

PLANEJAMENTO URBANO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL – O USO DE IA COMO MEDIADORA EM “ECOLOGIAS DE DECISÃO” DISTRIBUÍDA ENTRE DADOS

URBAN PLANNING AND ENVIRONMENTAL LICENSING – THE USE OF AI AS A MEDIATOR IN “DECISION ECOLOGIES” DISTRIBUTED ACROSS DATA

PLANIFICACIÓN URBANA Y LICENCIAMIENTO AMBIENTAL – EL USO DE LA IA COMO MEDIADORA EN “ECOLOGÍAS DE DECISIÓN” DISTRIBUIDAS ENTRE DATOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n9-058>

Data de submissão: 04/08/2025

Data de publicação: 04/09/2025

Valdemir Fonseca da Silva

Doutorando em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Endereço: Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: valdemir.fonseca@acad.ufsm.br

Antonio Fluminhan

Doutor em Agricultural Sciences

Instituição: Tohoku University

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: antoniofluminhan@gmail.com

Hidelano Delanusse Theodoro

Pós-Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Endereço: Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: hidelano2016@gmail.com

Adriana de Sá Leite de Brito

Doutora em Geografia

Instituição: Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Endereço: Ceará, Brasil

E-mail: adriana.leite@uece.br

Felipe Piancatelli

Doutorando em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: f197806@dac.unicamp.br

Rhafic Concolato da Silva

Doutorando em Geografia

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: silva.rhafic@posgraduacao.uerj.br

Isabôhr Mizza Veloso dos Santos

Doutora em Geografia

Instituição: Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Endereço: Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: isabohr.mizza@ufu.br

Rafael Rodrigues Duque

Especialista em Recursos Renováveis

Instituição: Centro Universitário Única (UniÚnica)

Endereço: Bahia, Brasil

E-mail: rafael.duque@ufob.edu.br

Bruno Henrique Gomes

Doutor em Genética e Bioquímica

Instituição: Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Endereço: Minas Gerais, Brasil

E-mail: b.hgomes@hotmail.com

Marcelo Martins Farias

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA, Campus Bragança)

Endereço: Pará, Brasil

E-mail: marcelo.farias@ifpa.edu.br

Ana Flávia Costa Eccard

Doutora em Filosofia e Direito

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Santa Catarina, Brasil

E-mail: anaeccard@gmail.com

Luana Beatriz Sales Pinon

Doutoranda em Ecologia Aquática e Pesca

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)

Endereço: Pará, Brasil

E-mail: luana.sales99@gmail.com

Sinara Martins Camelo

Doutora em Engenharia Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Endereço: Paraíba, Brasil

E-mail: martinscamelosi@gmail.com

Fábio Belemer Pereira
Especialista em Indústria 4.0
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: fbelemer@outlook.com

Milane de Vasconcelos Caldeira Tavares
Especialista Internacional em Segurança Pública
Instituição: Universidade do Estado da Bahia (UNEBA)
Endereço: Bahia, Brasil
E-mail: mdvct77@hotmail.com

Líverny Maria Furtado Chaves
Graduada em Arquitetura e Urbanismo
Instituição: Centro universitário Paraíso (UniFAP)
Endereço: Ceará, Brasil.
E-mail: livernyarq@gmail.com

José Hiago Bezerra Alves
Graduando em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: hiagoalves.engcivil@gmail.com

RESUMO

O planejamento urbano contemporâneo enfrenta o desafio de integrar variáveis ambientais, sociais e econômicas em contextos de crescente complexidade e conflito de interesses. O licenciamento ambiental, por sua vez, tornou-se um dos principais instrumentos de regulação dessa relação entre ocupação territorial e preservação ecológica, demandando processos cada vez mais transparentes, participativos e tecnicamente qualificados. Nesse cenário, as tecnologias de inteligência artificial (IA) emergem como ferramentas capazes de atuar como mediadoras em “ecologias de decisão”, distribuindo a análise entre múltiplas fontes de dados, cenários simulados e perspectivas de atores sociais. Mais do que automatizar etapas, a IA pode potencializar processos de negociação e de visualização de impactos, ampliando a capacidade dos gestores públicos, especialistas e comunidades de compreender e intervir sobre os dilemas do desenvolvimento urbano. O objeto de estudo deste artigo é o uso da inteligência artificial como mediadora em processos decisórios vinculados ao planejamento urbano e ao licenciamento ambiental, entendendo a IA não como substituta da deliberação humana, mas como um agente de articulação entre diferentes fluxos de informação. A investigação busca compreender em que medida a IA pode favorecer práticas de governança distribuída, alinhando a tomada de decisão a princípios de sustentabilidade, justiça ambiental e participação democrática. A pergunta de partida que orienta a pesquisa é: como a inteligência artificial pode operar como mediadora em ecologias de decisão distribuídas, ampliando a transparência, a eficácia e a legitimidade nos processos de planejamento urbano e de licenciamento ambiental? Teoricamente, fizemos uso dos trabalhos de Russell e Norvig (1995; 2002; 2010), Derrible (2019; 2025), Mayer-Schönberger e Cukier (2014), Yigitcanlar (2024), Hu e Gao (2023), Bostrom (2014), Floridi (2013; 2019), Kitchin (2014; 2021), Zuboff (2019), Kabir et al. (2021), Hidayat e Satwiko (2021), Brynjolfsson e McAfee (2014; 2017), entre outros. A pesquisa é de natureza qualitativa (Minayo, 2008), bibliográfica e descritiva (Gil, 2008) e com viés analítico comrensivo (Weber, 1949). Os achados da pesquisa evidenciam que a inteligência artificial, quando utilizada como

mediadora no planejamento urbano e no licenciamento ambiental, amplia a transparência ao organizar e disponibilizar dados de forma acessível, aumenta a eficácia ao permitir simulações preditivas e análises em tempo real e fortalece a legitimidade ao incluir múltiplos atores sociais no processo decisório. Observou-se que os obstáculos, como custos, qualidade de dados e arcabouço legal, podem ser superados mediante governança participativa, capacitação técnica e marcos regulatórios adequados. Em linhas gerais, a IA mostra-se não apenas como recurso tecnológico, mas como instrumento de justiça ambiental, sustentabilidade e democratização da informação.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Planejamento Urbano. Licenciamento Ambiental. Governança Democrática.

ABSTRACT

Contemporary urban planning faces the challenge of integrating environmental, social, and economic variables in contexts of increasing complexity and conflicting interests. Environmental licensing, in turn, has become one of the main regulatory instruments mediating the relationship between land use and ecological preservation, demanding processes that are increasingly transparent, participatory, and technically qualified. In this context, artificial intelligence (AI) technologies emerge as tools capable of acting as mediators in “decision ecologies,” distributing analysis across multiple data sources, simulated scenarios, and stakeholder perspectives. More than simply automating steps, AI can enhance processes of negotiation and impact visualization, expanding the ability of public managers, experts, and communities to understand and intervene in the dilemmas of urban development. The object of study of this article is the use of artificial intelligence as a mediator in decision-making processes related to urban planning and environmental licensing, understanding AI not as a substitute for human deliberation, but as an agent articulating different flows of information. The research seeks to understand to what extent AI can foster distributed governance practices, aligning decision-making with principles of sustainability, environmental justice, and democratic participation. The guiding research question is: how can artificial intelligence operate as a mediator in distributed decision ecologies, enhancing transparency, effectiveness, and legitimacy in urban planning and environmental licensing processes? Theoretically, we draw on the works of Russell and Norvig (1995; 2002; 2010), Derrible (2019; 2025), Mayer-Schönberger and Cukier (2014), Yigitcanlar (2024), Hu and Gao (2023), Bostrom (2014), Floridi (2013; 2019), Kitchin (2014; 2021), Zuboff (2019), Kabir et al. (2021), Hidayat and Satwiko (2021), Brynjolfsson and McAfee (2014; 2017), among others. The research is qualitative in nature (Minayo, 2008), bibliographic and descriptive (Gil, 2008), and follows a comprehensive analytical approach (Weber, 1949). The findings show that artificial intelligence, when used as a mediator in urban planning and environmental licensing, enhances transparency by organizing and making data accessible, increases effectiveness by enabling predictive simulations and real-time analysis, and strengthens legitimacy by including multiple social actors in the decision-making process. It was observed that obstacles such as costs, data quality, and legal frameworks can be overcome through participatory governance, technical capacity building, and appropriate regulatory frameworks. Overall, AI emerges not only as a technological resource but also as an instrument of environmental justice, sustainability, and democratization of information.

Keywords: Artificial Intelligence. Urban Planning. Environmental Licensing. Democratic Governance.

RESUMEN

La planificación urbana contemporánea enfrenta el desafío de integrar variables ambientales, sociales y económicas en contextos de creciente complejidad y conflictos de intereses. El licenciamiento ambiental, a su vez, se ha convertido en uno de los principales instrumentos de regulación de la

relación entre ocupación territorial y preservación ecológica, exigiendo procesos cada vez más transparentes, participativos y técnicamente calificados. En este escenario, las tecnologías de inteligencia artificial (IA) emergen como herramientas capaces de actuar como mediadoras en “ecologías de decisión”, distribuyendo el análisis entre múltiples fuentes de datos, escenarios simulados y perspectivas de actores sociales. Más que automatizar etapas, la IA puede potenciar procesos de negociación y visualización de impactos, ampliando la capacidad de gestores públicos, especialistas y comunidades para comprender e intervenir en los dilemas del desarrollo urbano. El objeto de estudio de este artículo es el uso de la inteligencia artificial como mediadora en procesos decisarios vinculados a la planificación urbana y al licenciamiento ambiental, entendiendo la IA no como sustituta de la deliberación humana, sino como un agente de articulación entre diferentes flujos de información. La investigación busca comprender en qué medida la IA puede favorecer prácticas de gobernanza distribuida, alineando la toma de decisiones con principios de sostenibilidad, justicia ambiental y participación democrática. La pregunta de partida que orienta la investigación es: ¿cómo puede la inteligencia artificial operar como mediadora en ecologías de decisión distribuidas, ampliando la transparencia, la eficacia y la legitimidad en los procesos de planificación urbana y licenciamiento ambiental? Teóricamente, nos apoyamos en los trabajos de Russell y Norvig (1995; 2002; 2010), Derrible (2019; 2025), Mayer-Schönberger y Cukier (2014), Yigitcanlar (2024), Hu y Gao (2023), Bostrom (2014), Floridi (2013; 2019), Kitchin (2014; 2021), Zuboff (2019), Kabir et al. (2021), Hidayat y Satwiko (2021), Brynjolfsson y McAfee (2014; 2017), entre otros. La investigación es de carácter cualitativo (Minayo, 2008), bibliográfica y descriptiva (Gil, 2008) y con un enfoque analítico comprensivo (Weber, 1949). Los hallazgos evidencian que la inteligencia artificial, cuando se utiliza como mediadora en la planificación urbana y el licenciamiento ambiental, amplía la transparencia al organizar y poner a disposición los datos de forma accesible, aumenta la eficacia al permitir simulaciones predictivas y análisis en tiempo real, y fortalece la legitimidad al incluir múltiples actores sociales en el proceso de decisión. Se observó que los obstáculos, como costos, calidad de los datos y marcos legales, pueden superarse mediante gobernanza participativa, capacitación técnica y marcos regulatorios adecuados. En términos generales, la IA se muestra no solo como un recurso tecnológico, sino como un instrumento de justicia ambiental, sostenibilidad y democratización de la información.

Palabras clave: Inteligencia Artificial. Planificación Urbana. Licenciamiento Ambiental. Gobernanza Democrática.

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO MEDIADORA EM ECOLOGIAS DE DECISÃO – DESAFIOS E POSSIBILIDADES NO PLANEJAMENTO URBANO E NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Quando pensamos no cenário contemporâneo do planejamento urbano, torna-se evidente que ele está cada vez mais atravessado por uma multiplicidade de fatores que o tornam complexo, desafiador e marcado por constantes disputas de interesse. Trata-se, portanto, de um campo em que se cruzam variáveis sociais, econômicas e ambientais, mas também políticas, culturais e tecnológicas, compondo uma teia de tensões que exigem novos modos de análise e de regulação. Assim, cabe ressaltar que essa complexidade não se restringe ao âmbito técnico ou jurídico, mas envolve também a dimensão da governança e da participação social, já que diferentes grupos reivindicam legitimidade sobre o uso e a transformação do espaço urbano. Nesse sentido, Brynjolfsson e McAfee (2014) observam que “[...] as tecnologias digitais eram incrivelmente ineficazes em muitas dessas tarefas por muito tempo – e então, de repente, se tornaram muito boas” (p. 57), o que demonstra como as inovações digitais conseguem, em curtos períodos de tempo, alterar profundamente processos enraizados de gestão e decisão. Por isso, convém observar que Kitchin (2014, p. 3) adverte que “[...] os dados são onipresentes; eles estão moldando discursos, políticas e práticas em nossas salas de guerra, em nossas salas de reunião, em nossas salas de aula, em nossas salas de cirurgia e até mesmo em torno de nossas mesas de jantar”, mostrando que a vida urbana, em sua totalidade, já não pode mais ser dissociada da influência dos fluxos massivos de informação. Em consequência disso, pode-se afirmar que o planejamento urbano se torna, a cada dia, mais dependente da mediação tecnológica, ao mesmo tempo em que é pressionado por disputas sociais e ambientais, demandando abordagens integradas e mais democráticas para lidar com essa nova realidade.

À medida que as cidades se tornam mais digitalmente transformadas e continuam a enfrentar enormes complexidades econômicas, sociais, ambientais e de governança, surge a necessidade de a inteligência artificial apoiar as práticas de planejamento urbano. Como afirmam Popelka et al. (2023, p. 13), “[...] o impacto real da IA nas cidades não está na tecnologia em si, mas em sua implementação no planejamento e no design urbano. É no processo de elaboração dos planos das cidades que a IA, por exemplo na forma de aprendizado de máquina, exerce seu maior impacto”. O estudo relatado neste capítulo sugere uma variedade de tecnologias atuais e emergentes que poderiam ser utilizadas para enfrentar esses desafios, e defende que o planejamento urbano algorítmico responsável pode apoiar o desenvolvimento inteligente e sustentável. No entanto, a interação e a colaboração entre pesquisadores, planejadores, organizações e comunidades – os principais atores das decisões urbanas – são necessárias para uma adoção mais ampla e holística da IA em nossas cidades. Privacidade, vieses e desigualdade continuam a ser questões complexas que exigem uma

consideração cuidadosa da melhor forma de minimizar esses riscos ao implementar tecnologias de IA para o planejamento urbano¹ (Yigitcanlar, 2024, p. 13).

Além disso, quando se analisa a dinâmica do planejamento urbano, é fundamental destacar o papel central que o licenciamento ambiental ocupa como instrumento regulador da relação entre expansão territorial e preservação ecológica. Ou seja, não se trata apenas de uma exigência burocrática, mas de um processo que condensa o debate entre desenvolvimento econômico e responsabilidade socioambiental. Logo, é por meio do licenciamento que se busca equilibrar os interesses de empreendedores, comunidades locais, órgãos de controle e o próprio meio ambiente, de forma a garantir que os impactos das intervenções urbanas não ultrapassem limites aceitáveis. Hidayat e Satwiko (2021) afirmam que “[...] a inteligência artificial pode tornar o processo de licenciamento ambiental mais curto, menos custoso e mais acessível, automatizando etapas e reduzindo a dependência de operadores humanos” (p. 291), o que evidencia que, mesmo em processos tradicionalmente considerados morosos, a tecnologia pode criar novas oportunidades de eficiência e democratização. Ainda assim, convém observar que Kabir et al. (2021, p. 2) advertem que “[...] a rápida evolução das cidades inteligentes, dependentes de dados e redes, torna os sistemas de licenciamento mais vulneráveis a riscos cibernéticos e exige novos mecanismos de confiança e segurança”, lembrando que o avanço tecnológico não elimina as tensões, mas reconfigura os pontos críticos do processo. Assim, pode-se dizer que o licenciamento ambiental é, simultaneamente, um campo de garantia de direitos coletivos e um terreno de disputa, pois nele se decidem as fronteiras do crescimento urbano em relação à preservação de bens comuns, o que o torna um eixo fundamental da governança contemporânea.

Contudo, não se pode ignorar que os processos tradicionais de licenciamento ambiental e de gestão do território apresentam limites profundos, que comprometem tanto a eficácia técnica quanto a legitimidade social dessas práticas. A burocracia excessiva, a fragmentação institucional e a morosidade dos trâmites ainda constituem barreiras estruturais que afastam a sociedade do debate e reforçam assimetrias de poder. Em muitos casos, a escassez de transparência dificulta que a população compreenda os critérios das decisões, alimentando a sensação de arbitrariedade e descrédito nos órgãos públicos. Dito isso, é importante destacar que Brynjolfsson e McAfee lembram que “[...] o progresso tecnológico tende a deixar para trás aqueles que possuem apenas habilidades ordinárias, uma vez que sistemas automatizados assumem funções de maneira cada vez mais acelerada” (2014, p. 128), o que pode ser aplicado também aos profissionais e às instituições que permanecem

¹ Tradução nossa.

dependentes de métodos analógicos diante de ecossistemas urbanos em transformação. Do mesmo modo, observa Kitchin que “[...] os dados não são apenas registros neutros da realidade, mas são produzidos em contextos específicos, carregados de valores, escolhas metodológicas e disputas de poder” (2014, p. 5), o que implica reconhecer que a dificuldade técnica de analisar múltiplas variáveis ambientais decorre, em grande parte, da ausência de metodologias integradoras capazes de tornar explícitas as interações entre ciência, política e sociedade. Dessa forma, pode-se afirmar que os limites atuais não são apenas operacionais, mas refletem também uma crise de legitimidade institucional, em que a promessa de participação social efetiva muitas vezes se perde em trâmites formais, dificultando a construção de consensos sustentáveis para o futuro urbano.

Assim sendo, à medida que os desafios do planejamento urbano e do licenciamento ambiental se intensificam, a inteligência artificial (IA) deixa de ser vista apenas como uma ferramenta de automação e passa a assumir um papel de mediação, organizando dados, visualizando cenários e possibilitando novos formatos de negociação entre atores sociais. Trata-se, portanto, de uma mudança de paradigma, pois, ao invés de apenas acelerar tarefas ou substituir etapas burocráticas, a IA se configura como um sistema capaz de estruturar “ecologias de decisão”, isto é, ambientes em que múltiplas variáveis interagem de maneira dinâmica e transparente. Em tal perspectiva, Kabir et al. observam que “[...] a inteligência artificial explicável estabelece uma ponte entre a precisão dos algoritmos e a confiança social necessária para a adoção de soluções em cidades inteligentes” (2021, p. 4), sublinhando a importância de modelos que não apenas calculem, mas que também possam ser compreendidos pelos gestores e pela sociedade. Logo após, é interessante notar o alerta de Floridi (2013): “[...] a ética da informação não se limita a regular condutas individuais, mas implica redesenhar as condições sistêmicas de produção, circulação e uso dos dados” (p. 87), o que demonstra que a mediação da IA não pode ser pensada apenas em termos técnicos, mas deve ser acompanhada de uma reflexão sobre responsabilidade, transparência e equidade. Desse modo, a IA aparece como recurso capaz de tornar visíveis relações invisíveis – por exemplo, a conexão entre padrões de mobilidade e níveis de poluição atmosférica –, oferecendo ferramentas para que diferentes setores possam deliberar de forma mais informada. Contudo, é fundamental observar que essa mediação só cumpre seu papel se ancorada em princípios de governança distribuída e em práticas de participação, pois do contrário, corre-se o risco de reforçar assimetrias de poder já existentes.

