



XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
SÃO PAULO - SP

A CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, BIG DATA E INTERNET DAS COISAS PARA O ESTUDO DO CLIMA URBANO EM *SMART CITIES*

Pedro Renan Debiazi (1); Érico Masiero (2)

(1) Mestre, Arquiteto e Urbanista, arq.pedrodebiazi@gmail.com, Centro Universitário UniFECAF, Av. Vida Nova, 166 - Jardim Maria Rosa, Taboão da Serra - SP, 06764-045

(2) Doutor, Arquiteto e Urbanista, erico@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luis, km 235 - São Carlos - SP – BR, CEP: 13565-905.

RESUMO

Este artigo teve como objetivo central apresentar e discutir as potencialidades de uso da inteligência artificial e de outras tecnologias de informação e comunicação – TIC – emergentes no planejamento urbano e territorial, de forma a contribuir para ampliar a aplicação destas ferramentas em análises e estudos relacionados à sustentabilidade, ao conforto térmico e à eficiência energética no ambiente construído. Foi realizada uma revisão narrativa que visou responder duas questões estruturantes. Os resultados foram debatidos de forma a estabelecer um diálogo crítico e mostraram que o uso de inteligência artificial, big data e cloud computing pode desenvolver modelos capazes de prever tendências e propor soluções proativas para os desafios urbanos, além de antecipar problemas antes que eles ocorram, permitindo que as autoridades tomem medidas preventivas e tornem as cidades mais resilientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Inteligência artificial, big data, cloud computing, smart cities, clima urbano

ABSTRACT

This paper presents and discusses the potential uses of artificial intelligence and other emerging information and communication technologies (ICTs) in urban and territorial planning. The goal is to contribute to the broader application of these tools in analyses and studies related to sustainability, thermal comfort, and energy efficiency in the built environment. A narrative review was conducted to address two key questions. The results were discussed to establish a critical dialogue, showing that the use of artificial intelligence, big data, and cloud computing can develop models capable of predicting trends and proposing proactive solutions to urban challenges. Furthermore, these tools can anticipate problems before they occur, allowing authorities to take preventive measures and make cities more resilient and sustainable.

Keywords: Artificial intelligence, big data, cloud computing, smart cities, urban climate

1. INTRODUÇÃO

O uso da inteligência artificial (AI) tem se mostrado uma ferramenta útil na análise de dados e nas investigações científicas. Esta tecnologia pode ser usada para compreender melhor as condições atmosféricas, as características das superfícies e a qualidade do ar em áreas urbanas. Além disso, a inteligência artificial demonstra potencial para monitorar o desenvolvimento das cidades, identificando padrões de ocupação e prevendo tendências de desenvolvimento. Neste artigo, buscou-se estabelecer um panorama crítico sobre como essa tecnologia tão emergente pode ser aplicada para investigar as implicações do clima urbano e seus parâmetros no espaço construído.

O aumento da população global e a melhoria das condições de vida têm resultado em uma expansão significativa das áreas urbanas. Estima-se que até 2050, cerca de 70% da população mundial viverá em áreas urbanas (MOHANTY; CHOPPALI; KOUGIANOS, 2016). Tal projeção provoca alertas em toda a comunidade científica a respeito dos desafios para o desenvolvimento sustentável do planeta.

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), o Brasil apresenta uma elevada taxa de urbanização, estimada em cerca de 86,5% em 2020. Essa informação é corroborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que divulgou em 2020 que mais de 85% da população brasileira vive em áreas urbanas.

Esse rápido aumento das taxas de urbanização global, torna cada vez mais necessário implementar ações para tornar as cidades mais resilientes. No entanto, os estudos que buscam entender o impacto das mudanças climáticas decorrentes, principalmente, do aquecimento de áreas urbanas altamente adensadas, cujo fenômeno é conhecido como Ilhas de Calor Urbano (ICU), ainda enfrentam desafios significativos. Entre eles, destacam-se dificuldades em realizar análises computacionais e cálculos estatísticos que considerem as particularidades de cada localidade, seu porte e seus modelos climáticos (EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015).

Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), explicam que a gestão do espaço urbano pode se beneficiar do diagnóstico das ICU, que oferece subsídios para amenizar a magnitude desses fenômenos, mas muitas vezes os resultados das pesquisas não são devidamente utilizados pelo poder público devido à falta de detalhamento da distribuição da temperatura do ar nos ambientes intraurbanos, como a representação adequada das características do uso da terra e do relevo e suas respectivas temperaturas.

