

DA SUCESSÃO ECOLÓGICA À INFRAESTRUTURA CÍVICA DIGITAL: DIRETRIZES INSPIRADAS NA REGENERAÇÃO DE CORAIS PARA A SUSTENTABILIDADE EM RECIFE

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho dá continuidade às reflexões apresentadas no artigo “*Regeneração de Corais e Participação Popular: fundamentos conceituais para a sustentabilidade em Recife*”. Na pesquisa anterior, o foco esteve nos fundamentos conceituais da regeneração de corais e sua relação com a ação comunitária, aqui o esforço recai sobre como essa lógica pode orientar o desenho de ferramentas digitais voltadas à sustentabilidade em contextos urbanos vulneráveis.

O Recife, cuja identidade remete aos recifes de corais que margeiam sua costa, foi apontado pelo IPCC (2007) como um dos municípios mais vulneráveis às mudanças climáticas. Essa vulnerabilidade se evidenciou em graves episódios de inundações e deslizamentos de terras (MARENGO *et al.*, 2023, p.14), além dos riscos crescentes de ondas de calor, elevação do nível do mar e doenças transmissíveis (RECIFE, 2019).

A limitação da participação cidadã nas políticas ambientais do Recife representa mais um desafio. Embora o engajamento cívico seja reconhecido como condição essencial para o avanço de soluções sustentáveis (WALKER, B.Y; LUIS C, 2023), ainda é necessário, fortalecer a articulação entre atores governamentais e não governamentais e ampliar a participação da sociedade civil nas decisões e projetos da cidade (TURMENA *et al.* 2023).

A regeneração de corais, descrita com base no mecanismo da sucessão ecológica por facilitação (CONNELL; SLATYER, 1977), envolve um processo gradual em que recifes danificados são inicialmente ocupados por espécies pioneiras que transformam o ambiente e criam condições favoráveis ao estabelecimento de formas de vida mais complexas. A resiliência e a estabilidade de longo prazo do ecossistema dependem da diversidade progressiva de espécies, responsável por assegurar a funcionalidade e o equilíbrio coralino.

Este processo natural aliado aos aprendizados da regeneração por intervenção humana, converge com recomendações para engajamento na ação sustentável das ciências do clima e outros campos, destacando o protagonismo das ações locais, a valorização de saberes comunitários, a descentralização das iniciativas e o fortalecimento dos vínculos afetivos com o território. Essa abordagem dialoga com perspectivas que defendem a reintegração dos humanos e seres não-humanos para imaginar novos modos de vida (COCCIA, 2022).

A questão orientadora deste estudo é como traduzir a lógica incremental, adaptativa e colaborativa dos recifes em diretrizes operacionais para plataformas digitais capazes de responder em contextos urbanos vulneráveis. O meio digital é tido como um espaço estratégico para potencializar o engajamento cívico, ampliando a conectividade, o acesso à informação e possibilitando a ação coletiva (LOPES *et al.*, 2014). Pretende-se, assim, contribuir para a construção de infraestruturas cívicas digitais que fortaleçam a ação coletiva diante da crise climática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTEGRAÇÃO: REGENERAÇÃO CORALINA E RECOMENDAÇÕES INTERDISCIPLINARES PARA ENGAJAMENTO SUSTENTÁVEL

A sucessão ecológica por facilitação descreve a dinâmica pela qual espécies pioneiras - geralmente mais resistentes e de rápido crescimento - criam condições ambientais que possibilitam a chegada e a permanência de organismos mais complexos (CONNELL;

SLATYER, 1977). O *Ocean Citizen* (2024) descreve a recuperação natural dos recifes em Tenerife (ES) em três fases: (1) colonização por espécies pioneiras de rápido crescimento (2) aumento da densidade e diversidade com espécies mais complexas e (3) estabilização do ecossistema em estágio de clímax. O processo ilustra a formação gradual das comunidades marinhas até o equilíbrio ecológico.

Entretanto, as mudanças climáticas têm comprometido a resiliência dos recifes e colocam em dúvida seus limites de adaptação natural. Nesse cenário, estratégias de restauração por intervenções humanas - como transplante de corais e propagação larval - têm avançado significativamente, com a importância das metodologias de ‘falha rápida’, que geram inovações e cooperação mesmo diante de limitações (PEIXOTO *et al.*, 2024). Para Pessoa (2025), a restauração eficaz requer métodos flexíveis e adaptados ao contexto local, como demonstra o programa *Coral for Conservation*, que capacita comunidades das ilhas do Pacífico e fortalece a gestão tradicional indígena de áreas marinhas protegidas.