Além disso, as percepções tanto dos planejadores quanto da comunidade terão um papel significativo em como esses desafios podem ser superados e em como soluções tecnológicas de IA adequadas e responsáveis poderão ser adotadas. Como a literatura sugere, a IA tem sido e pode ser utilizada em uma variedade de tarefas de planejamento urbano para enfrentar desafios complexos de desenvolvimento e atender às necessidades e prioridades das

comunidades locais. Há um grande potencial para que a IA auxilie na melhoria da experiência geral de segurança, habitabilidade e sustentabilidade das cidades e de seus habitantes de maneiras mais inteligentes. No entanto, também precisamos estar atentos às limitações da IA e encontrar maneiras de enfrentá-las. Por fim, os planejadores urbanos devem compreender os benefícios dos métodos de IA que estarão utilizando e comunicá-los de forma eficaz a atores receosos. Além disso, aplicações existentes e emergentes da IA no planejamento urbano podem ser úteis para, potencialmente, abrir caminho para uma adoção mais ampla da IA. Isso é particularmente provável no caso de as capacidades presentes e futuras da IA atenderem às necessidades dos planejadores urbanos² (Yigitcanlar, 2024, p. 13).

Bostrom (2014, p. 153) afirma que “[...] a superinteligência não deve ser entendida apenas como a ampliação de capacidades cognitivas, mas como a emergência de sistemas que podem estruturar decisões humanas em novas escalas de complexidade”. Essa ideia ajuda a compreender que a inteligência artificial, no contexto do planejamento urbano, não se limita a oferecer diagnósticos ou previsões, mas atua como mediadora em ecologias de decisão, redesenhando a forma como variáveis ambientais, sociais e econômicas se articulam em um mesmo processo. É importante destacar que Derrible observa que “[...] as infraestruturas urbanas só podem ser compreendidas plenamente se tratadas como sistemas interdependentes, nos quais transporte, energia, água e resíduos se entrelaçam” (2019, p. 42), e é justamente nesse ponto que a IA oferece um campo fértil para a criação de cenários integrados, capazes de mostrar de que forma uma decisão em mobilidade pode afetar padrões de consumo energético ou de emissão de poluentes. Em consequência disso, a definição do objeto enquanto mediação permite também afastar leituras reducionistas que enxergam a IA apenas como ferramenta técnica, abrindo espaço para concebê-la como tecnologia política e social, isto é, como dispositivo que molda tanto a forma de governar quanto os horizontes possíveis de justiça urbana. Assim, ao demarcar a IA nesse lugar conceitual, fica claro que se trata de repensar o licenciamento ambiental e o planejamento urbano como arenas complexas, nas quais os algoritmos ajudam a recompor as condições de diálogo entre diferentes atores, sem que o humano seja retirado do centro das decisões.

Portanto, ao refletir sobre a inserção da inteligência artificial no planejamento urbano e no licenciamento ambiental, é fundamental reconhecer sua importância para a construção de práticas de governança distribuída, que descentralizam o poder decisório e abrem espaço para múltiplos atores sociais. A IA, nesse caso, não deve ser pensada como recurso técnico neutro, mas como dispositivo que pode favorecer processos participativos e mais justos, desde que orientado por princípios éticos e políticos claros. Como bem afirma Zuboff: “[...] o capitalismo de vigilância transforma os dados pessoais em matérias-primas gratuitas para tradução em produtos de previsão, cuja finalidade é

² Tradução nossa.

anticipar comportamentos e moldar condutas” (2019, p. 93). Essa advertência evidencia que, se não regulada, a mesma tecnologia que pode democratizar o acesso à informação urbana pode também intensificar desigualdades e consolidar novas formas de exclusão. Por outro lado, Floridi enfatiza que “[...] a infosfera precisa ser compreendida como um ambiente comum, onde cada ação informacional é também uma ação moral, carregada de consequências coletivas” (2019, p. 112), lembrando que a justiça ambiental, nesse cenário, implica não apenas a preservação dos ecossistemas, mas também a garantia de acesso equitativo aos fluxos de informação que estruturam as decisões urbanas. Em consequência disso, pode-se dizer que a relevância do tema vai além da eficiência administrativa, pois toca diretamente na possibilidade de constituir cidades mais democráticas, capazes de articular desenvolvimento com inclusão e sustentabilidade. Assim, a IA pode se tornar não apenas uma ferramenta de gestão, mas um instrumento de cidadania, caso seja utilizada de forma transparente e comprometida com o interesse público.

Kitchin (2021, p. 18) aponta que “[...] os dados não surgem no vácuo, mas são sempre produzidos em sistemas sociotécnicos que refletem estruturas de poder e interesses específicos”, o que nos leva a reconhecer que a promessa de eficiência trazida pela inteligência artificial precisa ser problematizada à luz das relações de desigualdade que permeiam o espaço urbano. Isto é, embora os algoritmos possam reduzir tempos de análise, integrar variáveis complexas e simular cenários de forma inédita, há o risco de que esse avanço técnico concentre ainda mais poder nas mãos de atores capazes de controlar as infraestruturas digitais e os fluxos de informação. Nesse sentido, exemplos como plataformas privadas de gestão de mobilidade ou de monitoramento ambiental mostram que, muitas vezes, a eficiência tecnológica é alcançada às custas da transparência e da participação social. Além disso, é importante lembrar que, ao automatizar etapas críticas de decisão, a IA pode invisibilizar conflitos de interesse, apresentando como neutras escolhas que, na prática, refletem disputas políticas e econômicas. Assim, a questão não é rejeitar a eficiência, mas compreendê-la em diálogo com a justiça social e ambiental, para que a inovação não se converta em exclusão. Como sublinham Brynjolfsson e McAfee, “[...] a transformação digital trará benefícios extraordinários para alguns, mas ao mesmo tempo poderá deixar de fora uma parcela significativa da população, caso não sejam criados mecanismos de inclusão e redistribuição” (2014, p. 141).

Desse modo, pensar a inteligência artificial no contexto urbano significa reconhecer sua capacidade de articular diferentes campos de saber, promovendo diálogos interdisciplinares entre engenharia, ciências sociais, direito e meio ambiente. Isto é, essa articulação não se limita ao espaço acadêmico, mas se concretiza em práticas cotidianas de gestão urbana, em que dados de mobilidade, energia, saúde e segurança precisam ser integrados em tempo real para apoiar decisões complexas.

Não apenas isso, mas também abre caminho para que atores distintos – gestores públicos, empresas privadas, organizações comunitárias e cidadãos – participem de processos de forma mais simétrica, compartilhando informações em plataformas transparentes. Em tal direção, Floridi destaca que “[...] a infosfera é um ambiente compartilhado, em que cada agente contribui para moldar o ecossistema de decisões, de forma ética e informacional” (2013, p. 92), evidenciando que a colaboração não é apenas técnica, mas profundamente moral. Além disso, como lembra Derrible (2019, p. 55), “[...] o funcionamento das cidades depende da coordenação de sistemas interdependentes, e qualquer análise isolada tende a ser insuficiente para compreender sua complexidade”. Isto é, ao cruzar essas perspectivas, percebe-se que a IA pode se converter em mediadora de arranjos colaborativos, criando ecologias de decisão em que diferentes setores se articulam, não para dissolver conflitos, mas para tornar os dilemas mais claros e passíveis de negociação. Por isso, cabe salientar que a interdisciplinaridade não é um luxo, mas uma exigência concreta para que cidades mais justas e sustentáveis possam ser construídas.

[...] apresentamos os grafos de conhecimento como um paradigma para representar dados estruturados e não estruturados de forma legível tanto por humanos quanto por máquinas, com forte ênfase no estabelecimento de relações entre entidades como lugares, pessoas, eventos e objetos. Grafos de conhecimento densamente interligados, que combinam conjuntos de dados de fontes altamente heterogêneas, fomentam a integração, a recuperação e a exploração de dados; fornecem um meio uniforme de acesso; simplificam o gerenciamento de dados ao eliminar a distinção entre dado e metadado, oferecendo dados inteligentes e autodescritivos; apresentam boa escalabilidade; e fornecem informações contextuais para quase qualquer aplicação ou caso de uso que se beneficie da consciência situacional. Além disso, os grafos de conhecimento também alimentam muitos repositórios digitais baseados nos princípios FAIR, contribuindo assim, indiretamente, para diversos outros domínios científicos. Por fim, muitas empresas da Fortune 500 mantêm grafos de conhecimento públicos ou privados, e a Esri lançou recentemente seu grafo de conhecimento corporativo ArcGIS Knowledge, com integração direta em seu ecossistema e capacidades analíticas³ (Hu; Gao, 2023, p. 422).

Kabir et al. (2021, p. 6) afirmam que “[...] a inteligência artificial explicável permite que cidadãos compreendam as razões por trás das decisões automatizadas, favorecendo a confiança e a aceitação social”. Ou seja, essa observação é fundamental, pois revela que a democratização do planejamento urbano não se resume a oferecer canais de participação, mas envolve a criação de condições informacionais que tornem os processos inteligíveis para a população. Em outras palavras, se a IA for aplicada de modo transparente, ela pode contribuir para que cidadãos acompanhem e questionem políticas públicas com base em dados acessíveis e comprehensíveis, fortalecendo a accountability institucional. Ainda assim, não se pode ignorar os riscos de transformar a participação em mero ritual formal, no qual os algoritmos já definiram previamente os limites do debate. Logo, é

³ Tradução nossa.

por isso que a mediação tecnológica precisa ser acompanhada por políticas de inclusão digital, que garantam que grupos historicamente marginalizados também tenham acesso aos fluxos informacionais. Exemplos práticos podem ser encontrados em plataformas de monitoramento ambiental comunitário, nas quais dados de sensores urbanos são compartilhados diretamente com moradores, fortalecendo a capacidade de mobilização social. Do mesmo modo, segundo Zuboff, “[...] a captura massiva de dados redefine as fronteiras entre público e privado, criando novas formas de poder que precisam ser constantemente vigiadas e contestadas” (2019, p. 115). Assim, a IA pode se tornar não apenas um instrumento técnico de gestão, mas um recurso político de cidadania, desde que orientada por valores democráticos e não por lógicas de vigilância ou mercantilização da vida urbana.

Nesse ponto, cabe clarificar o objeto desta pesquisa: compreender a inteligência artificial como mediadora em ecologias de decisão voltadas ao planejamento urbano e ao licenciamento ambiental. O objetivo central é investigar de que modo a IA pode ser integrada a processos complexos de análise territorial, garantindo maior eficiência técnica sem abrir mão da transparência, da participação cidadã e da justiça socioambiental. A pergunta de partida que guia esta investigação pode ser sintetizada da seguinte forma: como a inteligência artificial pode operar como mediadora em ecologias de decisão distribuídas, ampliando a transparência, a eficácia e a legitimidade nos processos de planejamento urbano e de licenciamento ambiental? Para avançar nesse debate, é necessário reconhecer que o papel da universidade não se limita à produção de diagnósticos, mas envolve a criação de conhecimentos críticos e aplicáveis, capazes de apoiar políticas públicas e de ampliar as capacidades da sociedade de lidar com dilemas coletivos. Floridi (2019, p. 34) afirma que “[...] a filosofia da informação deve ser entendida como um design conceitual, isto é, uma prática que não apenas interpreta, mas também constrói novos quadros para compreender e agir no mundo”, e essa formulação inspira a pensar a IA como uma oportunidade de redesenhar a própria lógica da decisão urbana. Do mesmo modo, Derrible mostra que as cidades “[...] são sistemas interdependentes que só podem ser governados a partir de visões integradas, onde ciência, tecnologia e sociedade dialogam em múltiplos níveis” (2019, p. 61). Assim, a importância desta pesquisa não reside apenas na inovação técnica, mas no fortalecimento da democracia e da justiça ambiental, contribuindo para que universidades, gestores e cidadãos possam construir conjuntamente novos caminhos de conhecimento e de ação política diante dos desafios contemporâneos.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA: ABORDAGEM QUALITATIVA E ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DA IA NO PLANEJAMENTO URBANO E NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O estudo desenvolvido caracterizou-se, em sua essência, como uma investigação de natureza qualitativa, de caráter bibliográfico e descritivo, com viés analítico-compreensivo. Essa escolha metodológica justificou-se porque a pesquisa qualitativa permitiu compreender processos sociais complexos em suas dimensões simbólicas, interpretativas e contextuais, o que foi fundamental quando se examinou a inteligência artificial como mediadora em ecologias de decisão no planejamento urbano e no licenciamento ambiental. Minayo explicou que “[...] a pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares, preocupando-se, nas ciências sociais, com um nível de realidade que não pode ser quantificado” (2007, p. 21). Do mesmo modo, Stake (2011) enfatizou que “[...] a investigação qualitativa está sempre centrada na compreensão, mais do que na previsão ou no controle” (p. 23). Assim, pode-se afirmar que a opção pela abordagem qualitativa não se limitou a uma escolha técnica, mas correspondeu ao compromisso epistemológico de articular teoria e prática, captar sentidos implícitos e ampliar a reflexão crítica sobre as potencialidades e limites da IA quando aplicada às práticas de governança urbana.

[...] a pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. Ela se ocupa, nas Ciências, com um nível de realidade que não pode ou não deveria ser quantificado. Ou seja, ela trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes. Esse conjunto de fenômenos humanos é entendido aqui como parte da realidade social, pois o ser humano se distingue não só por agir, mas por pensar sobre o que faz e por interpretar suas ações dentro e a partir da realidade vivida e partilhada com seus semelhantes (Minayo, 2007, p. 20-21).

Logo, a pesquisa fundamentou-se em um levantamento bibliográfico sistemático, que privilegiou obras clássicas e contemporâneas acerca da inteligência artificial, governança de dados e sustentabilidade urbana. Foram consultados autores como Russell e Norvig, Bostrom, Floridi, Kitchin, Zuboff, Mayer-Schönberger e Cukier, Derrible, Yigitcanlar, Hu e Gao, entre outros, de modo a garantir a amplitude e a profundidade da análise. Esse processo permitiu reunir não apenas referenciais teóricos, mas também exemplos concretos de aplicação da IA em processos decisórios urbanos e ambientais. Gil ressaltou que “[...] a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos” (2008, p. 50). De igual maneira, Flick (2009) destacou que “[...] os estudos baseados em textos são fundamentais porque permitem compreender as estruturas de sentido e os significados atribuídos aos fenômenos” (p. 58). Assim, pode-se afirmar que o levantamento bibliográfico sustentou a construção analítica, possibilitando

articular diferentes perspectivas e evidenciar a relevância de um olhar multidisciplinar sobre o papel mediador da IA.

Assim, a construção teórica estruturou-se a partir da análise de conceitos centrais como “ecologias de decisão”, “governança distribuída” e “justiça ambiental”, que foram relacionados ao objeto do estudo. Esse esforço buscou estabelecer pontes entre referenciais teóricos da inteligência artificial, da governança digital e da sustentabilidade urbana, permitindo uma compreensão mais ampla do fenômeno investigado. Minayo destacou que “[...] a teoria não é apenas um ponto de partida, mas também um guia para a análise e a interpretação da realidade” (2007, p. 45). De modo semelhante, Deslandes e Minayo defenderam que “[...] a construção teórica em pesquisa social deve ser continuamente confrontada com as práticas sociais, para que não se torne uma abstração desconectada do real” (2002, p. 67). Nesse sentido, a construção teórica não se limitou a reunir conceitos, mas buscou conectá-los a práticas de participação social e transparência, evidenciando como a IA poderia ser compreendida como mediadora em processos de decisão complexos.

Os procedimentos de análise foram estruturados em três eixos principais: primeiro, as potencialidades da inteligência artificial para integrar múltiplos fluxos de informação; segundo, os limites e obstáculos técnicos, jurídicos e sociais que marcaram sua implementação; e terceiro, os impactos sobre a legitimidade, a eficácia e a transparência nos processos decisórios. Esse arranjo permitiu observar convergências e divergências entre diferentes autores e perspectivas teóricas, garantindo maior consistência ao estudo. Stake (2011) observou que “[...] a análise qualitativa busca dar significado às experiências humanas, mais do que testar hipóteses predefinidas” (p. 25). De forma complementar, Flick afirmou que “[...] a comparação sistemática entre casos e referenciais é essencial para identificar padrões e diferenças” (2009, p. 62). Assim, a análise realizada não se restringiu a descrever, mas buscou interpretar criticamente os achados, articulando teoria, exemplos empíricos da literatura e os desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas diante da incorporação da IA.

[...] a pré-análise é a fase de organização. Inicia-se geralmente com os primeiros contatos com os documentos (leitura flutuante). A seguir, procede-se à escolha dos documentos, à formulação de hipóteses e à preparação do material para análise. A exploração do material constitui, geralmente, uma fase longa e fastidiosa que tem como objetivo administrar sistematicamente as decisões tomadas na pré-análise. Refere-se fundamentalmente às tarefas de codificação, envolvendo: o recorte (escolha das unidades), a enumeração (escolha das regras de contagem) e a classificação (escolha de categoria). O tratamento dos dados, a inferência e a interpretação, por fim, objetivam tornar os dados válidos e significativos (Gil, 2008, p. 153).

Os critérios de validação da análise basearam-se na triangulação entre diferentes referenciais teóricos, de modo a assegurar consistência e abrangência às interpretações. A fundamentação dos

resultados ocorreu por meio de dados secundários, exemplos retirados da literatura e estudos de caso já documentados, como painéis urbanos interativos e sistemas de monitoramento ambiental em tempo real. Dito isso, essa estratégia permitiu confrontar conceitos de distintos campos, garantindo maior solidez à construção argumentativa. Minayo ressaltou que “[...] a validade, em pesquisas qualitativas, não é medida pela replicação dos resultados, mas pela coerência interna e pela capacidade de dialogar com o objeto estudado” (2007, p. 104). Do mesmo modo, Gil (2008, p. 57) destacou que “[...] a confiabilidade de uma pesquisa bibliográfica está associada à diversidade e à relevância das fontes consultadas” Portanto, a validação ocorreu não apenas pela força das evidências, mas também pela articulação entre teoria e prática, assegurando que as conclusões refletissem a complexidade do tema estudado.

