



CIDADES AUTÔNOMAS

INTEGRAÇÃO DE IOT, BLOCKCHAIN E VEÍCULOS AUTÔNOMOS PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS E CENTRADAS NO CIDADÃO

Marco Thulio Alves Maciel¹

¹UFMG/DEE/Escola de Engenharia, marco-maciels@ufmg.br

Resumo: As *cidades autônomas* representam uma evolução do conceito de cidades inteligentes, incorporando tecnologias emergentes para otimizar o ambiente urbano. Este artigo explora, por meio de revisão bibliográfica, como a Internet das Coisas (IoT), o blockchain e os veículos autônomos convergem para tornar as cidades mais eficientes, sustentáveis e centradas no cidadão. São apresentados dados recentes, exemplos de implementação e uma análise crítica dos benefícios e desafios técnicos, éticos, regulatórios e sociais envolvidos na adoção dessas tecnologias nas cidades contemporâneas.

Palavras-chave: Cidades Autônomas, Internet das Coisas, Blockchain, Veículos Autônomos, Sustentabilidade Urbana, Cidades Inteligentes.

1. Introdução:

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.1	n.19	2025.1	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	-----	------	--------	-------------------

Realização:



Apoio:



Produção:





Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

A rápida urbanização traz desafios significativos de mobilidade, segurança, gestão de recursos e qualidade de vida nas cidades. Projeções da ONU indicam que cerca de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas até 2050, aumentando a pressão sobre infraestrutura e serviços urbanos. Nesse contexto, surge o conceito de cidades autônomas, em que tecnologias avançadas – notadamente Internet das Coisas (IoT), blockchain e veículos autônomos – são integradas para automatizar e aprimorar a gestão urbana. As cidades autônomas podem ser entendidas como uma próxima geração de cidades inteligentes, nas quais sistemas conectados e inteligentes tomam decisões em tempo real, com mínima intervenção humana, para otimizar tráfego, energia, segurança e demais serviços públicos.

A Internet das Coisas refere-se à conectividade entre sensores, dispositivos e sistemas, permitindo coletar e trocar dados continuamente no ambiente urbano. Blockchain é uma tecnologia de registro distribuído e imutável que garante transparência e segurança nas transações de dados ou valores, podendo servir como infraestrutura confiável para serviços municipais e interação entre dispositivos. Já os veículos autônomos prometem transformar a mobilidade urbana, reduzindo acidentes e congestionamentos ao mesmo tempo em que oferecem novos modelos de transporte (como robô-táxis e ônibus autônomos).



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

Este artigo tem como objetivo investigar a convergência dessas tecnologias no contexto urbano e discutir como sua integração viabiliza cidades mais eficientes e sustentáveis, centradas no cidadão em termos de qualidade de vida e participação. Inicialmente, apresenta-se uma revisão dos fatos e conhecimentos atuais sobre IoT, blockchain e veículos autônomos em cidades, seguida da metodologia empregada. Em seguida, analisa-se criticamente os dados coletados, incluindo exemplos práticos e quadros comparativos, para então discutir os desafios técnicos, éticos, regulatórios e sociais da adoção em larga escala dessas inovações. Por fim, a conclusão retoma os objetivos e resultados, refletindo sobre as implicações para o futuro das cidades.

2. Dos Fatos

As cidades inteligentes já utilizam amplamente dispositivos IoT, que deverão chegar a 50 bilhões globalmente em 2025. Sensores conectados monitoram tráfego, qualidade do ar, energia e outros indicadores essenciais, otimizando semáforos, reduzindo congestionamentos e melhorando respostas a emergências. Esse cenário impulsionou iniciativas inteligentes em mais de 2.000 cidades até o momento, embora desafios como segurança cibernética e privacidade continuem relevantes.

O blockchain também tem ganhado destaque nas cidades inteligentes devido à transparência e segurança proporcionadas por registros imutáveis. Além das criptomoedas, é aplicado em governança, registros públicos, gestão de resíduos e redes de energia descentralizadas, como ocorre em Dubai com plataformas como o Dubai Pulse. Estima-se que o mercado global de blockchain cresça de US\$4,8 bilhões (2021) para cerca de US\$69 bilhões até 2030.

Os veículos autônomos, equipados com sensores IoT e algoritmos inteligentes, vêm revolucionando a mobilidade urbana. Projetos-piloto em Singapura, Phoenix e

Shenzhen demonstram potencial para reduzir acidentes em até 90% e otimizar a fluidez do trânsito. Projeções indicam um crescimento expressivo dessa frota, ultrapassando 125 mil veículos até 2030. Cidades como Dubai têm metas ambiciosas, visando 25% das viagens em veículos autônomos até o fim da década, incluindo táxis-robô e drones para transporte urbano.



Figura 1: Protótipo do táxi-drone autônomo EHang 184, testado em Dubai. Veículos autônomos aéreos ilustram a diversificação da mobilidade autônoma nas cidades, ampliando as possibilidades de transporte urbano eficiente e integrado a sistemas inteligentes.