Ao aproximar essa leitura ecológica de debates interdisciplinares sobre sustentabilidade e participação, identificam-se importantes pontos de convergência. As ciências do clima têm enfatizado a urgência da ação local, da educação ambiental e da criação de vínculos comunitários como estratégias de enfrentamento da crise (IPCC, 2023; UNESCO, 2019). No Design, autores como Mckersher (2020) e Manzini (2015) defendem abordagens participativas, através de dinâmicas inclusivas que articulem especialistas e cidadãos comuns engajados em soluções sociais. Assim como a diversidade garante a estabilidade dos recifes, a multiplicidade de atores sociais (coletivos culturais, escolas, associações de bairro) sustenta a sustentabilidade urbana, com movimentos locais atuando como ‘espécies pioneiras’ que iniciam práticas de engajamento e possibilitam processos mais amplos quando apoiados por mecanismos de facilitação que reduzam barreiras de entrada.

Outro elemento de convergência é o papel do território como substrato de engajamento. Tal como os recifes se estruturam em superfícies específicas, a sustentabilidade enraíza-se em territórios concretos - como bairros e escolas - onde vínculos de confiança e pertencimento se fortalecem, sendo a comunicação entre pares percebida como mais legítima (EDELMAN, 2024). Nesse sentido, Krenak destaca a centralidade do cuidado com o entorno imediato como ponto de partida para a sustentabilidade, enquanto a pedagogia crítica de Freire reforça a realidade concreta como referência fundamental para impulsionar transformações sociais (INFANTE, 2022; FREIRE, 2023).

Por fim, ressalta-se a importância da diversidade de estratégias comunicacionais, que combinem realismo quanto aos riscos ambientais e narrativas positivas de futuro (WALKER; LUIS, 2023). O equilíbrio entre urgência e esperança torna o engajamento atraente, assim como, nos recifes, a regeneração depende da capacidade das espécies pioneiras de criar um ambiente propício a novas formas de vida.

Dessa forma, ao integrar a metáfora da sucessão ecológica com recomendações oriundas de diferentes áreas do conhecimento, delinea-se um quadro conceitual que privilegia incrementalidade, diversidade e territorialização como pilares do engajamento sustentável.

2.2 TECNOLOGIAS DIGITAIS E SUSTENTABILIDADE

As tecnologias digitais estão cada vez mais presentes na vida humana, expandindo-se de dispositivos móveis ao comércio eletrônico, serviços públicos e processos de gestão (SONG *et al.*, 2023). No enfrentamento de problemas complexos e em cenários de constante mutação, destaca-se a chamada “abordagem tríplice” (NEVES *et al.*, 2023), que propõe integrar inteligência individual, social e artificial, aproveitando a expertise humana, o conhecimento coletivo e a capacidade analítica da IA para apoiar decisões mais eficazes. O potencial da IA pode ser explorado para organizar dados ambientais, fortalecer o

planejamento climático, otimizar processos produtivos, fomentar ecossistemas colaborativos e incentivar comportamentos positivos (BCG, 2022).

As redes sociais também assumem papel central ao ampliar o ativismo e permitir ao cidadão comum se tornar agente ativo da transformação (LOPES *et al.*, 2014). Pesquisa da *Economist Intelligence Unit* (EIU, 2021) confirma esse papel, ao mostrar que um número crescente de pessoas utiliza plataformas digitais para expressar opiniões, mobilizar ações e difundir causas socioambientais. Paralelamente, tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) são incorporadas ao planejamento urbano, como mostra Mazzarello *et al.* (2021), ressaltando, porém, a necessidade de adequar dados e soluções ao contexto local para evitar a simples sobreposição de camadas digitais ao espaço físico.

Outro vetor relevante é a gamificação, que aplica elementos de jogos - como regras, recompensas, desafios e colaboração - em atividades não lúdicas, promovendo motivação e engajamento (SAILER, 2017; RONZHYN *et al.*, 2020). No *Workshop Cidade Digital*, do MIT Senseable Lab em parceria com Laval (Canadá), destaca-se o app *MinecARft*, proposto pelo estudante Zihui Zhang, que utiliza gamificação e convida usuários a participarem da transformação de um parque da cidade. No app, o usuário recebe missões para explorar o parque, com a opção de projetar com o apoio de um catálogo de móveis e materiais - o seu “cyber parque”, sugerindo novos serviços ou melhorias no espaço. Por último, eles têm a opção de enviar seus trabalhos para o sistema depois de concluído.

Todavia, o ciberespaço também apresenta riscos: corrida pela atenção, desinformação, polarização e vício digital prejudicam a cooperação social (CHT, 2021). Por isso, a aplicação das tecnologias digitais deve ser orientada por princípios de ética e inclusão, como adverte Steiner (apud VITALLI; YOLANDA, 2023): cabe às sociedades decidir se a tecnologia será uma força para o bem ou um fator de divisão.

3. METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e exploratória, estruturada a partir da análise documental, revisão bibliográfica e exercício de analogia conceitual. O ponto de partida consistiu em revisar o artigo anterior (“Regeneração de Corais e Participação Popular”), sistematizando seus fundamentos sobre sucessão ecológica e engajamento comunitário, para posteriormente integrar novas referências relacionadas ao campo das tecnologias digitais.

O método baseou-se na seleção de estudos recentes sobre restauração coralina, engajamento climático e inovação digital, incluindo relatórios internacionais, pesquisas acadêmicas e experiências locais, além de autores de referência em design participativo e pedagogia crítica, a fim de compreender processos colaborativos de transformação social.

A partir desse material, foi realizada uma análise comparativa entre os princípios da regeneração coralina e os mecanismos de participação cidadã em plataformas digitais. Essa análise orientou a elaboração de oito diretrizes operacionais, que funcionam como hipóteses conceituais para orientar soluções digitais voltadas à sustentabilidade no Recife.

4. DIRETRIZES PARA SOLUÇÕES DIGITAIS DE ENGAJAMENTO CÍVICO

A partir da metáfora da sucessão ecológica e das recomendações contemporâneas sobre engajamento sustentável, foram sistematizadas diretrizes operacionais para orientar o desenvolvimento de soluções digitais em Recife.

1. Reconhecer e apoiar sujeitos facilitadores

Assim como espécies pioneiras viabilizam a regeneração de corais, coletivos comunitários e

lideranças locais devem ser fortalecidos com ferramentas digitais, formação técnica e canais institucionais que ampliem sua capacidade de catalisar ações sustentáveis.

2. Começar pequeno, agir localmente

A lógica das microssoluções - práticas incrementais e territorializadas - deve inspirar o design digital. Aplicativos e plataformas precisam nascer de demandas específicas de bairros ou comunidades, escalando gradualmente conforme os resultados positivos.

3. Reduzir barreiras de acesso e participação

Interfaces intuitivas, linguagem acessível e conectividade gratuita em pontos estratégicos são condições para incluir populações em situação de vulnerabilidade digital. A participação só é efetiva quando acompanhada de medidas de inclusão tecnológica.

4. Valorizar a diversidade de atores sociais

Para evitar uma “monocultura” digital, é fundamental promover a entrada contínua de diferentes perfis de usuários. Ferramentas devem acolher ritmos, motivações e repertórios variados, permitindo que novos públicos se somem aos já mobilizados.

5. Promover vínculos afetivos com o território

Soluções digitais podem estimular o apego ao lugar por meio de cartografias afetivas, registros comunitários e visualizações de dados georreferenciados. Tais experiências aproximam identidade cultural, natureza e engajamento ambiental.

6. Usar gamificação significativa

Elementos de jogos - como missões, recompensas e progressão coletiva - podem aumentar o engajamento cívico. Quando aplicados de forma contextualizada, tornam-se um incentivo criativo para estimular práticas sustentáveis no cotidiano.

7. Adotar estratégias iterativas de “falha rápida”

Inspiradas na restauração de corais, ferramentas digitais devem incorporar ciclos de teste, ajuste e reaplicação. Laboratórios comunitários digitais podem funcionar como espaços seguros de experimentação, permitindo que a população participe do design e da avaliação de soluções.

8. Conectar saberes tradicionais e inovação digital

Tecnologias abertas e adaptáveis devem articular conhecimentos ancestrais, comunitários e científicos, garantindo equidade e legitimidade social. Essa convergência amplia a confiança e gera soluções culturalmente situadas.

Por fim, recomenda-se que as plataformas digitais sejam concebidas de forma colaborativa, incorporando diferentes saberes e experiências, em processos de design participativos. (MCKERSHER, 2020; MANZINI, 2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo traduziu a lógica da sucessão ecológica dos corais em diretrizes para o desenho de infraestruturas digitais de engajamento cívico em Recife. A integração entre ecologia, ciências sociais e tecnologias digitais evidenciou a relevância de fortalecer atores locais, vínculos territoriais e a diversidade de saberes, mostrando que a metáfora coralina inspira soluções que unem técnica, cultura e afeto.

As diretrizes apontam para plataformas acessíveis e inclusivas, que valorizem microssoluções, ciclos iterativos de ‘falha rápida’ e gamificação contextualizada, sempre em diálogo com as comunidades. Apesar de seu caráter teórico, a proposta ressalta que a efetividade dessas soluções depende de processos colaborativos de design participativo, nos quais cidadãos e instituições compartilham responsabilidades.

7 REFERÊNCIAS

BCG. *How AI can be a powerful tool in the fight against climate change*. Relatório. 2022. Disponível em: <https://www.aifortheplanet.org>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CHT. *Ledger of harms*. 2021. Disponível em: <https://ledger.humanetech.com/>. Acesso em 10 dez. 2024.