É preciso pontuar que as limitações da pesquisa estiveram relacionadas ao seu caráter eminentemente teórico e bibliográfico, uma vez que não houve a realização de trabalho de campo ou de coleta empírica direta. Isso significou que os achados dependeram da análise crítica da literatura existente, o que, embora tenha garantido profundidade conceitual, deixou em aberto a necessidade de estudos aplicados em contextos urbanos específicos. Minayo observou que “[...] toda pesquisa carrega consigo limites, que devem ser explicitados para que o leitor compreenda o alcance e as fronteiras do estudo” (2007, p. 43). De igual modo, Stake afirmou que “[...] as generalizações em estudos qualitativos são sempre limitadas e devem ser vistas como hipóteses a serem exploradas em outros contextos” (2011, p. 27). Assim, reconheceu-se que a investigação aqui desenvolvida não buscou esgotar o tema, mas oferecer subsídios teóricos e críticos que possam orientar futuras pesquisas empíricas sobre a aplicação da inteligência artificial no licenciamento ambiental e no planejamento urbano.

3 PLANEJAMENTO URBANO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL – O USO DE IA COMO MEDIADORA EM “ECOLOGIAS DE DECISÃO” DISTRIBUÍDA ENTRE DADOS

Quando falamos em planejamento urbano, convém observar que a noção de “ecologias de decisão” surge como uma forma de compreender a articulação entre múltiplos fluxos de informação, agentes sociais e dimensões políticas. Trata-se, desse modo, de um conceito que desloca a ideia de decisão centralizada para um ambiente distribuído, em que variáveis sociais, econômicas e ambientais interagem simultaneamente, exigindo instrumentos de mediação capazes de lidar com essa complexidade. Logo, essa ecologia não se refere apenas ao somatório de atores ou dados, mas à maneira como eles se entrelaçam, criando um espaço vivo de interações, disputas e cooperações. É importante destacar que Brynjolfsson e McAfee lembram que “[...] as tecnologias digitais começaram

a surpreender ao realizar tarefas que antes se julgavam exclusivas do raciocínio humano, alterando profundamente a forma como compreendemos os processos decisórios” (2014, p. 61). Ou seja, essa observação permite entender que, em ecologias de decisão, a inteligência artificial e outros sistemas digitais não são elementos externos, mas constitutivos, pois reorganizam a forma como se processa a informação e como se estruturam as escolhas. Além disso, cabe ressaltar que a “noção de ecologia” remete à ideia de interdependência e equilíbrio, o que significa reconhecer que o processo de decisão é tanto técnico quanto político, e que não pode ser reduzido a cálculos automáticos. Floridi (2019) afirma que “[...] o desafio contemporâneo está em conceber estruturas informacionais que sejam, ao mesmo tempo, funcionais e eticamente responsáveis, de modo a sustentar decisões coletivas em ambientes interconectados” (p. 78). Ou seja, em vez de pensar as decisões urbanas como atos isolados, é necessário concebê-las como parte de uma rede de influências mútuas, na qual cada escolha em mobilidade, energia ou habitação reverbera em outras dimensões. Dessa forma, pode-se afirmar que as ecologias de decisão oferecem um quadro conceitual mais adequado para entender a complexidade urbana, pois articulam ciência, tecnologia, política e sociedade em um mesmo campo. Em consequência disso, ganha força a ideia de que o planejamento urbano precisa se apoiar em dispositivos que não apenas processem dados, mas que também criem condições para diálogos mais inclusivos, transparentes e responsáveis entre os diversos atores envolvidos.

Em primeiro lugar, a IA, como parte da informática urbana, avança significativamente nosso conhecimento da ciência urbana computacional. Na era da incerteza e da complexidade, os problemas urbanos estão sendo diagnosticados e enfrentados por meio de inúmeras tecnologias de IA. No entanto, sob a perspectiva da sustentabilidade, a qualidade de nossas decisões sobre o futuro das cidades depende fortemente desse poder computacional (tecnologia) e da inclusividade dos processos de tomada de decisão e formulação de políticas. O maior poder computacional oferecido pela IA, portanto, não é suficiente para alcançar a sustentabilidade, a menos que seja acompanhado de sistemas de governança democrática e de planejamento participativo. Em segundo lugar, a IA está sendo usada de forma exponencial para melhorar a eficiência de vários domínios urbanos, como negócios, análise de dados, saúde, educação, energia, monitoramento ambiental, uso do solo, transporte, governança e segurança. Isso tem uma implicação direta para o planejamento, o design, o desenvolvimento e a gestão das nossas cidades. No entanto, os diferentes usos da IA tendem a ser fragmentados, no sentido de que inteligências artificiais heterogêneas estão direcionadas a questões e objetivos heterogêneos sem uma abordagem holística. Coordenar as muitas IAs presentes em nossas cidades é, portanto, necessário para um urbanismo sustentável, dado que a sustentabilidade significa pensar e agir em termos do todo, e não de partes isoladas (Yigitcanlar, 2024, p. 205-206).

Além disso, é fundamental explicar de forma clara o que significa o conceito de “ecologias de decisão”, para que não reste dúvida sobre sua relevância no planejamento urbano contemporâneo. Floridi afirma que “[...] a infosfera deve ser concebida como um ambiente no qual diferentes fluxos informacionais coexistem e se entrelaçam, moldando a forma como compreendemos e agimos no

“mundo” (2013, p. 105), e essa visão ajuda a entender a ecologia de decisões como um espaço em que múltiplas informações – sociais, ambientais, geoespaciais, econômicas e políticas – são organizadas e interpretadas em conjunto. Em outras palavras, esse conceito descreve a articulação entre bases de dados heterogêneas, atores sociais com diferentes níveis de poder e processos institucionais que precisam dialogar, ainda que sob tensão. Logo, convém observar que Hu e Gao (2023, p. 22) destacam que “[...] a inteligência geoespacial artificial pode integrar dados de diversas fontes, revelando padrões que seriam invisíveis em análises isoladas”, o que demonstra que as ecologias de decisão não se restringem ao plano teórico, mas possuem aplicações práticas na forma de ferramentas que reduzem opacidades e permitem decisões mais transparentes. Assim, podemos afirmar que pensar em ecologias de decisão significa “conceber o planejamento urbano como um processo distribuído”, no qual nenhum ator detém sozinho a verdade ou a totalidade dos dados, mas em que a legitimidade surge justamente da capacidade de integrar perspectivas múltiplas. Dessa forma, o conceito se torna não apenas analítico, mas também normativo, já que orienta práticas mais democráticas e eficazes de governança urbana.

Kitchin (2014, p. 112) observa que “[...] a análise de grandes volumes de dados cria a possibilidade de novas formas de governança urbana, em que decisões se baseiam em correlações complexas e não apenas em descrições parciais da realidade”. Dito isso, esse ponto é fundamental para compreender que o planejamento urbano, tradicionalmente fragmentado entre setores e órgãos que não dialogam, pode ganhar em consistência e clareza quando sustentado por sistemas capazes de integrar múltiplas variáveis. Ou seja, não apenas a mobilidade e a ocupação do solo, mas também fatores ambientais, dados socioeconômicos e informações geoespaciais podem ser processados de modo conjunto, revelando conexões invisíveis aos métodos tradicionais. Essa integração reduz o risco de decisões opacas, tomadas em gabinetes distantes da realidade da população, e fortalece a transparência ao tornar disponíveis cenários comparativos para diferentes alternativas de ação. Assim, é importante destacar que Brynjolfsson e McAfee lembram que “[...] as tecnologias digitais, ao processar informações em tempo real, transformam a forma como governos e empresas interpretam o ambiente ao seu redor” (2017, p. 88). Em outras palavras, a inserção de sistemas inteligentes no planejamento urbano não é apenas uma questão de eficiência técnica, mas também de legitimidade democrática, pois quando múltiplos atores conseguem visualizar os impactos das escolhas, torna-se mais difícil que decisões sejam justificadas apenas por narrativas políticas descoladas da realidade. Em consequência disso, pode-se afirmar que ecologias de decisão baseadas em IA e análise integrada de dados oferecem ao planejamento urbano a oportunidade de superar opacidades históricas e abrir caminho para práticas mais participativas e responsivas às demandas coletivas.

No entanto, é fundamental observar que a inteligência artificial ocupa um lugar estratégico nas ecologias de decisão justamente por sua capacidade de organizar e correlacionar bases de dados heterogêneas, que vão desde informações ambientais e geoespaciais até indicadores sociais e econômicos. Essa habilidade não se limita à simples compilação de dados, mas envolve a criação de conexões entre variáveis que, de outro modo, permanecem isoladas em silos institucionais. Em consequência disso, a IA não apenas melhora a qualidade técnica das decisões, mas também abre espaço para interpretações mais ricas, que levam em conta a complexidade da vida urbana. Diversos estudos apontam que a correlação de dados sociais com variáveis ambientais, por exemplo, permite identificar padrões de vulnerabilidade territorial que são invisíveis quando as bases são analisadas de forma separada (Hu; Gao, 2023, p. 67). Isso significa que a inteligência artificial oferece ao planejamento urbano instrumentos para superar tanto a fragmentação administrativa quanto os limites cognitivos humanos, que dificilmente conseguem lidar com tamanha complexidade. Como explica Yigitcanlar, “[...] a inteligência artificial urbana deve ser entendida como uma ferramenta de integração, capaz de transformar dados dispersos em conhecimento aplicável à governança sustentável das cidades” (2024, p. 59). Desse modo, a IA se coloca como um recurso que não elimina a dimensão política do planejamento, mas que amplia a base de informações sobre a qual as disputas são travadas, tornando os debates mais transparentes e as escolhas mais fundamentadas.

Com a quantidade cada vez maior de big data disponível nas cidades, há uma variedade de áreas de planejamento urbano em que a IA pode ser aplicada. O planejamento do uso do solo e os subsequentes desenvolvimentos urbanos são as duas áreas predominantes de planejamento que poderiam oferecer o maior escopo para apoiar os planejadores urbanos em sua prática. Pode-se argumentar que a tarefa de classificar o uso do solo e as zonas, bem como a análise de projetos de desenvolvimento, é a mais significativa e demorada que os planejadores urbanos realizam. As conclusões desta revisão sugerem que a intervenção do big data e da IA poderia melhorar a eficiência nessas tarefas. A aplicação do big data pode ter um impacto positivo de grande alcance na saúde, no tráfego, na qualidade do ar e no ambiente físico, criando uma cidade inteligente mais sustentável. As intervenções de planejamento podem produzir diretamente dados urbanos que permitem o monitoramento e o controle contínuos pelos planejadores urbanos. Quando a IA se tornar mais comumente usada nas práticas de planejamento, espera-se que essas intervenções criem quantidades ainda maiores de big data que precisarão ser monitoradas como parte do processo de planejamento urbano. Portanto, qualquer área que adote tecnologias de IA terá a necessidade de uma integração holística da IA como parte da prática mais ampla de planejamento urbano, enfrentando as complexidades associadas aos ambientes urbanos⁴ (Yigitcanlar, 2024, p. 31-32).

Kabir et al. (2021, p. 7) afirmam que “[...] a confiança pública em sistemas baseados em inteligência artificial depende da clareza com que eles explicam seus resultados e tornam compreensíveis os critérios de decisão”. Em outras palavras, essa constatação ajuda a compreender

⁴ Tradução nossa.

que, no planejamento urbano, a legitimidade não decorre apenas do uso de tecnologias avançadas, mas da forma como essas tecnologias se abrem ao escrutínio social. A IA, ao cruzar informações de diferentes naturezas, não produz apenas diagnósticos mais completos, mas também novos espaços de negociação, pois coloca diante dos atores urbanos evidências concretas que podem sustentar ou contestar interesses em disputa. Em consequência disso, os processos que antes eram opacos, dominados por linguagens técnicas inacessíveis, passam a ser mais participativos e transparentes, ainda que continuem marcados por tensões. Desse modo, é importante destacar que essa transformação não significa a eliminação dos conflitos, mas a criação de uma arena em que eles se tornam mais visíveis e, portanto, mais passíveis de mediação. Tal como no caso das licenças ambientais, quando dados sobre qualidade do ar, recursos hídricos e densidade populacional são correlacionados com variáveis econômicas, torna-se mais difícil ignorar impactos sociais de grandes empreendimentos urbanos. Assim, a IA pode funcionar como mediadora de legitimidade, pois ajuda a estabelecer critérios objetivos de comparação entre cenários, diminuindo a margem para decisões puramente arbitrárias ou políticas. Para Derrible, (2025, p. 101), “[...] os sistemas de dados, quando integrados e disponibilizados em linguagem acessível, transformam-se em instrumentos de democratização, permitindo que comunidades locais questionem ou validem escolhas antes reservadas a especialistas”.

Portanto, quando conectamos IA, governança distribuída e justiça ambiental dentro das ecologias de decisão, não estamos apenas falando de eficiência técnica, mas de reequilibrar poder informacional entre Estado, mercado e comunidades, para que decisões ambientalmente relevantes, socialmente legítimas e economicamente viáveis sejam produzidas de modo transparente e contestável. Em outras palavras, a IA pode sustentar conselhos, audiências e consultas públicas com evidências comparáveis, organizando conflitos de interesse em torno de dados compartilhados, e não de opacidades procedimentais. Brynjolfsson e McAfee (2017, p. 10) afirmam: “[...] a ‘multidão’ corresponde a uma quantidade surpreendentemente grande de conhecimento, expertise e entusiasmo distribuídos pelo mundo e agora disponível, e passível de ser focalizada, online”, o que sugere que plataformas cívicas orientadas por IA podem canalizar saberes locais – inclusive sobre riscos ambientais, séries históricas geoespaciais e indicadores socioeconômicos são integrados em painéis comprehensíveis, cresce a capacidade de comunidades vulnerabilizadas verem e questionarem externalidades ambientais que antes eram invisíveis, fortalecendo o princípio da justiça ambiental. Para Hidayat e Satwiko (2021, p. 292): “[...] a IA é aplicada no processamento de todos os dados de informação espacial, ambiental e de tributos em uma mídia de informação baseada na web, fácil e

acessível por dispositivos móveis e computadores” o que, de igual maneira, aponta para infraestruturas públicas de dados que reduzem barreiras de acesso e qualificam o contraditório. Ainda assim, convém observar que a governança distribuída não se realiza por automatismo algorítmico: exige desenho institucional, salvaguardas éticas e mecanismos de accountability⁵ para mitigar vieses, prevenir captura corporativa e proteger dados sensíveis de comunidades. Assim sendo, com o objetivo de ampliar legitimidade, a IA deve ser pensada como mediadora de processos – e não como árbitra –, sustentando acordos possíveis entre atores assimétricos por meio de transparência verificável, trilhas de auditoria e explicabilidade dos modelos. Como se vê, o horizonte é menos o da “decisão perfeita” e mais o da decisão justificável, construída com evidências acessíveis e razões públicas, em ecologias de decisão que valorizam participação informada e justiça distributiva.

Ainda assim, quando se aprofunda o debate sobre ecologias de decisão, é inevitável tratar das tensões entre eficiência tecnológica e os riscos de concentração de poder. A inteligência artificial, ao mesmo tempo que amplia a capacidade analítica do planejamento urbano, pode gerar novas assimetrias, sobretudo quando o controle das infraestruturas de dados fica restrito a poucos atores. Convém observar que Zuboff (2019, p. 145) adverte: “[...] a extração de dados em larga escala não é apenas um processo técnico, mas um regime econômico que redefine relações sociais e institucionais”. Isso significa que, se as ferramentas de IA forem apropriadas apenas por grandes corporações ou por governos autoritários, o resultado pode ser a intensificação de desigualdades e o esvaziamento da legitimidade democrática. Ao contrário, quando as ecologias de decisão são projetadas com transparência e inclusão, a IA se torna um recurso para contrabalançar interesses, transformando dados em insumos compartilhados para deliberação pública. Em verdade, é fundamental destacar que Bostrom (2014, p. 212) observa: “[...] o desafio do controle da inteligência avançada não está apenas na sua construção, mas em garantir que seus objetivos permaneçam alinhados com os valores humanos”. Logo, esse alerta se aplica de forma direta ao planejamento urbano: não basta ter algoritmos sofisticados para processar informações sobre mobilidade, habitação ou poluição, é preciso

⁵ Os mecanismos de “accountability” assumem papel estratégico no planejamento urbano e no licenciamento ambiental mediados por inteligência artificial, pois garantem que os processos decisórios, além de tecnicamente qualificados, sejam também transparentes, auditáveis e passíveis de controle social. Em outras palavras, não basta que algoritmos organizem e processem grandes volumes de dados: é necessário que existam trilhas de auditoria, prestação de contas contínua e a possibilidade de escrutínio público sobre premissas, escolhas metodológicas e impactos. Como observa Kitchin (2021), ao tratar do desenvolvimento de painéis de dados urbanos, os desafios não residem apenas na coleta e integração de informações, mas também na governança, uma vez que “[...] ganhar acesso a conjuntos de dados foi um problema constante, com bloqueios devido à falta de recursos para torná-los abertos, ou por temores relacionados à proteção, segurança e qualidade dos dados” (p. 74-75). Essa reflexão evidencia que a accountability precisa articular padrões técnicos de rastreabilidade a princípios democráticos de abertura e participação, evitando que os sistemas se tornem caixas-pretas inacessíveis à sociedade. Ver: KITCHIN, Rob. *Data lives: how data are made and shape our world*. Bristol: Bristol University Press, 2021.

assegurar que tais sistemas estejam a serviço de valores coletivos como justiça espacial e sustentabilidade ambiental. Dessa forma, a eficiência não deve ser entendida como sinônimo de rapidez ou redução de custos, mas como a capacidade de produzir decisões urbanas mais responsáveis, justificáveis e coerentes com princípios democráticos. Em consequência disso, a introdução da IA em processos de licenciamento ou de governança territorial precisa ser acompanhada de regras claras de uso, marcos regulatórios robustos e mecanismos de auditoria social, de modo a evitar que a promessa da inovação se converta em novas formas de captura ou vigilância.

