CIDADES INTELIGENTES 360

Caderno Técnico

Conectividade

Secretaria de Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS

CIDADES INTELIGENTES 360

Caderno Técnico

Conectividade

Secretaria de Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO SÃO PAULO SÃO TODOS

São Paulo, 2025

©Secretaria de Desenvolvimento Econômico
Av. Escola Politécnica, 82 –
Jaguaré
CEP 05350-000
São Paulo SP
Telefone 55 (11) 3718-6500

© Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT
Av. Professor Almeida Prado, 532 –
Cidade Universitária "Armando Salles Oliveira
CEP 05508-901
São Paulo SP
Telefone 55 (11) 3767-0000
e-mail ipt@ipt.br
www.ipt.br

Cidades Inteligentes: Cadernos técnicos
Coordenadores
Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo – IPT (malu@ipt.br)
Caio Olmos Marinelli – SDE (comarinelli@sde.sp.gov.br)

Cidades Inteligentes: Caderno Técnico Conectividade

Coordenador: Matheus Jacon Pereira (mjacon@ipt.br)
Autores (ordem alfabética): Antonio Carlos Oliveira Amorim; Fabrício Gonçalves Torres; Leandro Avanço; Matheus Jacon Pereira; Mauro Kendi Noda.

Autores dos Anexos: A e C (Maria Luiza Otero D Almeida Lamardo); B (Adriana Camargo Brito; Adriano Galindo Leal; Cristina Maria Ferreira da Silva; Denis Bruno Virissimo; Wagner Luiz Gava).

Apoio:
Edna Baptista dos Santos Gubitoso (bibliografias); Augusto Max Colin, Luiz Gustavo Pinto de Moraes Silviano e Rita de Cassia Parise (revisão do projeto gráfico e de imagens); Luciana Casciny Pacífico (Anexo A); Nereide de Oliveira (Anexo A)

Projeto Gráfico e Diagramação
Phábrica de Produções:
Alecsander Coelho, Daniela Bissiguini, Érsio Ribeiro, Kauê Rodrigues,
Paulo Ciola, Rebeca Tonello, Thiago Cordeiro

Capa
Freepik / Phábrica de Produções

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Caderno técnico cidades inteligentes [livro eletrônico] : caderno técnico conectividade / [coordenação Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo, Caio Olmos Marinelli, Matheus Jacon Pereira]. -- São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Desenvolvimento Econômico, 2025.
-- (IPT Publicação ; 3079)

Vários autores.
ISBN: 978-65-5702-052-4

1. Cidades inteligentes 2. Internet das coisas 3. São Paulo (Cidade) - Governo e administração 4. Segurança de dados 5. Tecnologias de informação e comunicação I. Lamardo, Maria Luiza Otero D'Almeida. II. Marinelli, Caio Olmos. III. Pereira, Matheus Jacon. IV. Série.

25-315954.1 CDD-307.76

Índices para catálogo sistemático:
1. Cidades inteligentes : Planejamento : Sociologia urbana 307.76
Suelen Silva Araújo Oliveira - Bibliotecária - CRB-8/11482

Apresentação

O processo de urbanização crescente tem remetido a questões que precisam ser contornadas para que seus sintomas não venham interferir de modo negativo no funcionamento das cidades e na qualidade de vida dos cidadãos.

Hoje é necessário ter um olhar mais abrangente sobre as cidades, que devem ser funcionais em todos os seus aspectos, além de preparadas para reagir ou minimizar os efeitos de eventos adversos.

Um dos grandes desafios enfrentados pelos gestores municipais é o de tornar suas cidades inteligentes. Neste contexto, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, SDE, teve a iniciativa de, com o apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, elaborar cinco cadernos técnicos, em temas essenciais para uma cidade, abordando conceitos e pontos relevantes relacionados a cidades inteligentes. Os temas dos cadernos técnicos são os indicados a seguir.

- Caderno Técnico Governança e Planejamento Urbano
- Caderno Técnico Conectividade
- Caderno Técnico Mobilidade Urbana
- Caderno Técnico Serviços
- Caderno Técnico Segurança

Espera-se com esta iniciativa fornecer, para as prefeituras do Estado de São Paulo, um quadro diverso de conceito e soluções, que, embora não tratado de forma exaustiva, venha apoiar os gestores municipais na construção e execução de seus planejamentos, visando tornar seus respectivos municípios Cidades Inteligentes.