COCCIA, E. **Prefácio**. 2022. In: TIRONI, M; CHILET, M; URETA MARÍN, C; HERMANSEN, P. *Design for more-than-human futures: towards post-anthropocentric worlding*. Nova York: Routledge. 2024.

CONNELL, J. H.; SLATYER, R. O. *Mechanisms of succession in natural communities*. The American Naturalist, 1977.

EDELMAN. **2023 Edelman Trust Barometer**: Relatório Especial - Confiança e as Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://www.edelman.com.br>. Acesso em: 27 nov. 2024.

EIU. **Um Ecodespertar**. *The Economist Intelligence Unit*, 2021. Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/wwf_eco045_report_on_nature_pt.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

FREIRE, P. **Educação e mudança**. 49. ed. 1921–1997. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2023.

INFANTE, M. **3 lições de Ailton Krenak para quem vive na cidade**. 2022. Disponível em: <https://maisainfante.substack.com>. Acesso em: 14 dez. 2024.

IPCC. *Climate Change 2023 Synthesis Report*. Relatório. Genebra, Suíça, 2023.

IPCC. *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 2007. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch13s13-2-2.html. Acesso em 5 jul. 2025.

LOPES, *et al.* **Geração Internet**: quem são e para que vieram. Um estudo de caso. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/924/92430866002.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* **Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022**: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, v. 39, 2023.

MANZINI, E. *Design, When Everybody Designs: An Introduction to Design for Social Innovation*. MIT Press: Cambridge, Massachusetts, 2015.

MAZZARELLO, M; DUARTE, F; MORA, S; ALVAREZ, R; RATTI, C. **Fostering Urban Digital Integrated Systems**: The Case of Carrè Laval, Canada. *Landscape Architecture Frontiers*, v. 9, n. 5, p. 132-139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-LAF-1-050039>.

MCKERCHER, K. A. *Beyond sticky notes: Doing co-design for real: Mindsets, Methods, and Movements*. 1st Edn. Inscope Books: Austrália, 2020.

NEVES, A; CALEGARIO, F; BELFORT, R; MEIRA, S; GARCIA, V. **Inteligências individual, social e artificial: um novo espaço estratégico para criar, colaborar e agir**. Recife: TDS.company, 2023. 90 f.

OCEAN CITIZEN. *Ecological Succession In Marine Environments*. 2024. Disponível em: <https://oceancitizen.eu/news/ecological-succession-in-marine-environments/> Acesso em 10 mai. 2025.

PEIXOTO, R.S., VOOLSTRA, C.R., BAUMS, I.B. *et al.* **The critical role of coral reef restoration in a changing world**. *Nat. Clim. Chang.* 14, 1219–1222 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s41558-024-02202-z>

PESSOA, I. **Bridging the gap**: restoring the future of coral reefs. *Cell Reports Sustainability*, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 100363, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2025.100363>. Acesso em: 3 mai. 2025

RECIFE. **Análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e estratégia de adaptação do município do Recife – PE**: resumo para tomadores de decisão. Recife: Prefeitura do Recife, 2019. Disponível em:
http://www2.recife.pe.gov.br/sites/default/files/sumario_clima_recife_portugues.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.

RONZHYN, A, *et al.* **Gamification in public service provisioning**: Investigation of research needs. In: The 21st Annual International Conference on Digital Government Research. 2020. p. 294-300.

SAILER, M. *et al.* **How gamification motivates**: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, v. 69, 2017.

SONG, Z.; MISHRAB, A.; SAEIDI, S. **Technological capabilities in the era of the digital economy for integration into cyber-physical systems and the IoT using decision-making approach**. *Journal of Innovation & Knowledge*, v. 8, n. 2, 2023.

TURMENA, L; LUSIEUX, A; SANDHOLZ, S; GUERRA, F; ROLL, M. **Perfis da Cidade do TUC nº 4: Recife, Brasil**. Bonn: Universidade das Nações Unidas – Instituto de Meio Ambiente e Segurança Humana (UNU-EHS), 2023.

UNESCO. **Mudança climática**: o desafio ético. *O Correio da Unesco*, nº 3, jul/set, 2019. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370032_por. Acesso em: 1.jul. 2025.

UNICEF. **Vulnerabilidade ambiental do Recife: como a sociedade é impactada?** 2023. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/blog/vulnerabilidade-ambiental-do-recife>. Acesso em: 1jul. 2025.

VITALII, Z.; YOLANDA, M. **Three ways digital transformation accelerates sustainable and inclusive development**. 2023. Disponível em:
<https://www.undp.org/blog/three-ways-digital-transformation-accelerates-sustainable-and-inclusive-development>. Acesso em 25 jun. 2025.

WALKER, B. Y.; LUIS, C. **Make something wonderful for the climate**. 2023. Disponível em: <https://www.ideo.com/journal/make-something-wonderful-for-the-climate>. Acesso em: 28 nov. 2024.