A dificuldade em mensurar os efeitos da ICU e seus impactos se convertem, normalmente, em políticas públicas frágeis e incapazes de oferecer às cidades um planejamento urbanístico climaticamente orientado. O descompasso entre os instrumentos urbanísticos de indução da ocupação, aliada a dificuldade em converter as pesquisas acadêmicas da área em políticas públicas norteadoras do adensamento e expansão urbana afetam, conseqüentemente, a eficiência energética das cidades e dos edifícios. Isso porque, a eficiência energética em edifícios está relacionada ao suprimento de energia necessário para alcançar condições ambientais desejáveis de conforto térmico. Além disso, para projetar cidades e edifícios energeticamente eficientes, os parâmetros de construção devem ser otimizados, considerando as variáveis que estão diretamente relacionadas aos processos de transferência de calor (PACHECO, ORDÓÑEZ e MARTÍNEZ, 2012).

A climatologia urbana e a eficiência energética são áreas em que a Inteligência Artificial (IA) pode ser aplicada com grande potencial. Entretanto, o rápido avanço desta tecnologia pode intensificar as desigualdades socioeconômicas, resultando no acúmulo de vantagens competitivas entre determinadas cidades e países. Isso ocorre, principalmente, porque a expansão da IA já está superando o desenvolvimento e a implementação de estruturas regulatórias para sua gestão (GORALSKI e TAN, 2020). Neste contexto, a criação de cidades sustentáveis e resilientes passa por adotar estratégias de governança bem fundamentadas e inovadoras, além de políticas públicas capazes de apoiar e promover o bem-estar e o desenvolvimento socioeconômico (TONIOLO et. Al, 2020).

Yigitcanlar (2021) afirma que a IA é uma das tecnologias mais populares e promissoras da contemporaneidade, citando que esse recurso tem sido amplamente empregado para encarar desafios complexos em diferentes áreas do conhecimento, tanto no setor público quanto no privado. Aquele autor também explica que diferentes aplicações estão sendo utilizadas em monitoramentos focados na proteção ambiental e gerenciamento de recursos naturais, que incluem a vigilância de áreas marinhas, o monitoramento da vida selvagem, a avaliação da biodiversidade e da qualidade das águas e mananciais, a proteção contra enchentes, a detecção de desastres naturais e as mudanças climáticas.

Nesta perspectiva, é preciso salientar que, a inteligência artificial (IA) é um campo multidisciplinar que busca criar sistemas que possam realizar tarefas que, em geral, exigem inteligência humana (MARTÍNEZ e DE LA HOZ RESTREPO, 2022). Dentro da IA, existem diferentes tipos de abordagens para a construção de sistemas inteligentes, cada uma com suas próprias técnicas e algoritmos. Neste artigo, abordaremos brevemente quatro dessas abordagens: sistemas baseados em regras, aprendizado de máquina convencional, redes neurais e aprendizado profundo.

Os sistemas baseados em regras são uma das abordagens mais antigas da IA. Eles são construídos a partir de um conjunto de regras que definem como o sistema deve se comportar em diferentes situações. Essas regras são geralmente criadas por especialistas em um determinado domínio, que possuem um conhecimento detalhado do problema a ser resolvido. Uma vez definidas as regras, o sistema pode usar a lógica dedutiva para tomar decisões ou fazer inferências. Ou seja, são programas computacionais desenvolvidos com a finalidade de solucionar problemas específicos em áreas do conhecimento, utilizando técnicas que permitem a resolução desses problemas de maneira similar à de um especialista (ARAUJO, 2021).

Aprendizagem de máquina convencional refere-se a métodos de aprendizado em que um modelo matemático é treinado com dados de entrada e saída correspondentes, para então prever saídas futuras. Esses métodos incluem regressão linear, árvores de decisão, k-vizinhos mais próximos e redes neurais de uma camada (MONTEREI, 2023).

As redes neurais artificiais são outra abordagem popular de aprendizado de máquina, cujo objetivo está na criação de inteligência artificial, por meio da utilização de uma arquitetura computacional que mimetiza os cálculos realizados pelo sistema nervoso humano (AGGARWAL, 2018). As redes neurais são compostas por muitos neurônios artificiais interconectados. Cada neurônio recebe entradas de outros neurônios e produz uma saída que é transmitida para outros neurônios. Essas conexões podem ser ajustadas por meio de treinamento supervisionado ou não supervisionado, permitindo que a rede aprenda a reconhecer padrões em dados complexos, como imagens ou áudio. Esse tipo de inteligência artificial é aplicado em diversas áreas, tais como reconhecimento de padrões, diagnóstico médico, previsão de mercado, controle de processos industriais, entre outras (HILTON et al., 2012).