Sumário

1. Introdução 9

1.1 Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis 10

1.2 Os Cadernos Técnicos 13

1.3 O Caderno Técnico Conectividade 13

2. Cidades Inteligentes: Mercado e Infraestrutura 16

2.1 Desafios do Mercado de Cidades Inteligentes 17

2.2 Oportunidades do Mercado de Cidades Inteligentes 18

3. Tecnologias de Comunicaçãopara Cidades Inteligentes 20

3.1 Principais Tecnologias de Conectividade com Fio 20

3.2 Principais Tecnologias de Conectividade Sem Fio 22

4. Interoperabilidade para Cidades Inteligentes 28

4.1 Aspectos da Interoperalidade 28

4.2 Promoção da Interoperabilidade 29

5. Expansão da Cobertura de Redes Móveis e de Conectividade 32

5.1 Aspectos Gerais 32

5.2 Anatel - Agência Nacional de Telecomunicações 35

5.3 Lei das Antenas 36

5.4 Implantação Nacional do 5G 39

6. Internet das coisas para Monitoramento Urbano 43

6.1 Internet das Coisas 43

6.2 Tipos de Sensores De IOT 44

6.3 Sensores IoT aplicados à Sistemas Centralizados 82

7. Segurança de Dados e Privacidade 85

7.1 Proteção de Dados Pessoais 85

7.2 Legislação Brasileira 86

7.3 Segurança Cibernética E Infraestrutura 87

8. A Conectividade como Meio 92

Anexos 94

Anexo A - Documentos Legais e Normas Técnicas 95

Anexo B - Inteligência Artificial: Conceitos e Desafios 103

Anexo C - Indicadores para Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis 111

1 Introdução

Cidades são ambientes complexos que trazem muitos desafios aos seus gestores, entre eles o de as tornarem sustentáveis, inteligentes e resilientes, conceitos que interagem entre si (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Imagem de interação entre Cidades Sustentáveis, Inteligentes e Resilientes

Fonte: Autor

Considerando como foco principal em uma cidade o cidadão, em toda sua totalidade, ou seja, como elemento demandante, como por exemplo de serviços de qualidade, e gerador, como por exemplo de resíduos, a tendência verificada no Brasil de migração do campo para as cidades (Tabela 1.1) torna os desafios ainda maiores para os gestores municipais, agravando questões que precisam ser contornadas para que seus sintomas não venham a interferir de modo negativo no funcionamento das cidades e na qualidade de vida dos cidadãos.

Tabela 1.1 – Brasil 1960-2022 – População residente.

Censo	População em área urbana (milhões)	População em área rural (milhões)	População total (milhões)	População em área urbana (%)	População em área rural (%)
1960	32,0	39,0	71,0	45,1	54,9
1970	52,9	41,6	94,5	56,0	44,0
1980	82,0	39,1	121,1	67,7	32,3
1991	110,9	36,0	146,9	75,5	24,5
2000	137,8	31,8	169,6	81,3	18,8
2010	160,9	29,8	190,7	84,4	15,6
2022	177,5	25,6	203,1	87,4	12,6

Fonte: Censo IBGE (2010)1 e Siqueira e Britto (2024)2

A tendência de migração do campo para as cidades não é apenas no Brasil, mas mundial. Segundo o relatório *World Population Prospects 2024*[3], das Nações Unidas, a população mundial que em 2024 atingiu 8,2 bilhões de pessoas deverá atingir 10,3 bilhões na década de 2080, e, então, permanecer ao redor desse valor. A migração do campo para a cidade também deverá ocorrer de forma relativamente significativa, chegando a 70% por volta de 2050[3,4].

Ao caminhar no sentido de tornar suas cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis, os gestores municipais devem estar cientes de que não há soluções padronizadas e universais para tal e, tampouco, modelos prontos para replicarem. Frequentemente soluções existentes devem ser adaptadas.

Particularidades, especificidades e singularidades locais devem ser consideradas na elaboração do planejamento de cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis. Deste modo, é importante:

- **planejar** (estabelecer objetivos e processos necessários para obter resultados de acordo com os propósitos da comunidade);
- **fazer** (implementar processos e alcançar metas);
- **acompanhar** (monitorar e medir processos frente à política, objetivos e compromissos da comunidade, e relatar os resultados);
- **corrigir** (tomar medidas necessárias para melhorar o desempenho).