Ademais, quando se pensa na IA como promotora de arranjos colaborativos e interdisciplinares no planejamento urbano, convém reconhecer que a cooperação não emerge apenas da boa vontade institucional, mas de infraestruturas cognitivas e sociotécnicas que tornam dados partilháveis, modelos auditáveis e hipóteses comparáveis entre áreas como engenharia, geografia, saúde pública, economia urbana e direito ambiental; desse modo, a articulação entre sensores urbanos, bases cadastrais, registros administrativos e participações comunitárias sustenta ciclos de co-produção de conhecimento que reduzem assimetrias informacionais e, em consequência disso, diminuem a probabilidade de capturas tecnocráticas de processos decisórios. Em outras palavras, a IA tem papel-chave em padronizar ontologias, harmonizar metadados, realizar fusões inteligentes entre séries temporais heterogêneas e explicitar incertezas, abrindo espaço para que equipes interdisciplinares verifiquem, critiquem e melhorem continuamente os resultados; nesse sentido, é fundamental observar que as plataformas cívicas orientadas por IA funcionam como intermediárias epistêmicas, transformando inputs dispersos – da ciência cidadã à modelagem preditiva – em painéis de evidências comparáveis por gestores e comunidades. De acordo com Hu e Gao (2023, p. 351-352): “[...] o crescimento da ciência cidadã e do crowdsourcing [...] faz florescer técnicas de GeoIA⁶ no sensoriamento urbano; a GeoIA visa dar sentido a dados vastos e diversos, ampliando nossa compreensão dos ambientes urbanos”. De forma complementar, a explicabilidade é condição para colaboração duradoura entre disciplinas, pois fornece uma gramática comum para discutir causalidades, relevâncias e trade-offs sem que cada campo imponha seus próprios “caixas-pretas”; por isso, práticas de XAI, trilhas de auditoria, documentação de modelos e relatórios de desempenho

⁶ As técnicas de GeoIA (Geospatial Artificial Intelligence) consistem na aplicação de métodos de inteligência artificial, aprendizado de máquina e mineração de dados a problemas que envolvem informações geográficas, permitindo integrar, analisar e modelar grandes volumes de dados espaciais e temporais. Essas abordagens possibilitam, por exemplo, identificar padrões de uso do solo, prever impactos ambientais, monitorar mudanças urbanas em tempo real e apoiar a formulação de políticas públicas com maior precisão. Segundo Hu e Gao (2023), os avanços em GeoIA “[...] permitem a integração de múltiplas fontes de dados socioeconômicos e ambientais [...], gerando modelos espaço-temporais explícitos que sustentam previsões sensíveis ao local e simulações centradas nas pessoas” (p. 355-356), destacando sua relevância como ferramenta de governança urbana e ambiental orientada por evidências. Ver: HU, Yingjie; GAO, Song. *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

tornam-se instrumentos de governança colaborativa, alinhando padrões de prova entre engenheiros, planejadores, ambientalistas e organizações comunitárias. Kabir et al. afirmam: “[...] há uma relação de troca entre explicabilidade e acurácia; modelos tradicionais podem ser eficientes, mas carecem de explicabilidade; a XAI pode oferecer altos níveis de acurácia, eficiência e explicabilidade” (2021, p. 3). Assim sendo, ao institucionalizar rotinas de validação cruzada entre domínios – por exemplo, submetendo um cenário de adensamento habitacional simultaneamente a checagens de mobilidade, emissões, impacto hídrico e risco social –, a IA não apenas acelera análises, mas reordena a própria ecologia de decisão, reduzindo ruídos disciplinares, elevando a transparência e permitindo coalizões informadas; e, ainda, quando dados públicos e comunitários entram no mesmo circuito de aprendizado com dados técnicos, produzem-se contrapontos qualificados às narrativas hegemônicas, fortalecendo a legitimidade das escolhas e viabilizando ajustes iterativos, isto é, ciclos de aprendizado institucional que retroalimentam a coordenação intersetorial e a confiança pública.

A Inteligência Artificial (IA) é uma das tecnologias disruptivas que está moldando o futuro. Ela possui aplicações crescentes para decisões orientadas por dados em soluções principais de cidades inteligentes, incluindo transporte, educação, saúde, governança pública e sistemas de energia. Ao mesmo tempo, vem ganhando popularidade na proteção de infraestruturas críticas contra ameaças cibernéticas, ataques, danos ou acessos não autorizados. Contudo, um dos problemas significativos dessas tecnologias tradicionais de IA (por exemplo, aprendizado profundo) é que o rápido progresso em complexidade e sofisticação acabou por transformá-las em caixas-pretas ininterpretáveis. Em muitas ocasiões, torna-se extremamente desafiador compreender a decisão e o viés para controlar e confiar em resultados inesperados ou aparentemente imprevisíveis dos sistemas. Reconhece-se que a perda de controle sobre a interpretabilidade da tomada de decisão se torna uma questão crítica para muitas aplicações automatizadas orientadas por dados. Considerando isso, o novo paradigma tecnológico, a Inteligência Artificial Explicável (XAI), discute a transição de modelos de caixa-preta para caixa-branca, exigindo interpretabilidade, transparência, comprehensibilidade e explicabilidade das tecnologias baseadas em IA na aplicação de diferentes sistemas autônomos em cidades inteligentes⁷ (Kabir et al., 2021, p. 1-2).

Logo, quando aproximamos ecologias de decisão das práticas concretas de planejamento – painéis de dados, modelagem de cenários, simulações de risco, mapeamentos geoespaciais e fluxos administrativos do licenciamento –, torna-se claro que o desenho sociotécnico dessas infraestruturas condiciona tanto quem participa quanto como se participa, bem como quais problemas se tornam visíveis e quais permanecem invisíveis; em outras palavras, não basta acumular dados, é preciso coreografar interações entre agentes, evidências e justificações públicas, para que decisões sejam auditáveis, comparáveis e politicamente contestáveis. Desse modo, experiências de *civic tech*⁸

⁷ Tradução nossa.

⁸ As experiências de *civic tech* configuram-se como iniciativas que utilizam tecnologias digitais para ampliar a participação cidadã, promover transparência e fortalecer os mecanismos de governança democrática. Essas ferramentas incluem desde plataformas de dados abertos e aplicativos de monitoramento urbano até painéis interativos que permitem aos moradores

mostram que plataformas urbanas não nascem neutras: são resultado de negociação institucional, escolhas de curadoria e validações reiteradas, isto é, de um trabalho organizacional que precisa ser reconhecido como parte da própria decisão pública; daí decorre que a IA, ao orquestrar integrações e inferências, deve ser colocada a serviço de processos de coprodução entre planejamento, meio ambiente e sociedade civil, com trilhas de auditoria (logs), documentação de modelos e explicabilidade para sustentar a legitimidade. Cabe ressaltar que, quando dashboards e gêmeos digitais⁹ são concebidos como arenas de deliberação – e não apenas como vitrines de indicadores –, eles reordenam prioridades: áreas de vulnerabilidade ambiental passam a disputar centralidade com retornos econômicos de curto prazo; variáveis de saúde pública encontram o seu lugar ao lado de métricas de mobilidade; e mapas de risco hídrico conversam com cadastros fundiários e padrões de adensamento, reduzindo opacidades e permitindo comparações de cenários sob o mesmo regime de evidências. Nesse sentido, a literatura alerta para a dimensão social da técnica: “[...] a produção dos dashboards foi um empreendimento colaborativo, não simplesmente uma produção técnica” (Kitchin, 2021, p. 77-78). De forma complementar, uma ecologia de decisão robusta precisa equilibrar respostas rápidas (por exemplo, alertas de inundação, inspeções preditivas de risco, ajustes de sinalização dinâmica) com deliberação informada (por exemplo, revisão colegiada de impactos cumulativos, pactuação de contrapartidas ambientais, desenho participativo de medidas mitigadoras); por isso, convém observar que arquiteturas de agentes oferecem um léxico técnico para esse equilíbrio entre velocidade e justificabilidade: “[...] uma arquitetura geral [deve] incorporar uma variedade de tipos de tomada de decisão, das respostas reflexas à deliberação baseada em conhecimento” (Russell; Norvig, 1995, p. 843). Assim, quando os sistemas de IA são acoplados a rotinas institucionais – notas técnicas versionadas, pareceres públicos explicáveis, dashboards com camadas de incerteza e flags de viés –, o planejamento deixa de perseguir a “decisão perfeita” e passa a projetar a decisão justificável, isto é,

acompanhar políticas públicas em tempo real e intervir com sugestões ou denúncias. Zuboff (2019) alerta, entretanto, que tais tecnologias precisam ser orientadas por princípios éticos e de proteção coletiva, pois “[...] sem estruturas adequadas de governança, a captura de dados corre o risco de reforçar assimetrias de poder e transformar cidadãos em meros recursos informacionais” (p. 377), ressaltando que a tecnologia só se torna genuinamente cívica quando devolve poder deliberativo à sociedade. Ver: ZUBOFF, Shoshana. *The age of surveillance capitalism: the fight for a human future at the new frontier of power*. New York: Public Affairs, 2019.

⁹ Os dashboards e os gêmeos digitais vêm se consolidando como ferramentas centrais para o planejamento urbano e o licenciamento ambiental, pois permitem integrar dados em tempo real, simular cenários futuros e tornar as decisões mais transparentes para gestores e cidadãos. Enquanto os dashboards funcionam como painéis interativos de monitoramento, oferecendo indicadores acessíveis e comparáveis, os gêmeos digitais ampliam essa lógica ao criar representações virtuais dinâmicas de territórios, infraestruturas e processos urbanos, possibilitando testar hipóteses, prever impactos e avaliar alternativas antes de sua implementação. Para Kitchin (2021), esses recursos representam um salto metodológico, na medida em que “[...] decisões sobre quais dados incluir, como organizá-los e que análises visuais utilizar determinam não apenas o funcionamento do sistema, mas também sua legitimidade pública” (p. 74-75), evidenciando que a construção de dashboards e gêmeos digitais é tanto técnica quanto política. Ver: KITCHIN, Rob. *Data lives: how data are made and shape our world*. Bristol: Bristol University Press, 2021.

aquela que explicita pressupostos, evidencia trade-offs e admite revisões; e, ainda, quando visualizações 3D/VR e matrizes multicritério tornam palpáveis as interdependências entre redes (energia-água-transporte-telecom), o licenciamento ambiental ganha capacidade comparativa e memória institucional, pois cada iteração deixa rastro e cada rastro produz aprendizado coletivo; por isso, a IA, como mediadora, deve ater-se ao princípio de boundedness prática¹⁰ – prazos, dados, controvérsias –, entregando recomendações explicáveis e auditáveis, sintonizadas com justiça ambiental e governança distribuída.

Assim sendo, ao consolidar o debate sobre ecologias de decisão no planejamento urbano e no licenciamento ambiental, é preciso enfatizar que o desafio contemporâneo não se limita ao domínio técnico ou à adoção de ferramentas digitais, mas envolve a capacidade de construir uma arquitetura institucional e informacional que seja, ao mesmo tempo, eficiente, transparente e inclusiva. Em consequência disso, torna-se essencial compreender a IA não como um dispositivo externo ao processo, mas como parte constitutiva das práticas de governança que articulam dados, agentes e valores. A literatura sobre economia digital ajuda a elucidar esse ponto, pois demonstra que a disruptão não se dá apenas pela introdução de novos artefatos tecnológicos, mas pela forma como eles reconfiguram estruturas de poder e arranjos sociais. Brynjolfsson e McAfee registram: “[...] a segunda era das máquinas não se caracteriza apenas por mais velocidade de cálculo, mas por uma mudança qualitativa na maneira como as sociedades produzem riqueza e conhecimento” (2014, p. 49). Logo, esse raciocínio se aplica diretamente às cidades: a IA não apenas organiza dados de mobilidade ou simula cenários de poluição, mas redefine quem pode decidir, quem tem acesso às evidências e quais justificações podem ser publicamente sustentadas. Do mesmo modo, Floridi explica que “[...] a lógica da informação opera como um enquadramento filosófico que permite compreender e redesenhar conceitos centrais para a ação coletiva” (2019, p. 143), o que significa reconhecer que o uso da IA no planejamento urbano não é neutro, mas implica projetar normativamente as condições sob as quais dados, algoritmos e deliberações se conectam. Em outras palavras, a ecologia de decisão baseada em IA deve ser vista como um ambiente socioinformacional, no qual a transparência não é um subproduto, mas uma exigência constitutiva. Assim, pode-se afirmar que o futuro do licenciamento ambiental e do

¹⁰ O princípio de *boundedness* (ou racionalidade limitada) refere-se ao reconhecimento de que tanto seres humanos quanto sistemas artificiais operam sob restrições cognitivas, informacionais e temporais, não sendo capazes de considerar todas as alternativas possíveis em processos de decisão. No campo da inteligência artificial, esse princípio fundamenta o desenvolvimento de agentes que atuam de forma satisfatória dentro de limites definidos de informação e cálculo, em vez de buscar soluções ideais inatingíveis. Russell e Norvig (2010) explicam que “[...] um agente racional é aquele que faz o melhor possível, dentro de suas limitações de percepção e de tempo de processamento, para maximizar a performance” (p. 34), destacando que a *boundedness* é condição constitutiva da prática decisória tanto humana quanto algorítmica. Ver: RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

planejamento urbano dependerá da capacidade de combinar rigor analítico com justiça distributiva, explicabilidade algorítmica com deliberação pública e eficiência administrativa com participação cidadã. Essa combinação, por sua vez, reforça o papel das universidades e centros de pesquisa na produção de metodologias críticas, bem como na formação de profissionais aptos a compreender a tecnologia como meio de mediação política e não como fim em si mesmo. Dessa forma, o campo avança não apenas tecnicamente, mas socialmente, consolidando a IA como eixo de governança democrática e sustentável das cidades.

Diante desse cenário, logo após compreender a inteligência artificial como eixo estratégico para uma governança urbana mais democrática e sustentável, torna-se necessário descer ao campo aplicado e observar como essa tecnologia se insere diretamente no licenciamento ambiental, uma das áreas mais sensíveis e decisivas do planejamento urbano. É nesse ponto que a IA se revela um recurso indispensável, pois a complexidade de dados ambientais – qualidade do ar e da água, padrões de solo, indicadores de biodiversidade e riscos climáticos – desafia a capacidade de análise dos métodos tradicionais. Neste sentido, convém observar que os processos de licenciamento, historicamente marcados por lentidão e opacidade, podem ser transformados quando algoritmos são capazes de cruzar bases heterogêneas e identificar conexões invisíveis. Em consequência disso, o licenciamento deixa de ser apenas uma etapa burocrática e passa a constituir um espaço de integração de informações, em que cenários mais completos e consistentes são disponibilizados aos tomadores de decisão e à sociedade. Hu e Gao registram que “[...] a inteligência artificial geoespacial possibilita a integração de dados dispersos para fornecer insights ambientais que não poderiam ser obtidos de outro modo” (2023, p. 77), apontando como essa tecnologia potencializa análises que antes dependiam de procedimentos longos e fragmentados. Do mesmo modo, Russell e Norvig afirmam que “[...] a vantagem dos algoritmos inteligentes está em sua capacidade de manipular quantidades massivas de informação com eficiência, mantendo a coerência em análises complexas” (2010, p. 29), reforçando que a IA não substitui a responsabilidade pública, mas contribui para que ela seja sustentada em evidências robustas. Assim, ao organizar e correlacionar informações ambientais, a IA não apenas acelera etapas técnicas, mas também cria condições para que os debates públicos ocorram com maior clareza, fortalecendo a legitimidade das decisões sobre obras e ocupações urbanas. Dessa forma, o licenciamento ambiental mediado por IA se torna um exemplo concreto de como a tecnologia pode qualificar a governança democrática, conectando eficiência analítica com justiça ambiental.

O licenciamento ambiental, com seus diversos procedimentos e trâmites administrativos, será concluído com a aplicação da Inteligência Artificial (IA) baseada na Internet/web. Quase todos os campos exigem automação, a qual pode ser auxiliada pela inteligência artificial, além do gerenciamento de licenças ambientais que, até agora, tem se apoiado na inteligência humana e que será imediatamente substituído pela aplicação da tecnologia de IA baseada em dados e localização. Os produtos da IA são dados/informações sobre licenciamento ambiental, planejamento espacial, funções adequadas de edificações e taxas ambientais. De acordo com os padrões de arquitetura verde, automaticamente, esses dados informativos podem ser utilizados para necessidades futuras de licenciamento ou apenas como informações para demandas arquitetônicas. A legalidade é obtida por meio de transações bancárias para pagamentos de taxas e certificados digitais são emitidos (Hidayat; Satwiko, 2021, p. 1).

Contudo, como exemplo do seu uso, vale caminhar passo a passo por um fluxo típico de processamento de dados ambientais com IA numa licença de obra próxima a um rio: primeiro, reúnem-se os dados brutos – estações automáticas de qualidade da água (pH, turbidez, nitratos), sensores de ar (PM2.5, NO₂), imagens de satélite (Sentinel/Landsat) e séries meteorológicas, bem como registros de biodiversidade (armadilhas fotográficas, eDNA, listas de espécies); segundo, padronizam-se unidades, coordenadas e calendários, corrigindo lacunas e ruído; terceiro, descrevem-se e enriquecem-se os dados em “camadas” úteis (índices como NDVI para vegetação ribeirinha, cargas difusas estimadas por uso do solo, trajetórias de vento para dispersão de poluentes), além de se ligar tudo por grafos de conhecimento geoespacial para manter semânticas e interoperabilidade; quarto, escolhem-se modelos adequados ao tipo de variável e escala – por exemplo, redes convolucionais para interpretar pixels d’água em imagens, regressões de gradiente para previsão de concentrações no ponto de captação, e modelos espaço-temporais para séries de ar; quinto, treinam-se e validam-se os modelos com partições espaço-temporais (evitando “vazamento” entre bacias/estações), estimando incertezas por reamostragem; sexto, acoplam-se os preditores de IA a modelos físicos (p.ex., hidrológicos e de dispersão atmosférica) para simular cenários – com e sem intervenção, com medidas mitigadoras A/B, em diferentes regimes de chuva; sétimo, explica-se o porquê das previsões com XAI (importâncias, PDP/ALE, LIME), registrando as regras que mais pesaram, de modo a qualificar o debate técnico e público; oitavo, embalam-se resultados em painéis cartográficos interativos, com rastreabilidade de dados, versões e carimbos de auditoria. De igual maneira, esse encadeamento encontra respaldo na literatura, conforme Hu & Gao: “[...] a GeoIA tem como objetivo dar sentido aos dados vastos e diversificados, ajudando a ampliar nossa compreensão sobre os ambientes urbanos” (2023, pp. 351-352). Por isso, a etapa de explicabilidade não é ornamento, é requisito de governança, pontua Kabir et al. (2021, p. 9): “[...] a XAI adota um procedimento avançado, no qual se acrescenta uma camada suplementar capaz de explicar o resultado do modelo; caso sejam identificados vieses nos conjuntos de dados, estes podem ser devidamente corrigidos”. Assim, em outras palavras, o órgão licenciador pode ver – de maneira quase “didática” – como cada decisão emerge dos dados e dos modelos,

comparando cenários e trocas (trade-offs) com granularidade espacial e temporal; logo, o processo técnico ganha agilidade sem suprimir a deliberação pública, antes a qualifica com rastreabilidade, justificativas e simulações verificáveis.