Para utilizar uma rede neural artificial, é necessário ensiná-la a resolver o tipo de problema dado, de maneira semelhante à forma como as redes neurais biológicas aprendem o comportamento e as respostas através das entradas do ambiente. Existem três paradigmas principais de aprendizado, que são escolhidos com base no problema a ser resolvido: aprendizado supervisionado, não supervisionado e por reforço. Todos os paradigmas têm em comum o objetivo de treinar rede neural artificial para alcançar uma resposta de saída adequada, baseada nos dados e regras de aprendizado estabelecidas (KRENKER, BEŠTER e KOS, 2011).

O aprendizado supervisionado envolve o uso de dados rotulados para treinar o sistema a reconhecer padrões e fazer previsões precisas. Já o aprendizado não supervisionado é utilizado quando não há rotulação dos dados e o objetivo é encontrar padrões ocultos ou agrupar dados em categorias. Finalmente, o aprendizado por reforço é uma técnica em que o sistema aprende através da interação com um ambiente, recebendo recompensas ou penalidades por suas ações (BADILLO, 2020).

O aprendizado profundo é uma abordagem mais avançada do aprendizado de máquina, que se concentra na criação de redes neurais mais profundas e complexas. Essas redes podem ter dezenas ou até centenas de camadas ocultas, permitindo que o sistema aprenda representações hierárquicas de dados. Trata-se, portanto, de uma subárea da inteligência artificial que utiliza redes neurais artificiais com mais de uma camada para processar grandes quantidades de dados e aprender a reconhecer padrões complexos. Esse tipo de técnica tem sido amplamente utilizado em diversas áreas, como reconhecimento de imagem, processamento de linguagem natural e análise de dados. Por exemplo, o Google utiliza redes neurais profundas para reconhecer imagens e melhorar a qualidade das traduções em seu serviço de tradução automática. Além disso, o aprendizado profundo também tem sido aplicado em áreas como medicina, finanças e automação industrial (LE CUN, BENGIO e HINTON, 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo central deste artigo é debater de forma crítica e contextualizada as potencialidades de uso da inteligência artificial e de outras tecnologias de informação e comunicação – TIC – emergentes no planejamento urbano e territorial, de forma a contribuir para ampliar a aplicação destas ferramentas em análises e estudos relacionados à sustentabilidade, ao conforto térmico e à eficiência energética no ambiente construído.

3. MÉTODO

Os procedimentos adotados para esta pesquisa foram baseados nos métodos de Revisão Narrativa, um tipo de revisão sistemática que busca sintetizar a literatura existente sobre um determinado tópico através de um relato qualitativo, em contraste com revisões sistemáticas que são geralmente quantitativas e se concentram em resultados numéricos. Desta maneira, a fim de alcançar o objetivo geral da pesquisa, a metodologia adotada consistiu em duas etapas distintas. Primeiramente, foram elaboradas perguntas específicas para guiar a busca por informações relevantes na literatura científica. Em seguida, foi realizada uma pesquisa minuciosa da

produção científica de autores renomados na área, a fim de obter respostas para as perguntas previamente estruturadas.

As perguntas que estruturaram essa pesquisa foram:

1. Qual aplicação da inteligência artificial na realização de estudos sobre eficiência energética e conforto térmico nas cidades?
2. Qual a contribuição do uso da inteligência artificial e das tecnologias emergentes no desenvolvimento de cidades inteligentes e resilientes?

O Protocolo adotado para seleção dos artigos que compõe essa revisão narrativa seguiu critérios elencados a seguir:

1. Definição das palavras chaves: Para busca dos artigos foram usadas as seguintes palavras-chaves: “cidades inteligentes”, “cidades sustentáveis”, “inteligência artificial”, “aprendizado de máquina”, “redes neurais” e “resiliência urbana”.
2. Busca de artigos: A busca foi realizada nas bases de dados *Scopus*, *Cielo*, *Springer*, *Web of Science e Science Direct* e foram incluídos artigos publicados a partir de 2015, em português, inglês ou espanhol.
3. Seleção dos artigos:
 - a. Os artigos foram selecionados seguindo os critérios de inclusão:
 - i. estar relacionado ao tema de cidades inteligentes e sustentáveis;
 - ii. apresentar contribuições da IA para o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis;
 - iii. ser um artigo científico original, revisão sistemática ou meta-análise;
 - iv. estar disponível na íntegra.
 - b. Os critérios de exclusão adotados seguiram os seguintes critérios:
 - i. artigos cujo resumo não indicavam relação direta com planejamento urbano, cidades inteligentes e sustentáveis ou clima urbano;
 - ii. artigos publicados antes do ano de 2015;
 - iii. artigos com caráter meramente quantitativo e de natureza aplicada, que utilizaram redes neurais para análise, mas que não se concentraram em discutir sua contribuição para o campo da pesquisa;
4. Análise dos artigos: Os artigos selecionados foram sintetizados e discutidos de forma a destacar o diálogo entre os diferentes autores e as respectivas contribuições da IA para o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis.
5. Conclusões: Foram apresentadas as conclusões da revisão bibliográfica realizada, destacando as principais contribuições dos artigos analisados.