Como o que não se mede, não se conhece, não se controla e não se melhora, é fundamental que cada gestor municipal defina os indicadores e métricas relevantes, que servirão como parâmetros de referência em sua cidade (ver Anexo C).

1.1 Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

Cidades Inteligentes

Muitas são as definições de cidades inteligentes, provavelmente pelo termo inteligente ser de certa forma vago e, assim, permitir várias interpretações. Há a questão de conferir à cidade a capacidade de sentir e reagir de maneira dinâmica a situações simples e complexas com auxílio de tecnologias e,

principalmente, com infraestrutura para aquisição e processamento massivos de dados e há, também, a questão de criar condições sociais e institucionais melhores para o capital humano. É desejável que a abordagem a essas questões sejam complementares.

A Carta Brasileira Cidades Inteligentes[5] traz a definição abaixo transcrita para cidades inteligentes:

> Cidades inteligentes são cidades comprometidas com o desenvolvimento urbano e a transformação digital sustentáveis, em seus aspectos econômico, ambiental e sociocultural, que atuam de forma planejada, inovadora, inclusiva e em rede, promovem o letramento digital, a governança e a gestão colaborativas e utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos, criar oportunidades, oferecer serviços com eficiência, reduzir desigualdades, aumentar a resiliência e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação.

A norma ABNT NBR ISO 37122 [6] traz no seu item 3.4 a definição abaixo transcrita para cidades inteligentes:

> Cidade que aumenta o ritmo em que proporciona resultados de sustentabilidade social, econômica e ambiental e que responde a desafios como mudanças climáticas, rápido crescimento populacional e instabilidade de ordem política e econômica, melhorando fundamentalmente a forma como engaja a sociedade, aplica métodos de liderança colaborativa, trabalha por meio de disciplinas e sistemas municipais e usa informações de dados e tecnologias modernas para fornecer melhores serviços e qualidade de vida para os que nela habitam (residentes, empresas e visitantes), agora e no futuro previsível, sem desvantagens injustas ou degradação do ambiente natural.

Cidades Resilientes

Cidades resilientes são aquelas que têm capacidade de se recuperar rapidamente de impactos causados por desastres, humanos ou naturais. Também têm capacidade de prever os impactos causados por esses desastres e de se antecipar a eles.

A norma ABNT NBR ISO 37123[7] traz no seu item 3.7 a definição abaixo transcrita para cidades resilientes:

> Cidade capaz de preparar-se, recuperar-se e adaptar-se aos choque e tensões.

Cidades Sustentáveis

Cidades sustentáveis são aquelas que adotam uma abordagem holística e não compartimentada, facilitando a cooperação de todas as partes interessadas em construir um sistema de gestão voltado para desenvolvimento sustentável.

O desafio do desenvolvimento sustentável é global, mas as estratégias para alcançá-lo nas cidades são locais e podem ser diferentes de cidade para cidade. Cada cidade deve respeitar seus *limites planetários* e considerar as limitações impostas por eles. A norma ABNT NBR ISO 37101[8] define, em sua introdução, o conceito de *limites planetários* como abaixo transcrito.

> O conceito de 'limites planetários' descreve um *framework* no qual a humanidade necessita viver, de forma a continuar a se desenvolver e prosperar para as próximas gerações. Mudanças climáticas, consumo de água, mudanças no uso do solo e perda da biodiversidade são exemplos de limites planetários. Ultrapassar estes limites pode gerar mudanças ambientais bruscas e irreversíveis, ao passo que respeitá-los reduz riscos significativamente. Limites planetários podem ser desagregados, de forma a selecionar medidas que podem ser atribuídas ao nível da comunidade, levando em conta uma situação específica.