Desse modo, imagine um corredor de adensamento orientado ao transporte (um eixo BRT + ciclovias) que atravessa bairros residenciais e áreas comerciais, demandando simulação integrada de tráfego, ruído, calor urbano e sombra de novas edificações; desse modo, passo a passo, o processamento com IA se organiza assim: primeiro, reúnem-se dados urbanos heterogêneos – contagens de veículos e de bicicletas por hora, GPS de ônibus, cadastros imobiliários (gabarito, coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação), mapas de arborização, sensores de ruído, séries térmicas de superfície via satélite, registros de acidentes e reclamações ambientais; segundo, padronizam-se unidades e calendários, georreferenciam-se camadas e deduplicam-se endereços, o que inclui casar lotes, frentes de quadra e fruição pública; terceiro, constrói-se um datalake espacial com esquema declarativo (linhagem, versões, metadados), permitindo rastreabilidade para cada cálculo; quarto, criam-se atributos derivados claros – densidade de empregos por quadra, largura efetiva de calçadas, índices NDVI/NDWI por face de quadra, isócronas a 5/10/15 minutos do BRT, centralidades de rede viária e cicloviária; quinto, selecionam-se modelos por fenômeno e escala: árvores de decisão em gradiente para previsões de ruído por frente de lote, modelos de escolha discreta/logit para partilha modal, LSTM para picos de demanda por parada, e agentes (ABM) para relocalização residencial e mudança de uso do solo; sexto, calibram-se e validam-se os modelos com partições espaço-temporais (evitando vazamento entre bairros e períodos), quantificando incertezas por reamostragem e, quando couber, por abordagens bayesianas; sétimo, acoplam-se simulações: cenários de altura máxima (12/18/24 andares), recuos alternativos, fachadas ativas, faixas de sombreamento, barreiras verdes e telhados frios, comparando impactos em poluição sonora, ilha de calor, exposição ao sol e emissões veiculares; oitavo, explica-se o porquê das previsões com XAI (importâncias, PDP/ALE, regras locais), registrando variáveis decisivas por subzona; nono, publica-se tudo em painéis cartográficos com trilhas de auditoria (dados → transformação → modelo → métrica) para qualificar a deliberação pública sem substituí-la; por fim, itera-se com oficinas e audiências, convertendo objeções da comunidade em novos cenários simulados. Nesse encadeamento, convém lembrar que a ideia de arquitetar sistemas que percebem e atuam orienta a própria modelagem: Russell e Norvig anunciam, “[...] um agente é qualquer entidade que pode ser compreendida como capaz de perceber o seu ambiente por meio de sensores e agir sobre esse ambiente por meio de efetuadores (1995, p. 31). De igual maneira, incorporar a variabilidade espaço-temporal e tratar a incerteza é condição de seriedade epistêmica. Para Hu e Gao (2023, p. 142): “[...] a incerteza geoespacial descreve as diferenças entre

os dados geoespaciais e os fenômenos ou processos reais correspondentes que eles representam [...] como é impossível criar uma representação perfeita do mundo real, infinitamente complexo, todos os dados geoespaciais estão sujeitos à incerteza". Assim sendo, a IA não "decide por nós", mas organiza dados, correlaciona camadas e produz comparações transparentes entre alternativas urbanísticas – por exemplo, mostrando que um cenário de adensamento com fachada ativa e arborização de rua reduz ruído e calor de forma mais custo-efetiva que um gabinete mais baixo, porém esparramado; por isso, as etapas técnicas tornam-se mais ágeis e auditáveis, enquanto a esfera pública ganha material robusto para negociar contrapartidas (habitação de interesse social no eixo, mitigadores de ruído, metas de cobertura arbórea) com base em evidências rastreáveis, isto é, facilitando decisões mais eficazes, legítimas e socialmente informadas.

De forma complementar, quando o objetivo é simular cenários de impacto de obras e ocupações por meio de modelagem preditiva, é fundamental transformar o processo em uma coreografia clara, passo a passo, que conecte dados, métodos e decisões públicas; assim, primeiro, define-se o escopo do problema (por exemplo, o efeito de três alternativas de ocupação mista sobre tráfego, ruído, emissões e escoamento pluvial numa macrozona); segundo, coleta-se um conjunto amplo de dados – contagens por hora de veículos/pedestres, séries meteorológicas, inventários de arborização, perfis topográficos, mapas de drenagem e uso do solo, registros de acidentes e queixas ambientais, imagens de satélite atualizadas; terceiro, padronizam-se unidades e calendários, georreferenciam-se as camadas, documenta-se a linhagem (quem mediu, quando, com que instrumento) e imputam-se lacunas com regras transparentes; quarto, engenheiram-se atributos úteis e interpretáveis (p. ex., NDVI por face de quadra, distância de paradas de BRT, conectividade viária, declividade média por sub-bacia, densidade de empregos, albedo de coberturas, indicadores de risco hídrico); quinto, selecionam-se algoritmos por fenômeno e escala – gradient boosting¹¹ para ruído por frente de lote, regressões espaciais para alagamento, LSTM para picos de demanda por parada, CNN para classificação de superfícies impermeáveis; sexto, calibra-se e valida-se com partições espaço-temporais (evitando "vazamento" entre bairros/anos), quantificando incertezas (intervalos, reamostragem, diagnóstico de viés); sétimo, acoplam-se simulações: cenários de gabinete (8/12/16

¹¹ O *gradient boosting* é uma técnica de aprendizado de máquina amplamente utilizada para tarefas de regressão e classificação, caracterizada pela construção sequencial de múltiplas árvores de decisão que, juntas, formam um modelo robusto e de alta acurácia. Seu funcionamento baseia-se na ideia de que cada nova árvore é treinada para corrigir os erros residuais das anteriores, otimizando uma função de perda por meio de gradientes. Russell e Norvig (2010) destacam que "[...] os métodos de aprendizado em conjunto, como *boosting*, combinam classificadores fracos de forma a produzir um preditor mais forte, reduzindo variância e viés em comparação a modelos isolados" (p. 749), o que explica sua popularidade em cenários que exigem previsões precisas e interpretáveis, como finanças, saúde, energia e planejamento urbano. Ver: RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

pavimentos), recuos, fachadas ativas, telhados frios, barreiras verdes, ruas completas; oitavo, explica-se cada predição com XAI (importâncias, curvas parciais, regras locais), convertendo o “cálculo opaco” em razões públicas; nono, publicam-se painéis cartográficos auditáveis (dados → transformação → modelo → métrica), criando uma trilha de auditoria que sustenta contrapartidas (habitação de interesse social, metas de cobertura arbórea, drenagem sustentável) sem substituir a deliberação, mas qualificando-a com comparações verificáveis. Kitchin introduz com precisão esse salto metodológico: “[...] avançar além da análise visual para realizar análise de dados, modelagem estatística, previsões e simulações” (2021, p. 75). Do mesmo modo, e para lidar com impactos multissetoriais, Hu e Gao (2023, p. 262) registram: “[...] simulação de crises e modelos de impacto [...] avaliação de vulnerabilidade e risco: integração de dados socioeconômicos e ambientais para identificar hot spots e populações em risco”. Em consequência disso, pode-se afirmar que algoritmos preditivos não são um atalho tecnocrático, mas sim mediadores de cenário: tornam explícitos os trade-offs, exibem incertezas e ajudam a ordenar prioridades – por exemplo, demonstrando que um cenário com adensamento próximo ao transporte, arborização de rua e soluções baseadas na natureza reduz ruído e calor com melhor razão custo-benefício do que um espalhamento de baixa densidade; e, ainda, porque o pipeline é rastreável, os pareceres técnicos deixam de ser “caixas-pretas”, passam a dialogar com conselhos e audiências, e reforçam a legitimidade de decisões sobre obras e ocupações em ecologias de decisão verdadeiramente distribuídas.

As aplicações de GeoIA para avaliação de vulnerabilidade e risco geralmente exigem a integração de múltiplas fontes de dados socioeconômicos e ambientais. Essa integração permite não apenas prever onde os desastres podem ocorrer, mas também identificar quais populações estarão mais em risco. A simulação de crises e os modelos de impacto baseados em GeoIA podem, assim, apoiar a formulação de políticas proativas ao oferecer representações explícitas de incertezas, comparações entre cenários e diagnósticos de hotspots. Ao combinar modelos preditivos com dados espaciais em tempo real, torna-se possível fornecer aos gestores públicos ferramentas auditáveis que transformam cálculos opacos em razões públicas e abrem caminho para processos de tomada de decisão mais participativos e responsáveis¹² (Hu; Gao, 2023, p. 263).

Além disso, convém observar que prever enchentes urbanas com IA exige, primeiro, traduzir a hidrologia em dados e, depois, transformar dados em decisões; desse modo, organize-se em etapas claras: (1) coleta de séries históricas de chuva (pluviômetros e radares), níveis de rios (telemetria), relevo (modelos digitais de elevação), uso e cobertura do solo (imagens de satélite), drenagem (cadastros de galerias) e registros de alagamentos; (2) limpeza e alinhamento espacial/temporal, removendo outliers de sensores, corrigindo falhas e reprojetando tudo para a mesma malha, por

¹² Tradução nossa.

exemplo quadrículas de 100 m; (3) engenharia de atributos simples e interpretáveis – índice de precipitação antecedente, intensidade máxima em 1 h/3 h/6 h, tempo de concentração, declividade, índice topográfico de umidade, percentuais de área impermeável e de vegetação, distância a cursos d’água, diâmetros de tubulações; (4) rotulagem do fenômeno a prever-vazão de pico em bacias, cota d’água em seções, probabilidade de alagamento por célula, usando marcas de cheia, imagens SAR de eventos ou ocorrências de defesa civil; (5) treinamento de modelos adequados à natureza espaço-temporal: LSTM/TCN para séries de chuva-vazão, florestas aleatórias e gradient boosting para variáveis tabulares, CNNs sobre rasters de relevo/uso do solo, e, quando há rede de drenagem explícita, GNNs que aprendem no grafo de condutos; (6) validação espaço-temporal com blocking (separa anos/bacias) para evitar fuga de informação; (7) hibridização físico-informada, acoplando o aprendizado de máquina ao SWMM/HEC-HMS para respeitar conservação de massa e momento; (8) interpretação com SHAP/permutações para explicar quais fatores elevam o risco (chuva antecedente vs. impermeabilização, por exemplo); (9) simulação de cenários ao variar curvas IDF, retorno de 10/25/100 anos, e alternativas de infraestrutura verde/cinza; (10) desdobramento operacional, com limiares para alerta, mapas de calor de risco e playbooks de resposta. Em termos conceituais, como lembram Hu e Gao, métodos GeoAI foram justamente motivados para aproveitar volumes e heterogeneidades de dados que métodos clássicos não alcançam. Hu e Gao (2023) resumem o fluxo de predição espacial: “[...] primeiro selecionam-se locais de amostragem; segundo, define-se a estrutura espacial; por fim, as relações derivadas são usadas para predizer valores em locais não observados” (p. 113). E, de forma complementar, é importante destacar que a própria pressão climática e a urbanização pavimentada ampliam o pano de fundo do problema. Derrible (2025) assinala que “[...] o termo ‘chuva de cem anos’ significa 1% de chance anual, não um único evento por século; cidades devem combinar infraestrutura verde e cinza, reconhecendo que eventos ainda maiores podem ocorrer” (p. 85). Em prática concreta, um município pode rodar nowcasting com radar a cada 5 min, atualizar o índice de precipitação antecedente por célula, alimentar um TCN que devolve a probabilidade de lâmina d’água >10 cm nas próximas 2 h, cruzar com vulnerabilidade social (idosos, escolas, hospitais) e, portanto, priorizar bueiros críticos para limpeza preventiva; na escala de projeto, simula-se a troca de 30% do asfalto por pavimento permeável e a inserção de 20 bioswales por quarteirão, compara-se a redução de pico (ΔQ) e o atraso do hidrograma contra o cenário base, e, em consequência disso, elabora-se um memorial descritivo com custos, benefícios e incertezas. Contudo, para não substituir a deliberação pública, mas sim qualificá-la, os dashboards devem expor premissas, intervalos de confiança e compromissos – por exemplo, mostrando que uma solução de bacias de detenção reduz alagamentos no centro, porém deslocam riscos a jusante se não houver by-pass; desse

modo, a IA age como mediadora técnico-explicativa, tornando audíveis as trocas entre eficiência hidráulica, justiça territorial e orçamentos, enquanto comitês, audiências e conselhos decidem à luz de evidências inteligíveis.

No entanto, quando se trata de planejamento de mobilidade urbana sustentável, a contribuição da IA torna-se particularmente fecunda ao analisar fluxos de transporte, consumo de energia e emissões, e ao simular cenários que priorizam transporte público, ciclovias e pedestres; desse modo, em um encadeamento claro e minucioso, o fluxo de trabalho pode ser descrito passo a passo: (1) coleta de dados multimodais – bilhetagem (AFC), horários e trajetos (GTFS), telemetria de ônibus e ride-hailing (AVL/GPS), contagens automáticas de bicicletas, sensores de pedestres, matrizes OD móveis, perfis de velocidade e ocupação por classe veicular, além de fatores de emissão (por combustível, por velocidade e por gradiente) e fator de carbono da rede elétrica; (2) padronização e alinhamento – limpar ruídos, unificar calendários, mapear tudo a uma malha espaço-temporal comum (por exemplo, hexágonos de 250 m por intervalos de 15 min), manter linhagem de dados e metadados de qualidade; (3) engenharia de atributos – densidade de empregos por quadra, isócronas de acesso ao BRT/metrô em 5/10/15 min, conectividade de rede cicloviária e de calçadas (graus, betweenness), velocidade média por link, ocupação média por linha, fatores de carga, custo generalizado porta-a-porta, e, ainda, intensidade energética (MJ/passageiro-km) e emissões (gCO₂e/passageiro-km) por modo; (4) modelagem preditiva – gradient boosting ou random forests para ruído e NO₂ por frente de lote, LSTM/Transformers para picos de demanda por estação, modelos de escolha discreta (logit) para partilha modal, e ABM (p.ex., MATSim) para simular decisões individuais de rota e modo; (5) hibridização físico-informada – acoplar a previsões de IA modelos de emissão por velocidade (curvas por classe veicular) e inventários energéticos por tecnologia (diesel, elétrico, híbrido), além de avaliar variação de emissões por fator de carbono da rede elétrica nas frotas eletrificadas; (6) simulação de cenários – baseline vs. faixas de ônibus dedicadas, prioridade semafórica, adensamento orientado ao transporte, redes cicláveis contínuas, calçadas acessíveis e zonas de baixa emissão; (7) explicabilidade (XAI) – importar importâncias globais, curvas parciais (PDP/ALE) e regras locais que mostrem, por exemplo, como distância à estação e densidade de empregos mudam a probabilidade de migração para o transporte público, ou como largura de calçada e continuidade cicloviária alteram o fluxo ativo; (8) publicação auditável – dashboards com trilhas de auditoria (dados → transformação → modelo → métrica), camadas de incerteza e diffs entre versões, para que a deliberação pública seja qualificada por evidências e não substituída por elas. Derrible (2025, p. 20) enfatiza o princípio orientador ao lembrar: “[...] mais tráfego lento traduz-se em uma panaceia de benefícios, incluindo tráfego mais suave, cidades mais habitáveis e economicamente prósperas e menos emissões de gases de efeito

estufa”, reforçando que hierarquias de modos que priorizam andar e pedalar, seguidas de transporte coletivo, tendem a maximizar benefícios sociais e ambientais. De forma complementar, e para ater o argumento ao uso concreto da IA, vale destacar que “[...] a IA pode auxiliar planejadores urbanos a prover redes de gestão de tráfego e de transporte público mais equitativas, além de prever e analisar a qualidade do ar nas cidades, publicando resultados que informam administrações e formuladores de políticas” (Yigitcanlar, 2024, p. 20), o que alinha ciência de dados, saúde pública e mitigação climática em um mesmo horizonte de planejamento. Dessa forma, à medida que os cenários com faixas exclusivas, ciclovias conectadas e calçadas contínuas deslocam viagens para modos de menor intensidade de carbono e menor energia por passageiro-km, a IA opera como mediadora explicável: consolida dados heterogêneos, revela relações antes invisíveis e torna comparáveis as alternativas – por exemplo, mostrando que uma combinação de corredores de ônibus com prioridade semafórica, mais malha ciclável contínua e requalificação de calçadas entrega reduções superiores de emissões e ruído, com custos marginais decrescentes e ganhos de acesso social. Em consequência disso, o planejamento deixa de girar em torno de caixas-pretas e passa a operar sob razões públicas auditáveis, nas quais eficiência, justiça espacial e sustentabilidade climática são tratadas como metas integradas e verificáveis.

Assim, quando o foco é simulação energética de empreendimentos – prédios isolados e conjuntos habitacionais –, a IA atua como mediadora técnico-explicativa, organizando dados heterogêneos e convertendo-os em cenários comparáveis para o licenciamento e para a gestão. Para deixar claro, segue o passo a passo: (1) coleta-se tudo que importa – geometrias de edificações (BIM/CityGML), materiais de fachada e cobertura, razão janela-parede, orientação e sombreamento, calendários de ocupação por uso (residencial, serviços, comércio), inventário de equipamentos (HVAC, iluminação, plug loads), séries climáticas locais (TMY, extremos de calor) e dados de medição inteligente (AMI) quando disponíveis; (2) padronizam-se unidades (W, kWh/m²·ano), calendários e coordenadas, além de se registrar a linhagem de dados (quem mediu, quando, com que precisão); (3) engenheiram-se atributos interpretáveis: transmitância térmica (U-value), inércia (massa térmica), fator solar do envolto, sombreamento por vizinhança, perfis de uso horário, densidade de pessoas e de equipamentos, além de indicadores de ilhas de calor por face de quadra; (4) escolhem-se modelos por fenômeno e escala – gradient boosting para EUI (kWh/m²·ano) e picos de demanda, LSTM/Transformers para séries horárias (carga térmica e elétrica ao longo do dia), CNN para extrair padrões de cobertura e sombreamento de ortoimagens, e GNN para redes de aquecimento/refrigeração distrital; (5) hibridiza-se o aprendizado com simuladores físicos (p.ex., EnergyPlus, Modelica/E+ acoplado) para respeitar balanços de energia e conforto, gerando as “curvas” de consumo sob

diferentes envelopes e sistemas; (6) calibra-se com AMI: ajustam-se parâmetros até que os erros entre medição e simulação fiquem dentro de faixas (p.ex., NMBE/ CV(RMSE) aceitos por ASHRAE Guideline 14), exibindo incertezas e sensibilidades; (7) simulam-se cenários – isolamento adicional vs. vidros de alto desempenho; trocas de HVAC (gás → bomba de calor); telhados frios e verdes; fotovoltaico mais bateria; controle inteligente de iluminação; tarifas horárias e resposta à demanda (deslocamento de carga fora do pico); (8) convertem-se resultados em indicadores comuns – EUI, pico (kW), intensidade de carbono horária (gCO₂e/kWh) considerando o fator de emissão da rede, custo total de ciclo de vida e conforto (horas fora da zona aceitável); (9) explica-se o porquê das previsões com XAI (importâncias, curvas parciais, regras locais), traduzindo o cálculo em razões públicas; (10) publica-se tudo em dashboards auditáveis (dados → transformação → modelo → métrica), com versões, premissas e trilhas de auditoria – qualificando, assim, a deliberação sem substituí-la. Para fundamentar a urgência das melhorias de operação e projeto, Derrible (2019, p. 56-61) registra: “[...] estimamos que mais de 100 milhões de MWh (mais de 100 TWh) de energia foram perdidos em 2012 devido ao excesso de resfriamento em edifícios comerciais nos Estados Unidos [...] financeiramente, foi uma perda de mais de US\\$ 10 bilhões, e ambientalmente, de mais de 55 Mt CO₂e”. De forma complementar, e para ancorar o uso da IA no gesto governamental cotidiano, vale lembrar que “[...] IA na gestão de sistemas de tráfego, na detecção de crimes, no monitoramento da qualidade do ar, na gestão eficiente de energia e em sistemas de detecção de vazamentos de água (Jha et al., 2021, p. 938), evidenciando que a inteligência artificial já sustenta a gestão eficiente de energia no repertório das cidades inteligentes, ao lado de outras funções urbanas. Em consequência disso, pode-se afirmar que a simulação energética mediada por IA acelera etapas técnicas – limpeza, calibração, previsão e comparação –, ao mesmo tempo em que explicita trade-offs (p.ex., custo vs. conforto vs. emissões), fornecendo aos pareceres do licenciamento cenários transparentes e auditáveis: ora mostrando que bombas de calor, mais envelope reforçado reduzem picos e emissões com melhor razão custo-benefício, ora revelando que telhados frios precisam ser combinados com sombras e vegetação para evitar ofuscamento e calor refletido na rua; desse modo, eficiência, legitimidade e justiça climática tornam-se metas integradas e verificáveis na decisão sobre empreendimentos.