No próximo capítulo, são apresentadas as contribuições derivadas da análise dos 19 artigos selecionados após a aplicação do protocolo descrito acima. Como parte dessa revisão narrativa, as descobertas não serão apenas uma compilação de resultados, com foco na descrição e comparação entre as estruturas dos artigos analisados, mas sim uma tessitura de insights e entendimentos que surgiram durante a análise. Elas são a representação do diálogo entre as várias vozes e perspectivas presentes na literatura, destacando as implicações significativas dessas obras para o campo de cidades inteligentes e sustentáveis.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Qual aplicação da inteligência artificial na realização de estudos sobre eficiência energética e conforto térmico nas cidades?

A urbanização tem impactos significativos no ambiente térmico e o campo do conhecimento do clima urbano tem evoluído para incluir eficiência energética, processos e atividades humanas e ecológicas. Como resultado de anos de estudos focados em diferentes escalas, entende-se relativamente bem como as áreas urbanas afetam o clima em múltiplas escalas. Entretanto, o desenvolvimento de sistemas urbanos e regionais sustentáveis exige a realização de discussões e colaborações dentro da comunidade científica para criar informações aplicadas e modelos de análise que possam auxiliar na tomada de decisões (GONZALEZ, 2021).

Em relação aos avanços observados nas pesquisas sobre o tema, Middel et al. (2022) destacam a existência de quatro pilares associados as tecnologias emergentes e que estão impulsionando a Informática aplicada ao Clima Urbano (UCI). O primeiro consiste no avanço encontrado em sensores ambientais e na transmissão de dados sem fio que possibilitam a coleta de dados onipresentes e em tempo real. O segundo pilar diz respeito a disponibilidade de novos conjuntos de dados que incluem informações detalhadas sobre a configuração urbana e dados incidentais e de domínio público. O terceiro pilar constitui a utilização de algoritmos analíticos e sistemas de computador avançados, incluindo Inteligência Artificial, na análise do clima urbano. O quarto pilar é a acessibilidade de infraestrutura digital que permite análises em escala global dos parâmetros climáticos urbanos. Juntos, esses pilares possibilitam uma abordagem mais realista e centrada no ser humano.

Certos problemas são muito complexos ou demasiadamente caros de serem resolvidos por meio do fluxo de tradicional da engenharia, o que pode exigir abordagens mais eficientes. Neste sentido, a utilização de modelos de machine learning oferecem alternativas para tais casos. Para decidir se a aprendizagem de máquina é adequada para uma tarefa, podem-se aplicar os critérios específicos baseados nos resultados esperados, como a existência de conjuntos de dados grandes o suficiente e a presença de feedback claro e metas definíveis (SIMEONE, 2018).

Os modelos de learning machine podem ser tanto preditivos quanto descritivos. Os modelos preditivos são utilizados para fazer previsões sobre dados futuros, enquanto os modelos descritivos são utilizados para obter conhecimento a partir de dados passados. Em ambos os casos, os parâmetros do modelo são otimizados com base nos dados disponíveis para melhorar o desempenho do modelo (BADILLO, 2020). Desta forma, os modelos preditivos e descritivos podem ser utilizados na análise de dados térmicos. Por exemplo, um modelo preditivo poder ser usado para prever a temperatura em um ambiente com base em dados históricos, enquanto um modelo descritivo poder ser usado para entender os padrões de temperatura em um determinado ambiente. Ambos os modelos podem ser construídos usando técnicas de aprendizado de máquina e são úteis para diferentes propósitos. O modelo preditivo pode ser usado para tomar decisões informadas com antecedência, enquanto o modelo descritivo pode ser usado para entender melhor o comportamento térmico do ambiente.

Debiasi e Souza (2016) utilizaram redes neurais artificiais para investigar a contribuição dos parâmetros do espaço construído no ambiente térmico de um campus universitário. Esses autores averiguaram a sensibilidade e influência de algumas características do entorno urbano sobre a temperatura do ar. O modelo misto, preditivo e descritivo, adotado pelos autores foi capaz tanto de prever a modificação da temperatura urbana em relação a temperatura da zona rural, quanto de descrever os padrões de sensibilidade dos parâmetros construtivos que estavam influenciando na modificação daquela temperatura.

Leal Filho et al. (2022) realizaram um amplo estudo a partir de uma revisão sistemática e uma pesquisa por questionário aplicada em uma equipe multidisciplinar e multinacional de pesquisadores sobre mudanças climáticas e concluíram que a IA pode ser utilizada em diversas áreas, sendo que o gerenciamento da água é a que tem atraído mais atenção. Além disso, aqueles autores relatam que os pesquisadores da América do Norte e do Sul já estão aplicando e utilizando essas ferramentas em larga escala para acelerar a adaptação às mudanças climáticas, enquanto países da África enfrentam mais desafios de infraestrutura, o que, normalmente, impedem o uso dessas tecnologias.