Sustentabilidade e suas derivadas

O conceito de Sustentabilidade surgiu em 1987 com um relatório das Nações Unidas[9]que chamava a atenção para a importância de se ter um desenvolvimento sustentável, para garantir às necessidades do presente e também das gerações futuras. Ao longo dos anos, de modo incremental, ações foram surgindo, tendo em mente que o desenvolvimento sustentável deve ser dinâmico e atender o futuro e as necessidades presentes, conforme indica o relatório das Nações Unidas (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Ações relacionada ao desenvolvimento sustentável

Fonte: Autor, 2025

Dentre as derivadas relacionadas ao desenvolvimento sustentável merece destaque a Agenda 2030 e a questão do Clima.

Agenda 2030

A Agenda 2030[10] é um plano global proposto pelas Nações Unidas em 2015 e adotado por seus países membros que tem como principal objetivo promover o desenvolvimento sustentável em suas dimensões econômica, social e ambiental até o ano de 2030. Ela é baseada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que abordam questões sociais, econômicas e ambientais (Figura 1.3).

Figura 1.3 – Objetivos do desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: Nações Unidas Brasil , 2025 [10]

Clima (CPOs)

As Conferências das Partes (COPs) de países membros das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, tem como objetivo maior conter o aquecimento da temperatura do planeta, por meio da estabilização das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE), limitando ou reduzindo suas emissões. Os gases de efeito estufa são: o dióxido de carbono (CO_2); o metano (CH_4); o oxido nitroso (N_2O), o ozônio (O_3) e os gases fluoretados.

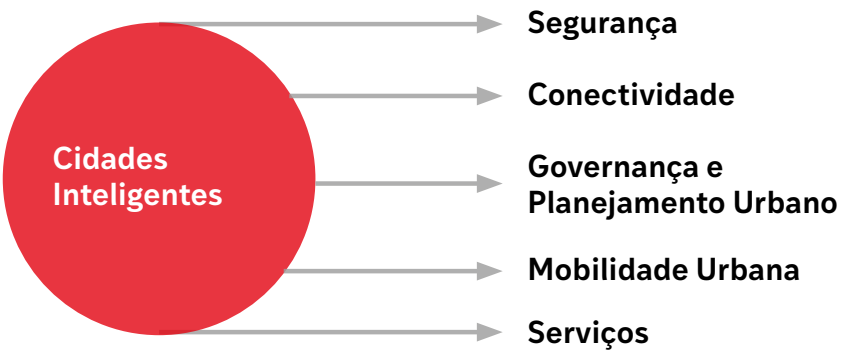
Entre os principais acordos sobre o clima estão o Protocolo de Kyoto[11], por propor metas de controle para os gases de efeito estufa e introduzir a possibilidade do carbono tornar-se uma moeda de troca e o Acordo de Paris [12], pelo compromisso de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de buscar esforços para limitar aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Tão importante quanto às questões climáticas é a preservação dos recursos naturais e da biodiversidade.

1.2 Os Cadernos Técnicos

Para apoiar os gestores municipais, cinco cadernos técnicos foram elaborados (Figura 1.4), tendo como foco principal cidades inteligentes, as quais possuem três qualidades[13]: a primeira é ser "instrumentada", com capacidade de capturar dados do mundo real de dispositivos pessoais, sensores e aparelhos; a segunda é ser "interconectada", capaz de transmitir os dados entre diferentes serviços da cidade; e a terceira é ser "inteligente", o que implica o uso de ferramentas analíticas para otimizar as atividades operacionais.

Embora o tema principal seja cidades inteligentes, os cadernos também abordam, ainda que de forma secundária, aspectos das cidades sustentáveis e resilientes

Figura 1.4 – Cadernos Técnicos



Fonte: Autores, 2025

Os cadernos técnicos não pretendem esgotar os temas tratados, mas apenas pontuar questões consideradas primordiais em cada tema. Espera-se que as informações neles contidas sirvam de apoio aos gestores municipais no processo de tornar suas cidades mais inteligentes.

1.3 O Caderno Técnico Conectividade

Nas cidades inteligentes, a conectividade desempenha um papel fundamental como elemento habilitador da integração entre sistemas, plataformas e serviços urbanos. Mais do que uma infraestrutura técnica, a conectividade representa o tecido invisível que interliga dados, dispositivos e pessoas em tempo real, permitindo que os diversos componentes urbanos operem de forma coordenada, dinâmica e eficiente.

Essa capacidade de interconexão é o que torna possível a existência de soluções tecnológicas avançadas — como sensores conectados à internet, semáforos inteligentes, plataformas de gestão urbana e serviços digitais personalizados — que dependem da troca constante de informações entre múltiplos pontos da cidade.