A convergência de IoT, blockchain e veículos autônomos é o que caracteriza propriamente as cidades autônomas. Em uma infraestrutura urbana convergente, sensores IoT coletam dados em tempo real (de tráfego, clima, poluição etc.) e



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

registram-nos em sistemas baseados em blockchain, assegurando a integridade e a disponibilidade dessas informações para diferentes aplicações e agentes urbanos. Por exemplo, veículos autônomos podem utilizar dados de semáforos e sensores de trânsito para ajustar rotas instantaneamente, ao mesmo tempo reportando seu posicionamento e condições de viagem em uma cadeia de blocos acessível para autoridades e outros veículos. O blockchain pode servir como uma camada de coordenação descentralizada entre máquinas: vislumbra-se uma “economia de máquinas” na qual um carro autônomo – equipado com uma identidade digital única – é capaz de interagir economicamente com a cidade, pagando automaticamente por recarga elétrica, pedágios ou estacionamentos via contratos inteligentes. Esse grau de autonomia operacional, descrito por startups como a Oaken, torna o veículo verdadeiramente autônomo não apenas na direção, mas também na gestão de suas necessidades e serviços. Em síntese, a IoT provê onipresença de dados e conectividade, o blockchain provê confiança, segurança e automação de transações, e os veículos autônomos constituem atores físicos inteligentes que utilizam essas infraestruturas para operar de forma otimizada. Cidades autônomas combinam essas dimensões para orquestrar sistemas de transporte, energia, saúde e segurança de modo proativo e resiliente, moldando um ambiente urbano capaz de se autoajustar e aprender continuamente com os fluxos de informações.

3. Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória de natureza qualitativa, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental de fontes atuais sobre tecnologias emergentes em contexto urbano. Foram consultadas publicações científicas, relatórios institucionais e notícias técnicas, priorizando-se materiais publicados entre 2018 e 2025, período de intensificação dos debates e implementações de IoT, blockchain e veículos autônomos em cidades. A seleção das fontes considerou credibilidade (por exemplo, artigos revisados por pares, órgãos



oficiais e veículos reconhecidos de tecnologia) e relevância temática, buscando cobrir tanto aspectos técnicos quanto socioeconômicos das tecnologias estudadas. Os dados quantitativos coletados (estatísticas de adoção, projeções de mercado, indicadores de desempenho) foram organizados em quadros e tabelas comparativas, visando a facilitar a visualização de tendências e correlações. Na etapa de análise, adotou-se a técnica de análise de conteúdo para identificar os principais eixos temáticos – benefícios, desafios e casos de uso – emergentes na literatura. Os critérios de interpretação dos dados levaram em conta o contexto de cada fonte (por exemplo, distinções entre estudos prospectivos e resultados empíricos já observados) e a triangulação de informações de diferentes origens para fundamentar conclusões consistentes. Assim, a metodologia permitiu reunir evidências atualizadas e multidisciplinares para sustentar a discussão sobre a integração de IoT, blockchain e veículos autônomos nas cidades, bem como propiciar uma visão crítica quanto aos impactos esperados e obstáculos a superar.

4. Análise e Interpretação dos Dados

Os dados levantados confirmam uma rápida difusão das tecnologias IoT, blockchain e veículos autônomos nos cenários urbanos, embora em graus de maturidade distintos. De um lado, a Internet das Coisas urbana já está bem estabelecida: investimentos mundiais em tecnologia para cidades inteligentes atingiram US\$ 158 bilhões em 2022, com previsão de superar US\$ 1,5 trilhão até 2030. Esse aporte sustenta a instalação de milhões de sensores e sistemas conectados que tornam tangível a visão de cidades *data-driven*. Veículos autônomos, por sua vez, ainda estão em fase de adoção inicial, mas com crescimento acelerado ano a ano conforme demonstrado na **Tabela 1**.



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Ano	Veículos Autônomos em Operação (mundial)
2022	16.960
2023	21.150
2024 ²	26.560
2030 ²	125.660



Tabela 1 – Evolução do número de veículos autônomos em operação globalmente

² Valores projetados para anos futuros. Fonte: Statista (dados compilados em www.gdsonline.tech/autonomous-vehicle-trends-whats-next/#:~:text=,autonomous%20vehicles%20were%20running%20worldwide).

Observa-se na Tabela 1 que, embora os números absolutos de veículos autônomos ainda sejam relativamente modestos frente à frota mundial, as projeções apontam para uma difusão muito acelerada até 2030. Essa tendência é corroborada pelo interesse governamental: várias cidades e países criaram índices de prontidão para veículos autônomos e planos estratégicos para sua incorporação nos sistemas de transporte. Conforme mencionado, Dubai pretende que um quarto de todos os deslocamentos utilize veículos sem motorista até 2030, o que implica uma transformação profunda na mobilidade urbana local. Singapura, Países Baixos, Noruega e Estados Unidos também figuram entre os líderes em prontidão regulatória e tecnológica para receber veículos autônomos, segundo índices internacionais de autonomous vehicles readiness (AVRI)

No campo do blockchain, há rápido crescimento global de projetos municipais que abrangem desde moedas digitais locais até contratos públicos. Cidades como Tallinn (Estônia) e Zug (Suíça) destacam-se ao adotar blockchain para identidade digital e pagamentos, enquanto Pequim e Xangai investem em consórcios para segurança e intercâmbio de dados urbanos. Contudo, questões de escalabilidade e interoperabilidade permanecem como desafios práticos importantes.