Este tipo de utilização das ferramentas de inteligência artificial podem ser oportunamente úteis para compreender como os parâmetros urbanísticos, como o índice de massa construída, o fator de visão de céu, o índice de vegetação urbana e a relação entre altura e largura das vias, afetam o microclimático das cidades.

Novas tecnologias inteligentes são vistas como fator chave na luta contra as mudanças climáticas e na melhoria da eficiência energética das cidades, a fim de diminuir as emissões de gases de efeito estufa. Portanto, essas tecnologias devem ser "inteligentes, enxutas, integradas, de baixo custo e eficientes em recursos" e devem ter impacto não apenas nos objetivos de sustentabilidade ambiental, mas também no bem-estar dos cidadãos e na sustentabilidade financeira (AHVENNIEMI, 2017).

Quanto a contribuição da inteligência artificial na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, KAGINALKAR et al. (2023) enfatizam que a participação ativa dos cidadãos e o uso das TIC's, como smartphones, big data e a internet das coisas (IoT), têm potencial para melhorar a qualidade do ar nas cidades e reduzir seus efeitos adversos na saúde da população. Nesse contexto, é necessário desenvolver uma estrutura integrada de computação urbana para a gestão da qualidade do ar em smart cities emergentes em todo o mundo.

Em síntese, a inteligência artificial pode desempenhar um papel crucial nos avanços dos estudos sobre o clima urbano, fornecendo uma abordagem mais integrada ao permitir os planejadores tomem decisões baseada em dados e cenários futuros simulados. Corroboram para essa perspectiva os avanços tecnológicos observados no campo das smart cities, como sensores ambientais e sistemas de computação avançados, que permitem a criação de modelos preditivos e descritivos precisos para entender o comportamento térmico do

ambiente construído. Apesar dos desafios de infraestrutura, o potencial da IA é inegável e seu uso pode ajudar a tornar as cidades e edifícios mais sustentáveis e resilientes.

4.2. Qual a contribuição do uso da inteligência artificial e das tecnologias emergentes no desenvolvimento de cidades inteligentes e resilientes?

Lazzaretti et al. (2019) explicam que ainda não existe uma definição universalmente aceita para *smart cities* – cidades inteligentes. Porém, normalmente, se parte da ideia central de utilizar os recursos públicos de maneira eficiente para oferecer serviços de melhor qualidade aos cidadãos, com redução dos custos operacionais. O desenvolvimento de cidades inteligentes varia de acordo com fatores locais e envolve investimentos em capital humano, infraestrutura de transporte e comunicação, governança participativa e gestão sustentável dos recursos naturais. Aqueles autores citam também que essas iniciativas são impulsionadas pela adoção de tecnologias de informação e comunicação – TIC's.

No decurso do planejamento territorial, as TIC's podem ser compostas por componentes de hardware e software, incluindo sensores, computadores, smartphones, infraestrutura de internet, redes de comunicação sem fio, aplicativos de software e muito mais. Todas essas tecnologias podem ser integradas em diversos aspectos da cidade, desde a arquitetura até os serviços oferecidos, incluindo transporte, mobilidade, energia, planejamento urbano, meio ambiente, saúde, educação, segurança e parques (BIBRI & KROGSTIE, 2017).

Em contrapartida, o intenso avanço das tecnologias da informação e comunicação está produzindo ambientes urbanos diferentes de tudo o que foi experimentado anteriormente. Isso porque, as cidades se tornam "inteligentes" não apenas quando são automatizadas funções rotineiras, mas também quando há monitoramento, análise e planejamento em tempo real, o que muda a maneira como as cidades podem ser planejadas e trazem a perspectivas de torná-las mais resilientes no longo prazo (BATTY et al., 2012; RIZZON et. El., 2017).

Neste contexto, a inteligência artificial tem sido cada vez mais utilizada no planejamento urbano, permitindo a análise e simulação de cenários complexos e em tempo real. Por meio desta tecnologia é possível criar modelos preditivos capazes de reconhecer padrões de movimento, consumo de energia, poluição sonora, entre outros (S'ANCHEZ-CORCUERA et al., 2019).

Entretanto, Fariniuk (2020) destaca que o conceito de smart cities está mais relacionado à capacidade de responder a problemas locais do que simplesmente a adoção de TIC's. Para aquela autora o conceito possui duas visões complementares: a primeira com foco na normatização das decisões emergenciais, e a segunda com foco na colaboração, formada por uma comunidade criativa que compartilha conhecimentos para se adaptar rapidamente.