A conectividade urbana vai além do acesso à internet pela população. Ela envolve a disponibilidade de redes robustas, resilientes e seguras que suportam desde aplicações críticas (como saúde e segurança pública), até sistemas de mobilidade, energia, saneamento e monitoramento ambiental.

Fatores como largura de banda, latência, densidade de conexão e cobertura geográfica tornam-se estratégicos para o sucesso de políticas públicas voltadas à transformação digital e à inovação urbana.

A evolução tecnológica recente, como a chegada do 5G e o avanço das redes, amplia consideravelmente as possibilidades de conectividade, inclusive em regiões com infraestrutura limitada. Isso abre caminhos para que municípios de diferentes portes e características possam implementar soluções digitais de forma escalável e com maior retorno social.

Além disso, a conectividade é um componente transversal nos projetos de cidades inteligentes. Ela está presente desde o planejamento urbano digital até os mecanismos de segurança cibernética e proteção de dados. Por isso, entender os fundamentos e aplicações da conectividade é essencial para gestores públicos, planejadores, engenheiros e todos os atores envolvidos na construção de cidades mais inteligentes, humanas e sustentáveis.

O Caderno Técnico Conectividade aborda os seguintes temas.

- Cidades inteligentes: mercado e infraestrutura (capítulo 2): apresenta um breve panorama do mercado e infraestrutura de cidades inteligentes. Também de forma breve apresenta os fatores que impulsionam este mercado, assim como os desafios e oportunidades nesse mercado.
- Tecnologias de comunicação para cidades inteligentes (Capítulo 3): detalha as tecnologias fundamentais para a conectividade em ambientes urbanos. São discutidas suas características técnicas, aplicações práticas e exemplos de uso em cidades ao redor do mundo.
- Interoperabilidade para cidades inteligentes (Capítulo 4): explora a importância da integração entre sistemas, softwares, plataformas e dispositivos. Apresenta diretrizes para evitar soluções fragmentadas, discute padrões abertos e destaca a necessidade de arquiteturas escaláveis e ambientes de teste controlados para promover a convivência tecnológica.
- Expansão da cobertura de redes móveis e de conectividade (Capítulo 5): examina a legislação brasileira sobre infraestrutura de telecomunicações, com foco na “Lei das Antenas”, e discute os entraves e soluções para a expansão de redes móveis (especialmente o 5G). Aborda também o papel das prefeituras na harmonização das normas locais com diretrizes federais e estaduais.
- Internet das coisas para monitoramento urbano (Capítulo 6): aborda o papel dos sensores e da Internet das Coisas na coleta de dados em tempo real sobre mobilidade, segurança, meio ambiente, saúde e outros temas urbanos. Detalha os principais tipos de sensores e suas aplicações, organizadas por setor e por tipo de variável monitorada.
- Segurança de dados e privacidade (Capítulo 7): discute os desafios associados à proteção de dados nas cidades inteligentes. São apresentados marcos legais, estratégias de segurança cibernética, testes de conformidade, e a importância da resiliência digital para a infraestrutura urbana.
- Conectividade como meio (Capítulo 8): este capítulo reforça que a conectividade deve ser entendida como um meio estruturante e transversal para a construção de cidades inteligentes.

Além dos capítulos mencionados o Caderno Técnico Conectividade traz três Anexos, que complementam as informações trazidas nos capítulos:

- Anexo A – Documentos legais e normas técnicas
- Anexo B – Inteligência artificial: conceitos e desafios
- Anexo C – Indicadores: cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis

Referências Bibliográficas

1. IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8. Acesso em: 10 mar. 2025.

2. SIQUEIRA, B.; BRITTO, V. **Censo 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8. Acesso em: 10 mar. 2025

3. UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024**: Summary of Results. New York: United Nations, 2024. (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9).

4. NAÇÕES UNIDAS. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701. Acesso em: 11 fev. 2025.

5. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Carta Brasileira Cidades Inteligentes**. Disponível em: https://cartacidadesinteligentes.org.br/files/carta_brasileira_cidades_inteligentes.pdf. Acesso em: 03 mar. 2025.

