalves; FERREIRA, Juliane Andrade. Geoprocessamento integrado no monitoramento do uso do solo e da expansão urbana. Revista de Geopolítica, v. 16, n. 4, e736, 2025. DOI: 10.56238/revgeov16n4-091.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva; GARCIA, Joan; SUBTIL, Eduardo Lucas. Reliability-Based Evaluation of the Robustness of Constructed Wetlands for Sustainable Sanitation: Implications for Design and Operation. Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation, v. 98, n. 9, p. e70572, 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/wer.70572

THERIAS, A.; RAFIEE, A. City digital twins for urban resilience. International Journal of Digital Earth, v. 16, n. 2, p. 4164-4190, 2023. DOI: 10.1080/17538947.2023.2264827.