Ampliando a discussão, a conexão entre cidades inteligentes e sustentáveis é um tema emergente na literatura acadêmica, que argumenta a favor de uma compreensão integrada da cidade que harmoniza tecnologia, bem-estar, sustentabilidade e participação cidadã. Consequentemente, as administrações municipais serão compelidas a expandir a adoção de tecnologias inovadoras para atender às expectativas de populações progressivamente digitalizadas e interligadas. A ideia é que a resiliência urbana está intimamente ligada à sustentabilidade, e ambas se beneficiam das tecnologias de ponta inerentes às cidades inteligentes para serem efetivas (SANTOS et. al., 2022).

Aliado as TIC's, a utilização de big data no ambiente das smart cities podem ajudar a tornar as cidades mais sustentáveis e resilientes. Isso, porque, com a análise dos dados coletados, os gestores urbanos podem tomar decisões mais fundamentadas e embasadas em dados, o que pode levar a uma melhor eficiência no uso de recursos, redução de emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da qualidade do ar e da água. Dentro desta perspectiva, o surgimento da big data tem implicações significativas no contexto urbano e pode ser uma oportunidade única para desenvolver, experimentar e avançar em indicadores inovadores e relevantes para o desenvolvimento sustentável. Essas inovações não se referem apenas ao aumento significativo do volume, variedade, velocidade e veracidade dos dados, mas sim à forma como os dados são aplicados e difundidos na sociedade. As análises preditivas obtidas por meio do uso da IA associadas a essas inovações têm o potencial de capacitar as pessoas e mudar a forma como os residentes urbanos interagem entre si e com o ambiente circundante e infraestruturas urbanas (KHARRAZI, QIN e ZHANG, 2016).

No campo das tecnologias emergentes, big data se refere a conjuntos de dados massivos, dinâmicos, variados, detalhados, inter-relacionados e de baixo custo que podem ser conectados e utilizados de diversas maneiras, permitindo estudos que passam de escassos a ricos em dados, de instantâneos estáticos a desenvolvimentos dinâmicos, de agregações grosseiras a alta resolução, e de hipóteses e modelos relativamente simples a simulações e teorias mais complexas e sofisticadas (KITCHIN, 2014).

De acordo com Al Nuaimi et al. (2015), o conceito de big data tem uma influência significativa em diversos aspectos de uma cidade inteligente e, conseqüentemente, na vida das pessoas. Isso porque, a quantidade de dados globais gerados anualmente está crescendo rapidamente, com uma taxa projetada de 40%, enquanto os gastos globais com tecnologia da informação estão crescendo apenas 5%. Aqueles autores explicam que para garantir o sucesso dessas aplicações e serviços tecnológicos nas cidades é fundamental contar com poderosas instalações computacionais e sistemas de armazenamento de dados, reforçando ainda que uma das soluções para atender a essas demandas é a utilização da Cloud computing - Computação em Nuvem -, que oferece diversas vantagens para o gerenciamento e análise de big data para smart cities.

Levando em conta este cenário, Bibri (2018) destaca que a Cloud computing é uma das infraestruturas-chave das cidades inteligentes e sustentáveis, oferecendo inúmeras vantagens como redução de custos, independência de localização e dispositivo, escalabilidade, desempenho, confiabilidade e manutenção. Optar pelo uso desta tecnologia para a análise de big data no contexto das smart cities é a opção mais adequada para a operação de infraestruturas, aplicações e serviços cujo funcionamento depende da colaboração eficiente entre os diferentes domínios urbanos para alcançar e manter o nível necessário de sustentabilidade ambiental.

De maneira sucinta, pode-se dizer que smart cities são uma tendência cada vez mais forte na busca por soluções para o crescimento urbano sustentável. Tecnologias como inteligência artificial, big data e sensores em IoT são usadas para coletar dados e criar modelos descritivos preditivos capazes de reconhecer padrões de movimento, consumo de energia e poluição sonora, entre outros. Com essa análise, é possível criar serviços mais eficientes e reduzir custos operacionais, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e ajudar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Não obstante, para criar cidades verdadeiramente inteligentes, resilientes e sustentáveis, é necessário investir em capital humano, infraestrutura de transporte e comunicação, governança participativa e gestão sustentável dos recursos naturais.

5. CONCLUSÕES

Este artigo discutiu a importância da utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação associadas às ferramentas como a *big data* e Inteligência Artificial no planejamento urbano e no desenvolvimento de *smart cities*. A partir do que foi apresentado, conclui-se que a utilização de sensores e sistemas de monitoramento, pode fornecer informações em tempo real sobre o trânsito, qualidade do ar, iluminação pública, segurança e outros aspectos da vida urbana. Esses dados podem ser usados para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e aumentar a eficiência dos serviços públicos.