6. ABNT. **NBR ISO 37122:2020**. Versão corrigida 2021. Cidades e comunidades sustentáveis.Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 01 mar. 2025.

7. ABNT. **NBR ISO 37123:2021**: Cidades e comunidades sustentáveis.Indicadores para cidades resilientes. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 04 mar. 2025.

8. ABNT. **NBR ISO 37101:2017**. Versão corrigida 2021. Errata 1:2024: Desenvolvimento sustentável de comunidades - Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

9. UNITED NATIONS. **Our Common Future**. Report of the World Commission on Environment and Development, From One Earth to One World. New York: United Nations, 1987. Disponível em: http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm. Acesso em: 05 mar. 2025.

10. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 05 mar. 2025.

11. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html. Acesso em: 05 mar. 2025.

12. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html. Acesso em: 05 mar. 2025.

13. HARRISON, C.; ECKMAN, B.; HAMILTON, R;, HARTSWICK, P.; KALAGNANAM, J.; PARASZCZAK, J.; WILLIAMS, P. Foundations for smarter cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 1-16, July/Aug. 2010. https://doi.org/10.1147/JRD.2010.20

2 Cidades Inteligentes: Mercado e Infraestrutura

O mercado de cidades inteligentes vem se consolidando globalmente como uma das áreas mais promissoras da transformação digital urbana, impulsionado por demandas crescentes de conectividade e governança eficiente. O conceito de cidade inteligente vai além da adoção de tecnologias: trata-se de reorganizar a infraestrutura urbana para promover bem-estar, eficiência e desenvolvimento sustentável.

A infraestrutura em uma cidade inteligente não se limita a obras físicas. Ela incorpora uma base tecnológica e interconectada que permite o funcionamento dos sistemas urbanos de maneira integrada, segura e eficiente. Deste modo é essencial uma infraestrutura de conectividade formada por redes, antenas, sensores e outros sistemas, que juntamente com outras infraestruturas, como a de dados e de energia, entre outras, levam a soluções que transformam a vida urbana.

O mercado de Cidades Inteligentes faz parte do mercado global de *hardware*, armazenamento e periféricos de Tecnologia da Informação (TI). Este inclui fabricantes de telefones celulares, computadores pessoais, servidores, componentes eletrônicos, periféricos e outros insumos especializados[1].

A Tabela 2.1 mostra um modo de classificação do mercado para elementos relacionados à conectividade.

Tabela 2.1. – Classificação no mercado

Classe	Exemplo
Hardware de Tecnologia da Informação (TI)	Servidores de aplicação
	Infraestrutura de armazenamento
	Hardware dispositivo de segurança
Dispositivos	Dispositivos móveis
	Dispositivos de computação para cliente final
	Dispositivos vestíveis
Periféricos	Dispositivos de impressão
	Outros periféricos de computação
Componentes eletrônicos	Placas-mãe
	Placas de áudio e gráficas
	Cabos de dados e conectores

Fonte: Autor, 2025

Muitos são os fatores que impulsionam o mercado de cidades inteligentes, entre eles destacam-se:

- Urbanização acelerada: necessidade urgente de soluções tecnológicas para tornar a vida urbana mais sustentável, eficiente e humana;
- Avanço das tecnologias de conectividade: necessidade de infraestrutura digital que transforma dados em decisões inteligentes;
- Inovação tecnológica e transformação digital: necessidade de tecnologia acessível, escalável e voltada à resolução de problemas reais;
- Iniciativas governamentais e regulamentações: políticas públicas que estruturam o mercado e estimulam investimentos;
- Busca por governança transparente e participativa: fortalecimento da cidadania digital e da confiança nas instituições;
- Envelhecimento populacional e inclusão social: necessidade da construção de cidades inclusivas, resilientes e para todas as idades.

Acrescenta-se aos fatores citados[1]:

- O aumento dos 4Vs (volume, velocidade, veracidade, variedade) de dados que descrevem as características da informação, sendo que a demanda por soluções de armazenamento é impulsionada pelo crescimento no volume, velocidade, veracidade e variedade de dados, gerados principalmente por dispositivos de internet das coisas (IoT), aplicativos móveis e digitalização;
- Crescente uso de dispositivos móveis: resultado da popularidade de serviços como VoIP (*Voice over Internet Protocol* - Voz sobre Protocolo de Internet), que permite fazer chamadas de voz pela Internet, em vez de linhas telefônicas tradicionais, mídias sociais e plataformas OTT (*Over-The–Top*), serviço que entrega conteúdo digital, como vídeo e áudio, diretamente da internet. Isto aumentou a demanda por smartphones, notebooks e tablets.