A integração das tecnologias IoT, blockchain e veículos autônomos amplifica os benefícios individuais, resultando em ganhos sistêmicos. Exemplos são a gestão otimizada do tráfego com sensores IoT e veículos autônomos, e contratos inteligentes que regulam pedágios dinamicamente. Edifícios inteligentes também podem utilizar blockchain para gerenciar transações energéticas automaticamente, gerando maior eficiência operacional e sustentabilidade ambiental.

Contudo, existem desafios significativos para concretizar o potencial das cidades autônomas:

- **Técnicos:** Limitações dos veículos autônomos em ambientes complexos, exigência por infraestrutura robusta de IoT (como redes 5G) e questões de segurança cibernética.
- **Éticos e sociais:** Privacidade e vigilância massiva devido aos sensores IoT, aceitação pública ainda incerta dos veículos autônomos e impacto negativo potencial no emprego, exigindo políticas inclusivas e educativas.
- **Regulatórios e legais:** Necessidade urgente de atualização legislativa para regular veículos autônomos e blockchain, além de padronização técnica para evitar fragmentação tecnológica.

Apesar dos desafios, o movimento em direção às cidades autônomas é impulsionado por benefícios comprovados e comprometimento governamental, especialmente na Europa e Ásia. A centralidade no cidadão é um aspecto essencial, ressaltando que as tecnologias devem servir ao interesse coletivo, garantindo maior qualidade de vida e participação ativa dos moradores.

5. Conclusão



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

Este artigo investigou a convergência das tecnologias IoT, blockchain e veículos autônomos nas cidades autônomas, destacando benefícios como eficiência operacional, redução de custos, sustentabilidade ambiental e maior participação cidadã. Apesar das vantagens demonstradas por iniciativas já existentes, desafios técnicos, éticos, regulatórios e sociais ainda precisam ser superados. Conclui-se que o sucesso dessas cidades depende de planejamento estratégico, governança transparente e inclusão social, assegurando que as tecnologias sirvam ao interesse público e promovam uma qualidade de vida mais elevada para todos os cidadãos.

Referências

ABINC. O papel das tecnologias emergentes nas cidades inteligentes. 05 maio 2023. Disponível em: <https://abinc.org.br/o-papel-das-tecnologias-emergentes-nas-cidades-inteligentes/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DOS EMIRADOS – WAM. Mohammed bin Rashid assiste a testes iniciais das primeiras vagens autônomas do mundo. 13 fev. 2018. Disponível em: <https://www.wam.ae/pt/article/hszr6ke6-mohammed-bin-rashid-assiste-testes-iniciais-das>. Acesso em: 7 jun.

2025. GOLDSTEIN, Phil. Smart Cities Gain Efficiencies from IoT Traffic Sensors and Data. StateTech Magazine, 13 dez. 2018. Disponível em: <https://statetechmagazine.com/article/2018/12/smart-cities-gain-efficiencies-iot-traffic-sensors-and-data>. Acesso em: 7 jun. 2025.

LTS GLOBAL DIGITAL SERVICES. Autonomous Vehicle Trends: What's Next for Autonomous Driving? 2023. Disponível em: <https://www.gdsonline.tech/autonomous-vehicle-trends-whats-next/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

REUTZEL, Bailey. Como a tecnologia Blockchain pode levar os carros autônomos para a pista rápida. CoinDesk, 11 set. 2021. Disponível em: <https://www.coindesk.com/pt-br/markets/2017/05/25/how-blockchain-tech-could-move-self-driving-cars-into-the-fast-lane>. Acesso em: 7 jun.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.1	n.19	2025.1	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	-----	------	--------	-------------------

Realização:



Apoio:



Produção:



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2025.1 - Liberdade e Cidadania

2025. RICHMAN, Jeffrey. 72+ Eye-opening IoT Statistics, Facts & Trends For 2024. Estuary (Blog), 2024. Disponível em: <https://estuary.dev/blog/iot-statistics/>. Acesso em: 15 jun. 2025. RIDA, Anass. Blockchain in Smart Cities: A Path to Environmental Sustainability? Earth.Org, 28 out. 2024. Disponível em: <https://earth.org/blockchain-in-smart-cities-a-path-to-environmental-sustainability/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

TRAN, Bao. Smart City Adoption Rates: How Many Cities Are Going Digital? PatentPC, 26 maio 2025. Disponível em: <https://patentpc.com/blog/smart-city-adoption-rates-how-many-cities-are-going-digital>. Acesso em: 7 jun. 2025.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição - Compartilha Igual (CC BY-SA- 4.0), que permite uso, distribuição e reprodução com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.