A Inteligência Artificial pode ser usada em conjunto com *big data*, *IoT* e *cloud computing* para desenvolver modelos capazes de prever tendências e propor soluções proativas para os desafios urbanos. Algoritmos de aprendizado de máquina podem ser usados para detectar padrões nos dados coletados e antecipar problemas antes que eles ocorram, permitindo que as autoridades tomem medidas preventivas.

Em síntese, o emprego dessas tecnologias pode ser uma solução para tornar as cidades mais resilientes e sustentáveis, por meio da gestão inteligente de recursos e serviços urbanos. Entretanto, é fundamental que a implementação destes recursos nas cidades seja acompanhada por políticas públicas que visem a inclusão social e respeitem questões éticas e de privacidade de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, Charu C.; Neural Networks and Deep Learning. **Springer**. 2018. Disponível em: <https://doi:10.1007/978-3-319-94463-0>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- AHVENNIEMI, Hannele; HUOVILA, Aapo; PINTO-SEPPÄ, Isabel; AIRAKSINEN, Miimu. What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, 60, 234–245, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>. Acesso em: 02 de abr. 2023.
- AL NUAIMI, Eiman; AL NEYADI, Hind; Nader MOHAMED e AL-JAROODI, Jameela. Applications of big data to smart cities. **Journal of Internet Services and Applications**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>. Acesso em: 04 de abr. 2023.
- AMORIM, Margarete; DUBREUIL, Vincent; CARDOSO, Renatta. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2015, 16, pp.29-45. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-01187918/>. Acesso em 06 de abr. de 2023.
- BADILLO, Solveig et al. An introduction to machine learning. *Clinical pharmacology & therapeutics*, v. 107, n. 4, p. 871-885, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cpt.1796>. Acesso em 01 de abr. 2023.
- BATTY, M.; AXHAUSEN, K.W.; GIANNOTTI, F.; POZDNOUKHOV, A.; BAZZANI, A.; Wachowicz, M.; Ouzounis, G.; & PORTUGALI, Y. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214, 481–518. 2012. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- BIBRI, Simon Elias. The IoT for Smart Sustainable Cities of the Future: An Analytical Framework for Sensor-based Big Data Applications for Environmental Sustainability. **Sustainable Cities and Society** 38 (2018): 230-53. Disponível em: <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scs.2017.12.034>. Acesso em 01 de abr. 2023.