Desse modo, ao tratar da avaliação de ruídos urbanos de forma tecnicamente rigorosa e socialmente útil, convém observar que um pipeline de IA para poluição sonora começa, de modo quase artesanal, pela captação física: microfones calibrados (idealmente Classe 1) registram pressão sonora contínua em pontos estratégicos, e, logo após, um módulo de pré-processamento aplica ponderações (A/C/Z), remove rajadas espúrias e normaliza níveis instantâneos; em seguida, o sistema calcula indicadores agregados (Leq, L10, L50, L90), gera espectrogramas e extrai características

(bandas 1/3 de oitava, centroides, entropia espectral) para alimentar modelos; de igual maneira, um bloco de classificação – por exemplo, redes convolucionais treinadas em clipes rotulados – distingue eventos (buzinas, britadeiras, tráfego pesado) e separa a “base” de ruído do ruído de eventos; posteriormente, com dados qualificados, a etapa de interpolação geoespacial (IDW/krigagem) projeta mapas de calor em quadras, e a simulação de propagação aplica atenuações por distância, barreiras, relevo e fachadas, compondo cenários com e sem mitigação; não apenas, mas também, o módulo de análise normativa compara os níveis simulados com limites legais por uso do solo e período (diurno/noturno), enquanto o painel explicável registra traços de decisão (quais fontes, quais ponderações, quais parâmetros) para auditoria pública. Kitchin, 2021, p. 19-20: “[...] você cria os dados. Por meio dos seus sensores de som [...] provavelmente em decibéis, certo?”, o que ressalta que a medição acústica é sempre uma construção técnico-social, dependente de escolhas sobre sensores, posicionamento e métricas, e, por isso, a curadoria metodológica é tão essencial quanto os algoritmos. Desse modo, um projeto de licenciamento pode comparar, passo a passo, três configurações de obra: (1) cenário de referência (sem intervenção), (2) cenário de construção (com maquinário, horários, rotas de caminhões) e (3) cenário de operação (tráfego induzido, equipamentos permanentes), estimando impactos em fachadas sensíveis, escolas e hospitais; em consequência disso, a IA permite intervir no desenho – por exemplo, mudando horários de carga, erguendo barreiras acústicas modulares, redirecionando linhas de ônibus – e recalcular rapidamente os efeitos, qualificando a deliberação pública sem substituí-la. Russell e Norvig afirmam: “[...] sensores ruidosos podem ser tratados construindo primeiro um modelo probabilístico do sensor e, então, usando atualização Bayesiana para integrar a informação ao longo do tempo”, (1995, p. 785), o que legitima, tecnicamente, o emprego de filtros e de fusão temporal/espacial para estabilizar mapas de ruído em ambientes urbanos complexos. Por isso, uma rotina clara de uso — coletar → limpar → descrever → classificar → espacializar → simular → comparar com norma → explicar decisões — torna o processo replicável, auditável e transparente; no entanto, cabe ressaltar que a governança dos dados (políticas de anonimização, retenção, abertura) deve acompanhar o ciclo analítico, uma vez que medições podem inferir padrões de presença e hábitos; ainda assim, quando as cidades documentam cada parâmetro (microfone, taxa de amostragem, janela de análise, limiares de detecção, semivariograma escolhido, parâmetros de propagação), o licenciamento acústico ganha previsibilidade e justiça procedural; assim sendo, um painel público que mostre antes/depois por quadra e por período – com trilhas de auditoria e justificativas legíveis – reduz opacidades, alinha expectativas e orientam contrapartidas proporcionais, tornando mais ágeis as etapas técnicas e, ao mesmo tempo, mais legítimas as decisões coletivas.

Avanços recentes em GeoIA permitem a integração de diversas fontes de dados, como imagens em nível de rua, redes de sensores e informações geográficas voluntárias, para estimar e modelar paisagens sonoras urbanas. Por exemplo, Zhao et al. (2023) demonstraram que a intensidade sonora prevista pode ser derivada de imagens de rua em alta resolução, revelando padrões de ruído urbano que antes eram invisíveis. Ao acoplar essas imagens a medições de ruído, irradiação solar e outras variáveis ambientais, as abordagens de GeoIA oferecem precisão superior na previsão do conforto humano e da qualidade ambiental em comparação com modelos tradicionais. Combinando múltiplos conjuntos de dados – dispositivos vestíveis, aplicativos de smartphones e sensores ambientais – os pesquisadores podem captar dados fisiológicos, conforto humano e exposição ao ruído em tempo real, gerando modelos espaço-temporais explícitos que sustentam previsões sensíveis ao local e simulações centradas nas pessoas. Essa linha de pesquisa exemplifica como a GeoIA pode fornecer percepções mais precisas, transparentes e acionáveis para o planejamento urbano e a governança ambiental (Hu; Gao, 2023, p. 355-356).

Neste sentido, quando o objetivo é monitorar desmatamento e mudanças de uso do solo para apoiar o licenciamento, a IA trabalha como uma “máquina de lupa” sobre séries de imagens de satélite, detectando alterações com precisão e rapidez, e verificando se obras respeitam APPs e zonas de proteção; para ficar claro, segue o passo a passo: (1) coleta de imagens multitemporais (Sentinel-2, Landsat, eventualmente Planet) e de DEM para relevo; (2) pré-processamento com correção atmosférica, máscara de nuvem/sombra (p.ex., QA bits/Fmask) e mosaico temporal; (3) engenharia de bandas/índices que “fazem as cores falarem” – NDVI/EVI para vigor da vegetação, NDWI para água, NBR para detectar degradação/queima, além de texturas por janela móvel; (4) alinhamento espaço-temporal em uma malha fixa (p.ex., hexágonos de 30 m) e rotulagem de treino com amostras de referência (áreas sabidamente florestadas, pastagens, solo exposto); (5) modelagem de classificação (U-Net/DeepLab para segmentação semântica; gradient boosting para tabulares) e detecção de mudança bi-temporal (Δ NDVI, Δ NBR) e multitemporal (BFAST/rupturas), inclusive com séries mensais; (6) validação com particionamento por bacia/município para evitar “vazamento” e cálculo de matriz de confusão e IoU; (7) pós-processamento morfológico (abertura/fechamento) e eliminação de “falsos positivos” por regras físico-ecológicas (p.ex., persistência mínima de 2 ou 3 épocas); (8) georreferenciamento jurídico – sobreposição das mudanças detectadas com polígonos de APP (margens de cursos d’água, nascentes, manguezais) e zonas de proteção do plano diretor/zoneamento ecológico-econômico; (9) cálculo de conformidade (interseção área-a-área, buffers ripários parametrizados por largura do corpo hídrico, declividade/altimetria para topos de morro), emitindo flags automáticos para análise técnica; (10) explicabilidade e auditoria – trilha dados → índices → modelo → mapa, curvas de importância (SHAP/PDP), versões e diffs cartográficos para que a deliberação pública seja qualificada, não substituída. Hu e Gao (2023, p. 83) afirmam: “[...] RNNs emparelhadas com CNNs são poderosas para lidar com sequências temporais envolvidas na detecção de mudanças”, sintetizando por que os arranjos espaço-temporais elevam a sensibilidade para cortes

súbitos e degradações graduais. Do mesmo modo, “[...] a integração de aprendizado de máquina e sensoriamento remoto eleva a precisão, oferece monitoramento em tempo real e melhora a adaptabilidade a ambientes urbanos dinâmicos”, reforçando que decisões sobre uso da terra e fiscalização ganham escala e ritmo quando automatizadas com IA (Yigitcanlar, 2024, p. 113). Em prática concreta, uma secretaria ambiental pode rodar comparações mensais de cenas Sentinel-2 para detectar clareiras >0,25 ha; qualquer polígono de mudança que toque o buffer ripário parametrizado (APP) dispara verificação: o sistema cruza a obra licenciada (e seus shapes de canteiro/acessos) com o mapa de mudança, distingue supressão autorizada de supressão irregular e calcula medidas compensatórias; paralelamente, ajustes por relevo (declividade/curvatura) e distância a drenagens, reduzem falso-positivos em sombra de relevo e margens úmidas. Assim, em consequência disso, o licenciamento passa a dispor de mapas comparáveis entre alternativas de traçado ou de implantação – por exemplo, corredor viário A versus B –, com indicadores comuns (área convertida, proximidade de APP, conectividade de habitat, risco de erosão), heatmaps de incerteza e justificativas legíveis; e, ainda, ao publicar painéis com antes/depois e trilhas de auditoria, a administração transforma o monitoramento remoto em razões públicas auditáveis, acelerando etapas técnicas e, ao mesmo tempo, fortalecendo a legitimidade das decisões em ecologias de decisão distribuídas.

Além disso, para que a agilidade técnica da IA no licenciamento ambiental não deslize para tecnocracia, convém organizar o processo como uma governança de modelos explícita, isto é, um encadeamento institucional que vá do dado ao parecer com trilhas de auditoria e pontos de controle cívicos: cadastro de fontes e qualidade dos dados; fichas do modelo (objetivo, variáveis de entrada, limites de uso, métricas de desempenho e de justiça); protocolo de validação espaço-temporal e de stress testing (eventos extremos, mudança de uso e ocupação, deslocamentos demográficos); camadas de explicabilidade (globais e locais) para transformar previsões em razões públicas; e, por fim, integração com deliberação – oficinas de cenários, audiências, conselhos. Dessa forma, os tempos de análise se encurtam sem que o escrutínio social se perca: a equipe técnica trabalha em ciclos curtos e reprodutíveis, enquanto os conselhos veem as hipóteses, comparam alternativas e verificam incertezas. Kabir et al., (2021, p. 9): “[...] o ponto crítico no fluxo tradicional de ML é que a previsão vem sem informar a razão, o que pode confundir o usuário; em contraste, a XAI acrescenta uma camada que explica o resultado e ajuda a assegurar imparcialidade” (tradução nossa). Em complemento, a própria legitimidade do licenciamento depende de reconhecer limitações sociopolíticas das plataformas urbanas, e de deslocar a promessa de “cidade inteligente” para processos realmente centrados no cidadão. Kitchin foi dos primeiros críticos dos sistemas de cidade inteligente, uma vez que diz respeito sobre gerar lucro e exercer governança do que melhorar a

qualidade de vida (2019-2021, p. 192-193). Portanto, a boa prática é casar explicabilidade técnica e participação substantiva. Isto é, cada relatório traz cartas do modelo (hipóteses, dados, versões), cada mapa de risco exibe intervalos e sensibilidades; cada recomendação explicita trade-offs (por exemplo, entre adensamento e conforto térmico, entre prazos de obra e mitigação hídrica), e cada decisão pública referencia cenários comparáveis com métricas comuns (emissões, ruído, perda de hábitat, acessibilidade social). Assim, agiliza-se o que é computacional – limpeza, treinamento, simulação, visualização –, ao mesmo tempo em que se qualifica a deliberação, pois o debate passa a operar sobre evidências verificáveis e justificativas que qualquer parte interessada pode auditar. Nesse arranjo, o ganho não é apenas de velocidade, mas, sobretudo, de transparência, eficácia e legitimidade na mediação entre ocupação territorial e preservação ecológica; e, para validar o argumento com um caso típico, os pareceres podem adotar dashboards de versão pública onde a cada iteração se arquivam dados, parâmetros e resultados, prevenindo a “caixa-preta” e fortalecendo a confiança coletiva nas decisões.

Diante desse contexto, quando o debate público se apoia em representações visuais claras – mapas interativos, simulações acessíveis, painéis que mostram “[...] o que está acontecendo agora” e “[...] o que pode acontecer depois” –, a assimetria de informação diminui, as pessoas se sentem convocadas a opinar e, do mesmo modo, o processo decisório ganha legitimidade. Em outras palavras, visualizações bem desenhadas fazem o “trabalho democrático” de traduzir jargões técnicos em pistas compreensíveis para qualquer morador, isto é, deslocam o foco da autoridade técnica isolada para a inteligência coletiva situada. Por isso, convém observar que a própria ciência de dados prevê a etapa de apresentação dos resultados como parte constitutiva do ciclo analítico, e não como um adorno final. Logo, “[...] a apresentação do conjunto de resultados pode ser tão simples quanto uma lista ranqueada de títulos de documentos ou tão complexa quanto um mapa rotativo de cores do conjunto de resultados projetado em um espaço tridimensional, renderizado como uma exibição bidimensional” – como observam Russell e Norvig (2010), que enfatizam a materialidade pública do “como” mostrar antes do “que” decidir (p. 868-869). E, de forma complementar, a governança de dados que alimenta esses mapas e painéis precisa ser auditável, com rastreabilidade de coleta, uso e compartilhamento, sob pena de a visualização “brilhar” sem oferecer garantias; nessa direção, Hu e Gao afirmam: “[...] precisamos de avaliação independente e regulações intergovernamentais sobre coleta, armazenamento e uso dos dados [...] a necessidade de tal transparência é premente” (2023, p. 399). Assim, portanto, quando as plataformas municipais publicam, em tempo quase real, séries históricas de qualidade do ar por bairro, camadas geográficas de vulnerabilidade e estimativas de impacto de projetos, o diálogo social deixa de ser um “sim/não” abstrato e passa a ser uma deliberação informada sobre alternativas, trade-offs e

salvaguardas. Logo, dashboards públicos deixam de ser vitrines e tornam-se arenas, isto é, espaços de disputa argumentada com base em evidências, onde os moradores, bem como conselhos e órgãos técnicos, podem “ver juntos” antes de “decidir juntos”.

Nas semanas seguintes, o painel de controle protótipo foi reconfigurado à medida que novas ferramentas e ferramentas já existentes foram incorporadas em uma interface recém-projetada. Houve várias reuniões internas e externas, que incluíram discussões e tomadas de decisão a respeito dos dados a serem incluídos, da organização do site e do design da interface. Foi necessário fazer escolhas relativas às análises visuais a serem utilizadas e como elas seriam configuradas. Continuamos a tentar obter novos dados e descobrir ferramentas de dados existentes para a cidade. Conseguir acesso a conjuntos de dados foi um problema constante, com bloqueios devido à falta de recursos para torná-los abertos, ou por temores relacionados à proteção de dados, segurança dos dados e qualidade dos dados. No final de julho, tínhamos um sistema funcional, embora apenas oito dos 12 módulos principais planejados estivessem substancialmente completos e ainda houvesse muitos ajustes a serem feitos. Mesmo assim, nossa preferência foi buscar um lançamento oficial do site nos próximos meses para tentar alavancar conjuntos adicionais de dados e construir relações de trabalho com outros provedores de dados¹³ (Kitchin, 2021, p. 74-75).

Desse modo, para que a transparência se traduza em participação social efetiva é fundamental transformar dados técnicos em narrativas visuais que façam sentido para quem vive o território, isto é, mapas interativos com camadas acionáveis, simulações passo a passo que explicam causas e efeitos, e dashboards de acompanhamento que mostrem metas, prazos e responsáveis; desse modo, a IA cumpre um papel de mediação cognitiva – limpa, integra e correlaciona bases heterogêneas, gera indicadores interpretáveis e, por fim, “conta a história” por meio de interfaces acessíveis (legendas claras, contraste adequado, leitura em dispositivos móveis, tooltips pedagógicos). Por isso, no desenho de políticas e consultas públicas, vale destacar que a curadoria do que mostrar, como mostrar e com que frequência mostrar é tão estratégica quanto o algoritmo de previsão. Assim, ao documentar versões, métodos e incertezas, os painéis deixam de serem vitrines e passam a operar como arenas de prestação de contas. Para Kitchin: “[...] o plano era criar um painel urbano composto por diversos módulos que exibiriam dados de indicadores-chave de desempenho [...] utilizaríamos apenas dados abertos [...] acessíveis e de fácil uso [...] interativo, permitindo que os usuários explorassem os dados” (2021, p. 70-71). E, de forma complementar – agora deslocando o design para a infraestrutura semântica que sustenta essa abertura –, Hu & Gao afirma (2023, p. 416): “[...] a ideia subjacente é criar dados inteligentes, e não aplicações inteligentes [...] aprimorando a recuperação, a integração e a reutilização dos dados”, o que significa que grafos de conhecimento e ontologias tornam os dados autoexplicativos e reutilizáveis por diferentes interfaces públicas. Assim, em consequência disso, quando a prefeitura publica um mapa interativo de qualidade do ar com atualização horária, anexa

¹³ Tradução nossa.

séries históricas e mostra a importância relativa das variáveis (explicabilidade), a comunidade consegue comparar bairros, identificar injustiças espaciais e propor contrapartidas factíveis; quando o painel de obras exibe cronogramas e impactos simulados com links para documentos e versões, conselhos e coletivos podem pautar prioridades com base em razões públicas auditáveis.