- BIBRI, Simon Elias; KROGSTIE, John. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable cities and society*, v. 31, p. 183-212, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>. Acesso em: 3 abr. 2023.
- DEBIAZI, Pedro Renan; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 215-232, 2017.
- EMMANUEL, R.; LOCONSOLE, A. Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. *Landscape and Urban Planning*. V. 138, p. 71-86, 2015. Disponível em: <https://10.1016/j.landurbplan.2015.02.012>. Acesso em 02 de abr. 2023.
- FARINIUK, Tharsila Maynardes Dallabona. Smart cities e pandemia: tecnologias digitais na gestão pública de cidades brasileiras. **Revista de Administração Pública**, v. 54, p. 860-873, 2020. Acesso em: 3 abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-761220200272>. Acesso em 26 de mar. 2023.
- GONZALEZ, Jorge E.; RAMAMURTHY, Prathap; BORNSTEIN, Robert D.; CHEN, Fei; BOU-ZEID, Elie R.; GHANDEHARI, Masoud; LUVALL, Jeffrey; MITRA, Chandana; NIYOGI, Dev. Urban climate and resiliency: A synthesis report of state of the art and future research directions. **Urban Climate**, v. 38, p. 100858, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095521000882>. Acesso em 20 de mar. 2023.
- GORALSKI, Margaret A.; TAN, Tay Keong. Artificial intelligence and sustainable development. *The International Journal of Management Education*, v. 18, n. 1, p. 100330, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100330>. Acesso em 15 de mar. de 2023.
- HINTON, G. E., DENG, L., YU, D., DAHL, G. E., MOHAMED, A.-R., JAITLEY, N., SENIOR, A., VANHOUCKE, V., NGUYEN, P., SAINATH, T. N., & KINGSBURY, B. Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(6), 82-97, 2012. <https://doi.org/10.1109/MSP.2012.2205597>. Acesso em 28 de mar. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- KAGINALKAR, Akshara, KUMAR, Shamita; GARGAVA, Prashant; e NIYOGI, Dev. Stakeholder analysis for designing an urban air quality data governance ecosystem in smart cities. **Urban Climate**, v. 48, p. 101403, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101403>. Acesso em: 04 de abr. 2023.
- KHARRAZI, Ali; QIN, Hua; ZHANG, Yi. Urban big data and sustainable development goals: Challenges and opportunities. *Sustainability*, v. 8, n. 12, p. 1293, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8121293>. Acesso em: 02 de abr. 2023.
- KRENKER, Andrej.; BEŠTER, Janez.; KOS, Andrej. Introduction to the Artificial Neural Networks. *Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications*. **InTech**. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/15751>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- LAZZARETTI, K., SEHNEM, S. & BENCKE, F. F., MACHADO, H. P. V.; Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, e20190118. 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190118>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- LE CUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature14539>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- LEAL FILHO, Walter; WALL, Tony; MUCOVA, Serafino Afonso Rui; NAGY, Gustavo J.; BALOGUN, Abdul Latee; LUETZ, Johannes M. Luetz; NG, Artie W.; KOVALEVA, Marina; AZAM, Fardous Mohammad Safiul; ALVES, Fatima; GUEVERA, Zeus; MATANDIROTYA, Newton; SKOULOUDISS Antonis; TZACHORT, Asaf; MALAKAR, Krishna; GANDHI, Odhiambo. Deploying artificial intelligence for climate change adaptation. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 180, p. 121662, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121662>. Acesso em 03 de abr. 2023.
- MARTÍNEZ, Tania María Blanchar; DE LA HOZ RESTREPO, Fernando Pio. Inteligencia artificial en las enfermedades transmisibles: impacto en la toma de decisiones y la salud. **Revista Cubana de Salud Pública**, v. 48, 2022. Disponível em: <https://revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/view/2669/0>. Acesso em 29 de mar. 2023.
- MIDDEL Ariane; NAZARIAN, Negin; DEMUZERE, Matthias; e BECHTEL, Benjamin. "Urban Climate Informatics: An Emerging Research Field." **Frontiers in Environmental Science** 10. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, Vol.10. Disponível em: https://mp-primo.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/vsvpiv/TN_cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_befaa045f1f74fb492755023d59aed88. Acesso em 01 de abr. 2023.
- MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUZIANOS, E. Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 60–70, jul. 2016. Disponível em: <http://www.opjstamnar.com/download/Worksheet/Day-116/IP-XI.pdf>. Acesso em 02 de abr. de 2023.
- MONTEREI, Rafaella Carine. Perspectivas do uso do aprendizado de máquina em bibliotecas: uma revisão sistemática de literatura. 2023. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/45416>. Acesso em: 31 de mar. 2023.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *World Urbanization Prospects 2018*. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- PACHECO, Rosalia; ORDÓÑEZ, Javier; MARTÍNEZ, Germán. Energy efficient design of building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3559-3573, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>. Acesso em 02 de abr. de 2023.
- RIZZON, F.; BERTELLI, J.; MATTE, J.; GRAEBIN, R. E.; MACKE, J. Smart City: um conceito em construção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade** (ISSN 2318-3233), São Paulo, v. 7, n. 3, p. 123–142, 2017. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1378>. Acesso em: 3 abr. 2023.
- S´ANCHEZ-CORCUERA, R.; NUÑEZ-MARCOS, A.; SESMA-SOLANCE, J.; BILBAO-JAYO, A.; MULERO, R.; ZULAIKA, U.; AZKUNE, G.; and ALMEIDA, A. Smart cities survey: Techno-logies, application domains and challenges for the cities of the future. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 2019, [https://15\(6\):1550147719853984](https://15(6):1550147719853984). Acesso em: 3 abr. 2023.

- SANTOS, Évani Larisse dos; FRANZ, Nádia Mara; SIMÃO, Angelo Guimarães; TERNOSKI, Simão; SILVA, Christian Luiz da; SANTOS, Gilson Ditzel. Cidades inteligentes e sustentáveis: percepções sobre a cidade de Curitiba/PR a partir dos planos plurianuais de 2014 a 2021. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 14, 2022. Disponível em: <https://10.1590/2175-3369.014.e20210299>. Acesso em: 03 de abr. 2023.
- SIMEONE, Osvaldo et al. A brief introduction to machine learning for engineers. **Foundations and Trends® in Signal Processing**, v. 12, n. 3-4, p. 200-431, 2018. Disponível em: <https://10.1561/2000000102>. Acesso em: 01 abr. 2023.
- TONIOLO, Korinzia; MASIERO, Eleonora; MASSARO, Maurizio; & BAGNOLI, Carlo. Sustainable business models and artificial intelligence: Opportunities and challenges. Knowledge, People, and Digital Transformation. Contributions to Management Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40390-4_8. Acesso em 28 de mar. de 2023.
- YIGITCANLAR, Tan. Greening the artificial intelligence for a sustainable planet: An editorial commentary. Sustainability, v. 13, n. 24, p. 13508, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132413508>. Acesso em 20 de mar. De 2023.