Logo, convém observar que transparência efetiva e participação social qualificada dependem, antes de tudo, de tornar o “teoricamente invisível” em algo inteligível para públicos diversos. Por isso, mapas interativos, simulações gráficas e painéis de acompanhamento podem funcionar como tradutores entre linguagem técnica e experiência cotidiana, não apenas exibindo indicadores, mas encadeando causas e consequências de modo explorável, bem como registrando incertezas e limites. Em outras palavras, quando a cidade se vê no espelho de seus dados – tráfego, qualidade do ar, filas de saúde, licenças ambientais – as disputas deixam de ser exclusivamente retóricas e passam a dialogar com evidências auditáveis. Desse modo, dashboards urbanos com filtros por bairro, séries históricas e notas metodológicas ampliam accountability e, ao mesmo tempo, criam condições para o contraditório informado (por exemplo, uma comunidade pode “perfurar” um gráfico de emissões até o nível do empreendimento específico, anexar comentários e propor contramedidas). Rob Kitchin observa que um caminho institucional para esse salto é construir infraestruturas abertas e ferramentas de visualização de longo curso: “[...] criando ferramentas interativas online para visualização e mapeamento de dados, incluindo: o All-Island Research Observatory [...] e o Building City Dashboards [...] que informam os usuários sobre o desempenho das cidades” (2021, p. 10). De forma complementar, quando essas camadas interativas se alimentam de grafos de conhecimento geoespaciais, a mediação se aprofunda, pois dados heterogêneos – ambientais, demográficos, de eventos extremos – são costurados em consultas de poucos segundos que respondem “[...] o que há aqui?”, “[...] o que já ocorreu?” e “[...] como este lugar se compara a outros?”, permitindo que coletivos locais julguem projetos com base em evidências comparáveis. Logo, painéis de acompanhamento desenhados com princípios de usabilidade, acessibilidade e explicabilidade – por exemplo, camadas alternáveis, legendas claras, indicadores de qualidade de dado, links para fontes e notas de método – não apenas democratizam a leitura de modelos e cenários, mas redistribuem poder hermenêutico, isto é, tornam o “ver” e o “contestar” direitos de todos e não de poucos. Portanto, cabe ressaltar que a participação deixa de ser ritualística quando cidadãos podem reproduzir resultados, baixar bases, rodar simulações alternativas e anotar divergências. Em consequência disso, consultas públicas ganham substância, órgãos licenciadores reduzem assimetrias informacionais, e empreendedores passam a antecipar salvaguardas ambientais e sociais desde o anteprojeto. Assim, não se pode ignorar que, para tanto, é vital publicar metadados, trilhas de auditoria e versões a fim de

que cada atualização seja verificável. Desse modo, pode-se afirmar que a abertura visual analítica – ancorada em dados governáveis e grafos integradores – desloca a gramática da participação do depoimento para a coanálise, do “falar sobre” para o “investigar com”.

Soma-se a isso, para que transparência e participação social deixem de ser lemas e se tornem prática cotidiana, é fundamental alinhar infraestrutura de dados, explicabilidade algorítmica e linguagem visual inclusiva, isto é, desenhar um circuito em que a IA organiza e correlaciona bases heterogêneas, os padrões FAIR garantem reuso e interoperabilidade, e as interfaces públicas traduzem tudo em mapas, simulações e painéis comprehensíveis. Desse modo, um fluxo mínimo pode ser descrito: (1) inventariar dados urbanos e ambientais, (2) padronizar metadados e vincular ontologias, (3) construir um grafo de conhecimento que permita consultas por lugar e tema, (4) treinar modelos preditivos com validação espaço-temporal e registrar incertezas, (5) expor indicadores em dashboards com trilhas de auditoria (dados → transformação → modelo → métrica), (6) publicar camadas interativas com notas metodológicas e links para download, (7) captar feedbacks comunitários e reprocessar cenários. Em consequência disso, as consultas públicas passam a operar sobre alternativas mensuráveis e não sobre opacidades. Dito isso, para Kitchin é preciso criar “[...] o projeto Building City Dashboards (BCD), que criou os painéis de Dublin e Cork, os quais informam os usuários sobre o desempenho das cidades (2021, p. 11). E, de forma complementar, Hu e Gao (2023, pp. 64-65): “[...] aliado à representação formal do conhecimento [...] tal abstração baseada em grafos, possui múltiplos méritos [...] em conformidade com o princípio FAIR (Encontrável, Acessível, Interpretável e Reutilizável).” Dito isso, é preciso lembrar que grafos e ontologias tornam os dados realmente reutilizáveis por diferentes interfaces públicas e, portanto, democratizam o acesso técnico. Assim, pode-se afirmar que, quando a prefeitura expõe versões, premissas e incertezas, e quando a comunidade consegue filtrar por bairro, comparar séries históricas e rodar simulações, o debate público deixa de ser reativo e se torna co-análise orientada por evidências. Logo, a IA cumpre um papel de mediação: não decide no lugar das pessoas, mas organiza o palco cognitivo para decisões coletivas mais informadas e legítimas.

Além disso, quando pensamos em como aplicar a inteligência artificial de modo articulado ao licenciamento ambiental e ao planejamento urbano, é importante imaginar plataformas integradas que reúnam dados de sensores, imagens de satélite, cadastros técnicos e contribuições cidadãs em um mesmo ecossistema analítico. Dessa forma, uma prefeitura ou órgão ambiental poderia centralizar em um painel interativo dados de qualidade do ar, níveis de ruído, fluxo de veículos e informações sobre biodiversidade, permitindo análises cruzadas em tempo quase real. Em consequência disso, o licenciamento deixaria de ser um processo fragmentado em documentos dispersos e se tornaria um

sistema de monitoramento contínuo, no qual cada obra em análise pode ser simulada em diferentes cenários de impacto, a partir de dados auditáveis e transparentes. Para ilustrar, plataformas como dashboards urbanos vêm sendo experimentadas como forma de articular governança digital e participação social. Nas palavras de Kitchin, “[...] os painéis urbanos estão fornecendo portais para grandes quantidades de dados e indicadores sobre como as cidades estão se desempenhando” (2021, p. 11). Em paralelo, a inteligência geoespacial reforça essa visão integrada ao permitir que as decisões não se baseiem apenas em séries numéricas, mas em mapas interativos que evidenciam relações territoriais. Como explicam Hu e Gao (2023, p. 419), “[...] o KnowWhereGraph¹⁴ é um grafo densamente conectado, altamente heterogêneo e geograficamente habilitado que pode fornecer inteligência ambiental para qualquer região em questão de segundos”. Assim sendo, pode-se afirmar que a articulação entre IA e plataformas digitais cria condições para que o licenciamento ambiental deixe de ser apenas um ato burocrático e passe a operar como prática de governança inteligente, em que cenários, dados e impactos podem ser discutidos em tempo real com gestores, especialistas e comunidades.

Neste sentido, convém observar que a aplicação da IA ao licenciamento ambiental e ao planejamento urbano não se limita a organizar dados em plataformas digitais, mas envolvem também sistemas de monitoramento em tempo real capazes de detectar alterações ambientais, prever riscos e apoiar decisões de forma antecipada. Imagine, por exemplo, sensores instalados ao longo de um rio que coletam dados de qualidade da água, volume de vazão e presença de contaminantes, transmitindo continuamente informações a uma central inteligente que, ao processar grandes volumes de dados, emite alertas precoces sobre possíveis impactos de obras próximas. Em contextos urbanos, câmeras inteligentes, estações meteorológicas e drones podem fornecer dados contínuos que alimentam modelos preditivos, permitindo que gestores acompanhem a poluição do ar, o aumento da temperatura em áreas densamente construídas e a expansão de obras em zonas de risco. Logo, essa integração entre monitoramento e análise explicável qualifica as decisões porque reduz a defasagem temporal entre o impacto e a resposta pública. Nesse sentido, Russell e Norvig observam que “[...] agentes inteligentes podem ser definidos como qualquer coisa que pode ser vista como percebendo seu ambiente por meio

¹⁴ O KnowWhereGraph é uma plataforma avançada de *knowledge graph* desenvolvida para integrar, enriquecer e disponibilizar dados espaciais e temporais em larga escala, permitindo que informações heterogêneas – como registros ambientais, dados de mobilidade, eventos climáticos extremos e indicadores socioeconômicos – sejam conectadas em estruturas semânticas consistentes. Essa abordagem possibilita análises mais ricas, contextualizadas e interdisciplinares, fornecendo suporte a aplicações críticas, como gestão de desastres, monitoramento ambiental e planejamento urbano sustentável. De acordo com Hu e Gao (2023), o KnowWhereGraph “[...] visa conectar bilhões de registros geoespaciais de fontes distintas em um grafo de conhecimento coerente, fornecendo consultas eficientes e interoperabilidade semântica para apoiar decisões baseadas em evidências” (p. 214), demonstrando como os *knowledge graphs* se tornaram infraestruturas fundamentais para a governança inteligente das cidades. Ver: HU, Yingjie; GAO, Song. *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

de sensores e atuando sobre esse ambiente por meio de atuadores” (1995, p. 31), destacando a centralidade da percepção contínua como base para decisões técnicas. Já Hu e Gao reforçam o valor de estruturar fluxos geoespaciais ao explicar que “[...] a incerteza geoespacial descreve as diferenças entre os dados geoespaciais e os fenômenos ou processos verdadeiros que eles representam. Assim, como é impossível criar uma representação perfeita do mundo real infinitamente complexo, todos os dados geoespaciais estão sujeitos a incertezas” (2023, p. 142), o que evidencia a importância de expor margens de erro e premissas nos dashboards e mapas interativos. Dessa forma, a transparência não se dá apenas na publicação de indicadores, mas no reconhecimento explícito das incertezas que acompanham cada modelo, fortalecendo o controle social e permitindo que cidadãos, técnicos e gestores deliberem sobre riscos e alternativas de modo mais informado e democrático.

As capacidades de monitoramento em tempo real das tecnologias de aprendizado de máquina e de sensoriamento remoto oferecem uma vantagem substancial em relação aos modelos tradicionais, que frequentemente dependem de dados estáticos, desatualizados ou incompletos. A possibilidade de monitorar continuamente os ambientes urbanos permite que planejadores e formuladores de políticas detectem e respondam às mudanças de forma mais eficaz, como crescimento populacional, condições do ar e impactos de desastres, e, consequentemente, desenvolvam ações políticas relevantes. Essas informações em tempo real facilitam intervenções proativas e oportunas, garantindo que o crescimento urbano permaneça sustentável e adaptável aos desafios emergentes (Hu; Gao, 2023, p. 36-37).

Logo, quando se trata de implementar plataformas de inteligência artificial aplicadas ao licenciamento ambiental e ao planejamento urbano, um dos pontos centrais que emergem é o dos obstáculos estruturais e institucionais. Os altos custos tecnológicos, a necessidade de bases de dados de qualidade e a carência de profissionais capacitados podem limitar a efetividade dessas ferramentas, mesmo em cidades que já dispõem de projetos pilotos de monitoramento ambiental e urbano. Em muitos casos, a instalação de sensores, o processamento de imagens de satélite e a manutenção de servidores para simulações em tempo real exigem investimentos elevados, o que tende a concentrar essas tecnologias em grandes centros urbanos, reproduzindo desigualdades regionais. Dito isso, esse desafio é destacado por Kitchin (2021, p. 192) ao afirmar que “[...] a promessa das cidades inteligentes é frequentemente restringida por limitações financeiras, institucionais e pela ausência de uma infraestrutura robusta para gerenciar dados em grande escala” chamando atenção para a tensão entre ideal de inovação e realidade orçamentária. De modo convergente, Brynjolfsson e McAfee lembram que a própria era digital cria uma pressão por adaptação que nem sempre encontra base instalada para se materializar: “[...] novas tecnologias digitais transformam rapidamente o modo como trabalhamos, vivemos e governamos, mas muitas instituições ainda não estão preparadas para absorver plenamente essas mudanças” (2014, p. 57), enfatizando a necessidade de preparar não apenas ferramentas, mas

também estruturas legais e culturais. Nesse quadro, torna-se fundamental compreender que a inteligência artificial, quando aplicada a processos sensíveis como licenciamento ambiental, só alcança seu potencial transformador se acompanhada de investimento público, regulamentação clara e políticas de capacitação técnica. Em consequência disso, a democratização dessas tecnologias passa a depender não apenas do código ou dos algoritmos, mas de uma visão estratégica de inclusão digital, justiça territorial e sustentabilidade financeira para que a inovação não aprofunde desigualdades, mas as combatá.

Assim, um dos obstáculos mais críticos para a consolidação da inteligência artificial no licenciamento ambiental e no planejamento urbano é a dependência de dados de qualidade. A lógica da IA é aprender a partir de informações passadas e presentes, mas quando as bases são incompletas, desatualizadas ou enviesadas, as simulações e previsões se tornam frágeis e até perigosas, podendo legitimar decisões incorretas ou injustas. Por exemplo, em cidades que não possuem sistemas de monitoramento ambiental abrangentes, a ausência de dados contínuos sobre poluição atmosférica ou degradação do solo pode comprometer análises de impacto de empreendimentos, resultando em avaliações simplificadas ou distantes da realidade. Esse risco é salientado por Hu e Gao (2023, p. 142), ao afirmarem que “[...] a incerteza geoespacial descreve as diferenças entre os dados geoespaciais e os fenômenos ou processos verdadeiros que eles representam. Como é impossível criar uma representação perfeita do mundo real infinitamente complexo, todos os dados geoespaciais estão sujeitos a incertezas”. De forma complementar, Mayer-Schönberger e Cukier (2014, p. 31) registram que “[...] o valor do big data não reside apenas no volume ou na velocidade, mas na variedade e na confiabilidade das fontes, que determinam a precisão das inferências”. Isso significa que a construção de sistemas inteligentes exige políticas robustas de coleta, padronização e auditoria de dados, com investimentos contínuos em infraestrutura de sensores, satélites e plataformas de dados abertos. Também significa que o desafio não é apenas técnico, mas político, pois quem define o que deve ser medido e como deve ser interpretado estabelece as fronteiras daquilo que poderá ser deliberado socialmente. Portanto, convém observar que a democratização da informação ambiental depende de enfrentar essa vulnerabilidade de origem, construindo transparência não apenas nos resultados dos modelos, mas na qualidade e na proveniência das bases que os alimentam.

Em verdade, a carência de capacitação técnica representa outro entrave significativo à implementação da inteligência artificial em processos de licenciamento ambiental e planejamento urbano. Logo, de pouco adianta dispor de plataformas sofisticadas ou de sensores de última geração se os profissionais responsáveis não possuem preparo para interpretar resultados, validar premissas e comunicar cenários de forma clara e compreensível à sociedade. Em muitos contextos, engenheiros,

arquitetos e analistas ambientais continuam formados sob paradigmas tradicionais, pouco familiarizados com métodos de aprendizado de máquina, ciência de dados e linguagens de programação necessárias para operar sistemas inteligentes. Assim, esse descompasso compromete a legitimidade das análises e, em casos extremos, pode levar à dependência de empresas terceirizadas que monopolizam conhecimento técnico, gerando assimetria entre setor público e privado. Como bem assinala Derrible, (2019, p. 25): “[...] se quisermos melhorar a comunicação entre disciplinas, precisaremos literalmente criar um novo vocabulário; em ciência da computação, isso é chamado de ontologia”, apontando para a urgência de integrar diferentes linguagens e competências no campo do planejamento urbano. Do mesmo modo, Brynjolfsson e McAfee (2017, p. 13) ressaltam que “[...] a tecnologia digital por si só não garante progresso; é preciso reinventar processos e capacitar pessoas para que consigam explorar todo o seu potencial”, reforçando a ideia de que inovação exige tanto ferramentas quanto sujeitos preparados para usá-las de modo crítico e criativo. Diante disso, torna-se evidente que políticas de capacitação devem ser estruturadas como parte integrante da adoção de IA, abrangendo desde cursos de atualização para servidores públicos até a inserção de disciplinas de ciência de dados e ética digital em programas de formação de urbanistas e ambientalistas. Desse modo, só assim será possível evitar que a tecnologia seja tratada como uma caixa-preta, devolvendo à sociedade a confiança de que as decisões estão fundamentadas não apenas em algoritmos, mas em processos humanos de interpretação qualificada e em diálogo permanente com princípios de justiça ambiental.

O desenvolvimento de sistemas inteligentes requer mais do que algoritmos e hardware. Exige uma força de trabalho treinada para compreender os modelos, avaliar suas premissas e comunicar seus resultados de forma eficaz. Sem essa expertise humana, os sistemas de IA correm o risco de se tornarem ferramentas opacas controladas por poucos especialistas. A educação, portanto, deve não apenas abranger os aspectos técnicos de aprendizado de máquina e programação, mas também enfatizar a colaboração interdisciplinar, permitindo que engenheiros, cientistas e formuladores de políticas compartilhem uma linguagem comum. Somente ao superar essas lacunas poderemos garantir que os sistemas inteligentes apoiem a tomada de decisão democrática em vez de concentrar poder nas mãos de poucos¹⁵ (Russell; Norvig, 2002, p. 1030-1031).

Diante desse cenário, o arcabouço legal surge como um dos pontos mais delicados quando se trata de incorporar a inteligência artificial ao licenciamento ambiental e ao planejamento urbano, já que toda inovação tecnológica precisa estar amparada por normas claras que garantam legitimidade, responsabilidade e justiça social. Em muitos países, as legislações ambientais ainda operam em moldes analógicos, baseadas em relatórios impressos e processos administrativos lineares, o que

¹⁵ Tradução nossa.

dificulta o reconhecimento formal de plataformas digitais, simulações preditivas e sistemas de monitoramento em tempo real como insumos legítimos para tomada de decisão. Essa defasagem cria insegurança jurídica, pois empreendedores e órgãos públicos podem questionar a validade de análises conduzidas por algoritmos se não houver respaldo normativo. Floridi (2013, p. 9) observa que “[...] a informação é um bem que exige governança ética e jurídica, sob pena de gerar assimetrias de poder e exclusões sociais”, apontando para a necessidade de tratar dados e modelos como parte de uma infraestrutura normativa, e não apenas como instrumentos técnicos. Do mesmo modo, Zuboff (2019, p. 98) alerta que “[...] o capitalismo de vigilância prospera justamente onde há lacunas regulatórias, apropriando-se de dados de maneira assimétrica e invisível”, indicando que, se a governança da IA ambiental não for cuidadosamente normatizada, pode reproduzir práticas opacas e concentrar benefícios em poucos atores. Assim, é fundamental observar que o desenvolvimento de marcos legais deve caminhar junto com a experimentação tecnológica, estabelecendo parâmetros sobre transparência algorítmica, responsabilidade por erros de previsão, proteção de dados sensíveis e garantia de participação social em processos decisórios mediados por IA. Em consequência disso, a institucionalização de auditorias independentes, a exigência de relatórios públicos explicáveis e a criação de protocolos de licenciamento digital podem transformar a inteligência artificial em ferramenta de fortalecimento da democracia ambiental, e não em risco à sua legitimidade.

Assim, a incorporação da inteligência artificial no licenciamento ambiental e no planejamento urbano abre a possibilidade de alinhar inovação tecnológica a princípios de sustentabilidade e justiça ambiental, desde que tais ferramentas sejam desenhadas com esse propósito explícito. Logo, em vez de apenas acelerar processos ou reduzir custos administrativos, a IA pode ser empregada para identificar áreas de maior vulnerabilidade ecológica, simular cenários de mitigação climática e revelar desigualdades socioespaciais que demandam intervenção prioritária. Por exemplo, algoritmos podem cruzar dados de cobertura vegetal, mapas de calor urbano e indicadores socioeconômicos para mostrar quais bairros sofrem mais com ilhas de calor e carência de áreas verdes, orientando políticas públicas voltadas à equidade. Nesse sentido, Derrible sublinha que “[...] a sustentabilidade urbana deve ser entendida como a capacidade de garantir qualidade de vida às gerações presentes sem comprometer os recursos e oportunidades futuras” (2019, p. 3), recordando que inovação tecnológica só faz sentido se vinculada a compromissos intergeracionais. Já Yigitcanlar afirma que “[...] a tecnologia só levará à sustentabilidade se sua adequação for cuidadosamente examinada pelo engajamento comunitário, e sua implementação realizada por meio de políticas sólidas e monitoramento governamental” (2024, p. 37), reforçando que não basta a IA oferecer respostas técnicas, mas é preciso legitimar essas respostas com participação social e regulação democrática. Dessa forma, pode-se afirmar que a

inteligência artificial, quando orientada por princípios de justiça ambiental, deixa de ser apenas uma ferramenta tecnocrática e passa a atuar como mediadora entre ciência, política e cidadania. Dito isso, ela não apenas projeta cenários possíveis, mas explicita os trade-offs entre escolhas distintas, ajudando a construir consensos informados e a fundamentar políticas urbanas que conciliem desenvolvimento econômico, preservação ambiental e inclusão social.

Neste sentido, a inteligência artificial, quando aplicada ao licenciamento ambiental e ao planejamento urbano, também pode se tornar um poderoso instrumento de inclusão social, especialmente ao democratizar o acesso a informações técnicas que historicamente permaneceram restritas a especialistas e órgãos governamentais. Por exemplo, painéis interativos, simulações gráficas e mapas dinâmicos permitem que cidadãos compreendam o impacto de grandes obras em sua vizinhança, avaliem riscos e proponham alternativas fundamentadas. Esse processo de abertura informacional contribui para que grupos historicamente marginalizados – comunidades periféricas, populações indígenas, moradores de áreas de risco – participem das decisões que afetam diretamente seus territórios. Nesse ponto, Zuboff alerta que “[...] em um cenário de assimetria informacional, quem detém os dados concentra poder, enquanto os demais permanecem invisíveis” (2019, p. 98), chamando a atenção para o fato de que a opacidade tecnológica tende a reproduzir desigualdades se não for revertida por mecanismos de transparência. De forma complementar, Kitchin (2021, p. 70) argumenta que “[...] a abertura de dados e sua visualização em painéis urbanos oferecem a possibilidade de expandir a accountability e permitir que cidadãos e organizações monitorem em tempo real o desempenho de políticas públicas”, destacando a importância de tornar a análise técnica inteligível e acessível. A partir disso, pode-se afirmar que a inclusão digital e a acessibilidade de interfaces tornam-se condições indispensáveis para a efetividade dessa democratização, exigindo não apenas tecnologia, mas também investimentos em letramento digital e políticas de acesso à internet. Assim, a IA deixa de ser apenas uma ferramenta de monitoramento ambiental e se converte em mediadora da justiça cognitiva, garantindo que diferentes vozes possam se expressar em processos deliberativos. Dessa maneira, a participação pública se amplia não apenas em quantidade, mas em qualidade, pois cidadãos bem informados podem debater alternativas com base em evidências, fortalecendo o caráter democrático do planejamento urbano e ambiental.

Desse modo, a integração entre inteligência artificial e sistemas geoespaciais tem potencial para redefinir a governança ambiental em tempo real, oferecendo aos gestores públicos e à sociedade ferramentas capazes de visualizar, analisar e simular impactos de forma dinâmica e contínua. Assim, em vez de depender de relatórios anuais ou de auditorias pontuais, a IA aplicada a dados geográficos – provenientes de satélites, drones, sensores e contribuições cidadãs – possibilita acompanhar

mudanças no uso do solo, níveis de poluição ou pressões sobre áreas de preservação com atualização quase imediata. Assim sendo, essa capacidade permite não apenas fiscalizar irregularidades, mas também antecipar cenários, testando o efeito de diferentes alternativas de intervenção e oferecendo aos cidadãos elementos claros para a deliberação. Hu e Gao explicam que “[...] os avanços em GeoAI oferecem novas oportunidades para lidar com a complexidade do ambiente urbano, permitindo a análise de grandes volumes de dados espaciais e temporais de maneira integrada” (2023, p. 351), sublinhando o papel central dessa combinação entre inteligência artificial e geotecnologias. Na mesma linha, Russell e Norvig (2010, p. 382) apontam que “[...] uma representação espacial eficiente é vital para agentes que precisam raciocinar sobre ambientes físicos complexos e variáveis”, ressaltando que o poder da IA só se realiza plenamente quando ancorado em estruturas espaciais que refletem a realidade vivida. A partir dessa perspectiva, convém observar que sistemas de monitoramento geoespacial integrados a painéis interativos podem transformar o licenciamento ambiental em um processo transparente e dinâmico, no qual qualquer cidadão pode acompanhar em mapas acessíveis a evolução de obras, impactos previstos e medidas compensatórias. Dessa forma, a governança ambiental ganha agilidade e legitimidade, pois os dados não permanecem em arquivos restritos, mas circulam como informações compartilhadas, abertas a diferentes interpretações e questionamentos. Em consequência disso, a IA deixa de ser uma promessa abstrata e se concretiza como mediadora de decisões territoriais que equilibram preservação ecológica, justiça social e desenvolvimento urbano.

Uma das características mais marcantes da era digital é a capacidade de perceber e responder em tempo real. Diferentemente das tecnologias anteriores, que dependiam de medições periódicas, redes digitais de sensores, satélites e dispositivos móveis permitem fluxos contínuos de dados sobre o mundo físico e social. Essa capacidade significa que governos, empresas e até cidadãos podem observar mudanças ambientais à medida que ocorrem, executar modelos preditivos quase instantaneamente e ajustar políticas ou comportamentos de acordo. A transição de relatórios atrasados para ciclos de feedback imediato não apenas melhora a eficiência, mas também cria novas oportunidades para a transparência e a participação pública, já que os mesmos dados podem ser tornados visíveis simultaneamente para múltiplas partes interessadas (Brynjolfsson; McAfee, 2014, p. 153).

Diante desse cenário, a IA, quando articulada a princípios de governança aberta, pode apoiar tanto a preservação ecológica quanto a inclusão social, ao oferecer ferramentas que revelam desigualdades ambientais, ampliam a transparência e orientam políticas urbanas mais justas. Dito isso, não se trata apenas de acelerar análises ou reduzir custos administrativos, mas de transformar os processos de decisão em ecologias distribuídas, nas quais diferentes atores podem acessar, interpretar e contestar informações em tempo real. Logo, essa transformação demanda uma postura ética e política que coloque a tecnologia a serviço da coletividade. Floridi (2013, p. 15) enfatiza que “[...] a ética da informação busca compreender como criar e aplicar tecnologias digitais de forma que

promovam o bem-estar humano e a justiça social”, lembrando que não existe neutralidade nas escolhas de design e implementação. Do mesmo modo, Brynjolfsson e McAfee (2017, p. 98) destacam que “[...] as tecnologias digitais redefinem o progresso apenas quando combinadas a novas formas de organização social, política e econômica”, sublinhando que inovação só é progresso quando redistribui oportunidades e amplia direitos. Portanto, pode-se afirmar que alinhar IA, sustentabilidade e participação social significa construir arranjos em que painéis interativos, simulações gráficas e sistemas geoespaciais não apenas informem, mas possibilitem escolhas conscientes, reduzindo desigualdades territoriais e promovendo justiça ambiental. Em consequência disso, o futuro do planejamento urbano e do licenciamento ambiental não está em delegar decisões a algoritmos, mas em usá-los como mediadores de processos democráticos, em que a inteligência coletiva se soma à capacidade de análise técnica, produzindo políticas mais transparentes, inclusivas e sustentáveis.

4 CONCLUSÃO

O percurso desenvolvido neste artigo permite afirmar que a inteligência artificial, quando inserida de maneira crítica e responsável nos processos de planejamento urbano e licenciamento ambiental, atua como mediadora capaz de conectar dimensões antes fragmentadas, como dados técnicos, demandas sociais e compromissos ecológicos. E ainda, ao organizar grandes volumes de informações heterogêneas, a IA cria condições para que gestores, especialistas e comunidades visualizem cenários de impacto, compreendam os riscos envolvidos e avaliem alternativas com maior clareza. Não apenas sistematiza indicadores, mas também traduz complexidades em representações acessíveis, democratizando o conhecimento e possibilitando que a tomada de decisão seja mais transparente e participativa. Em outras palavras, ao integrar diferentes vozes e perspectivas, a tecnologia fortalece a legitimidade dos processos, evitando que decisões fiquem restritas a esferas técnicas fechadas ou a interesses particularistas. Assim sendo, pode-se afirmar que a IA, quando pensada como mediadora, amplia tanto a eficácia quanto a confiança social em torno de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável das cidades.

Logo, ao refletirmos sobre a transparência, torna-se evidente que a inteligência artificial desempenha um papel fundamental na redução das opacidades que historicamente marcaram o licenciamento ambiental e o planejamento urbano. Por meio de plataformas integradas, dashboards interativos e mapas explicativos, dados técnicos que antes eram restritos a especialistas passam a estar disponíveis de modo acessível e inteligível para a sociedade. Desse modo, convém observar que a tecnologia não apenas abre janelas para a informação, mas também cria caminhos para o acompanhamento cidadão, permitindo que comunidades fiscalizem obras, acompanhem prazos e

avaliem medidas compensatórias. Em consequência disso, a assimetria informacional que concentrava poder em poucos atores é gradualmente substituída por uma cultura de maior accountability, em que gestores precisam justificar suas escolhas com base em evidências abertas e verificáveis. Em linhas gerais, é fundamental observar que essa abertura, mediada pela IA, transforma a relação entre Estado e sociedade, fortalecendo a confiança pública e legitimando as decisões tomadas em contextos de alta complexidade.

Desse modo, quando o foco recai sobre a eficácia, a inteligência artificial revela sua capacidade de transformar a forma como os processos de planejamento urbano e licenciamento ambiental são conduzidos. Ao estruturar fluxos de dados em tempo real, simular impactos de obras e prever cenários de risco, a tecnologia permite que gestores públicos e comunidades tenham acesso a informações mais rápidas, consistentes e abrangentes. Em outras palavras, sistemas preditivos baseados em IA oferecem a possibilidade de antecipar problemas antes que se concretizem, reduzindo custos sociais e ambientais de intervenções mal planejadas. É importante destacar que essa eficácia não significa apenas ganho de velocidade, mas também de qualidade das análises, pois a combinação entre algoritmos e dados geoespaciais oferece diagnósticos mais precisos e comparações entre diferentes alternativas de ação. Vale ressaltar ainda que, à medida que a IA organiza múltiplas variáveis em modelos explicáveis, crie-se um espaço de deliberação mais qualificado, no qual decisões podem ser tomadas de forma preventiva e não apenas reativa. Portanto, pode-se afirmar que a eficácia da IA reside em sua capacidade de articular antecipação, precisão e acessibilidade, convertendo a complexidade em insumo para escolhas públicas mais informadas e responsáveis.

Portanto, ao pensarmos na legitimidade, é possível afirmar que a inteligência artificial, quando aplicada como mediadora, fortalece a confiança coletiva nas decisões relacionadas ao planejamento urbano e ao licenciamento ambiental. Isso ocorre porque a tecnologia não substitui a deliberação pública, mas a qualifica, ao tornar explícitas as bases de cálculo, as variáveis consideradas e as alternativas possíveis. Cabe ressaltar que, ao oferecer simulações abertas e mapas acessíveis, a IA possibilita que cidadãos, gestores e técnicos participem de forma mais equilibrada do debate, reduzindo a distância entre saber especializado e experiência comunitária. Em consequência disso, a legitimidade dos processos não decorre apenas do cumprimento formal de etapas burocráticas, mas da percepção social de que as decisões foram tomadas a partir de informações confiáveis, transparentes e debatidas em público. Dessa forma, a IA amplia a credibilidade institucional, pois cria trilhas de auditoria que podem ser revisitadas e verificadas, garantindo que a memória das decisões esteja disponível para futuras gerações. Assim sendo, pode-se afirmar que a legitimidade é fortalecida na

medida em que a inteligência artificial se torna instrumento de diálogo e não de imposição, mediando os interesses em jogo e ampliando a confiança social nas escolhas realizadas.

Em consequência disso, a inteligência artificial mostra-se ainda mais relevante quando se conecta diretamente aos princípios de sustentabilidade e justiça ambiental, pois permite revelar desigualdades territoriais, identificar áreas mais vulneráveis e orientar políticas que priorizem quem mais necessita. Ao cruzar dados sobre qualidade do ar, cobertura vegetal, ocupação do solo e indicadores socioeconômicos, a IA possibilita que gestores e comunidades compreendam não apenas onde estão os impactos ambientais, mas também quem são as populações mais atingidas por eles. Dessa forma, a tecnologia contribui para que decisões urbanas e ambientais não reproduzam padrões de exclusão, mas caminhem no sentido da reparação de injustiças históricas. Cumpre salientar que, ao tornar visíveis os efeitos desiguais de determinadas obras ou políticas, a IA fortalece a noção de justiça social aplicada ao território. Em linhas gerais, pode-se afirmar que a sustentabilidade mediada por IA não é apenas técnica, mas ética, pois incorpora a responsabilidade intergeracional e a defesa da vida em todas as suas formas. Logo, a inovação tecnológica deixa de ser um fim em si mesma e passa a se constituir como meio para assegurar que desenvolvimento urbano e proteção ambiental caminhem de mãos dadas com a inclusão social.

Desse modo, a reflexão construída ao longo do artigo permite concluir que a inteligência artificial, quando orientada por critérios éticos, técnicos e sociais, pode atuar de maneira decisiva como mediadora em ecologias de decisão distribuídas no planejamento urbano e no licenciamento ambiental. Ao integrar múltiplas fontes de dados, organizar cenários complexos e disponibilizar informações de forma transparente e acessível, a tecnologia amplia a eficácia das análises e fortalece a legitimidade das escolhas coletivas. Não se pode ignorar que desafios permanecem, como os custos de implementação, a necessidade de dados de qualidade, a capacitação técnica e a atualização do arcabouço legal, mas é igualmente fundamental observar que os benefícios superam os obstáculos quando a IA é colocada a serviço da democracia e da justiça ambiental. Assim, pode-se afirmar que o futuro do licenciamento e do planejamento urbano dependerá da capacidade de articular inovação tecnológica e participação social, garantindo que cada decisão seja fruto de um processo mais aberto, inclusivo e sustentável. Dessa forma, a inteligência artificial não se impõe como substituta da deliberação humana, mas como mediadora de um diálogo mais informado, justo e transparente entre sociedade, Estado e território.

REFERÊNCIAS

BOSTROM, N. Superintelligence: paths, dangers, strategies. Oxford: Oxford University Press, 2014.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. Machine, platform, crowd: harnessing our digital future. New York: W. W. Norton & Company, 2017.

DESLANDES, S. F.; MINAYO, M. C. S. Caminhos do pensamento: epistemologia e método. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

DERRIBLE, S. Urban engineering for sustainability. Cambridge: MIT Press, 2019.

DERRIBLE, S. The infrastructure book: how cities work and power our lives. Guilford: Globe Pequot, 2025.

DOS SANTOS, A. N. S. et al. Educação e Tecnologia – Um olhar crítico sobre a educação tecnológica a partir da perspectiva gramsciana e marxista. *ARACÊ, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 8150-8171, 2024*. DOI: 10.56238/arev6n3-227. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1456>. Acesso em: 20 Ago. 2025.

DOS SANTOS, A. N. S. dos et al. Resíduos sólidos e design sustentável – Uma análise da reciclagem na “economia circular” à luz da Agenda 2030. *ARACÊ, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 7365–7391, 2025*. DOI: 10.56238/arev7n2-164. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3335>. Acesso em: 20 Ago. 2025.

DOS SANTOS, A. N. S. dos et al. Territórios dos Ventos – Geopolítica, impactos ambientais e desafios da energia eólica no Brasil. *ARACÊ, 7(6), 29407-29458*. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev7n6-024> Acesso em 20 de Ago. de 2025.

FERREIRA, G. G. S. et al. Engenharias e Inteligência Artificial – Arquiteturas cognitivas para projetos, tomada de decisão, gestão de riscos e soluções sistêmicas. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, 23(7), e10699*. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv23n7-097> Acesso em 20 de Ago. 2025.

FLICK, U. Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes. Porto Alegre: Penso, 2009.

FLORIDI, L. The ethics of information. Oxford: Oxford University Press, 2013.

FLORIDI, L. The logic of information: a theory of philosophy as conceptual design. Oxford: Oxford University Press, 2019.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HIDAYAT, N. F.; SATWIKO, P. The implementation of artificial intelligence in the environmental licensing process. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 12, n. 10, p. 613-618, 2021.

HU, Y.; GAO, S. *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

KABIR, M. H.; RAHMAN, M. A.; HOSSAIN, M. S. Explainable artificial intelligence for smart city application: a secure and trusted platform. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 8, n. 8, p. 6114-6122, 2021.

KITCHIN, R. *The data revolution: big data, open data, data infrastructures and their consequences*. London: SAGE, 2014.

KITCHIN, R. *Data lives: how data are made and shape our world*. Bristol: Bristol University Press, 2021.

MAYER-SCHÖNBERGER, V.; CUKIER, K. *Big data: a revolution that will transform how we live, work, and think*. London: John Murray, 2014.

MINAYO, M. C. S. *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. 11. ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

SANTOS, A. N. S. dos et al. “Luz e aprendizagem”: integrando energia solar e educação ambiental no ensino por metodologias ativas com células fotovoltaicas. *Cuadernos De Educación Y Desarrollo*, 16(8), e5133. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n8-055> Acesso em 20 de Ago. 2025.

SANTOS, A. N. S. dos et al. Caminhos trancados: o labirinto dos desafios burocráticos e legais nas concessões florestais Federais no Brasil. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 22(12), e8314. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n12-182> Acesso em 20 de Ago. 2025.

SANTOS, A. N. S. dos et al. Gestão integrada de riscos em engenharia: aplicação de tecnologias inovadoras para promover qualidade de vida, segurança e sustentabilidade. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, 23(6), e10196. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv23n6-034> Acesso em 20 de Ago. 2025.

STAKE, R. E. *Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam*. Porto Alegre: Penso, 2011.

WEBER, M. *A objetividade do conhecimento nas ciências sociais*. São Paulo: Cultrix, 1949.

YIGITCANLAR, T. *Urban artificial intelligence: a guidebook for understanding concepts and technologies of smart city AI*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2024.

ZUBOFF, S. *The age of surveillance capitalism: the fight for a human future at the new frontier of power*. New York: Public Affairs, 2019.