O mercado de cidades inteligentes avança tanto por necessidade como por oportunidade. Cada um desses fatores amplia a urgência por transformar os espaços urbanos em **ambientes mais eficientes, sustentáveis e centrados nas pessoas.**

2.1 Desafios do Mercado de Cidades Inteligentes

Apesar do enorme potencial, as cidades inteligentes enfrentam muitos desafios. Entre eles:

- **Alto custo de implantação:** criar a infraestrutura necessária para uma cidade inteligente — com sensores, redes de comunicação, plataformas de dados e sistemas integrados — exige **investimentos iniciais geralmente elevados;**
- **Falta de interoperabilidade entre sistemas:** a cidade pode adotar plataformas diferentes que não se comunicam entre si;
- **Privacidade e segurança dados:** cidades inteligentes geram e armazenam grandes volumes de dados sobre o comportamento das pessoas, o tráfego, o uso de energia, saúde pública, entre outros. Isso exige **responsabilidade e segurança na gestão desses dados,** evitando vazamentos, uso indevido ou vigilância excessiva;
- **Desigualdade no acesso à conectividade:** mesmo com avanços tecnológicos, muitas áreas urbanas — especialmente periferias e regiões mais pobres **— não têm acesso à internet de qualidade** ou infraestrutura digital básica, o que amplia desigualdades sociais e digitais;
- **Capacidade técnica e resistência cultural:** para que a cidade inteligente funcione, é necessário que **gestores públicos, servidores e a população compreendam as novas tecnologias.** Muitas vezes, há resistência à mudança ou falta de preparo técnico para implementar e operar sistemas inovadores;

- **Governança urbana fragmentada:** a falta de planejamento integrado e coordenação entre diferentes esferas do governo (municipal, estadual, federal) podem gerar **iniciativas desconectadas e ineficazes**. O desafio está em garantir **visão estratégica e coordenação transversal;**
- **Evolução tecnológica constante:** o mercado de cidades inteligentes é altamente dinâmico, com **novas soluções surgindo a todo o momento**. Isso pode tornar tecnologias recentes obsoletas rapidamente, exigindo atualização constante — o que gera novos custos e desafios de integração.

A Cartilha de Cidades do BNDES[2] e o estudo realizado por Bouskela do BID[3] apresentam diretrizes para transformar municípios em Cidades Inteligentes, destacando os pontos essenciais, tais como os indicados a seguir:

- **Liderança e vontade política:** o prefeito deve liderar uma agenda clara e transparente, alinhada com secretários e lideranças municipais;
- **Formação de uma equipe multidisciplinar:** profissionais capacitados devem integrar diferentes áreas do conhecimento para planejar e implementar soluções tecnológicas;
- **Engajamento do cidadão:** mecanismos inclusivos, como audiências públicas e plataformas digitais, devem ser usados para envolver os cidadãos nas decisões;
- **Diagnóstico e identificação de problemas críticos:** ferramentas modernas e participação popular ajudam a mapear desafios e priorizar investimentos.

O mercado de cidades inteligentes é promissor, mas exige **mais do que tecnologia para funcionar.** Os maiores desafios estão na articulação entre planejamento urbano, inclusão digital, políticas públicas consistentes e participação cidadã.

2.2 Oportunidades do Mercado de Cidades Inteligentes

Cidades inteligentes abrem uma ampla gama de oportunidades econômicas, sociais e ambienta**is** para governos, empresas, *startups* e cidadãos. Entre elas podem ser citadas:

- **Inovação e empreendedorismo urbano:** o mercado de cidades inteligentes impulsiona o **nascimento de novas soluções tecnológicas**, criando oportunidades para *startups* urbanas, empresas de tecnologia e centros de pesquisa;
- **Atração de investimentos públicos:** expansão de um mercado global com foco em áreas como transporte inteligente, energia limpa, redes elétricas inteligentes, infraestrutura digital, conectividade e gestão de recursos e resíduos;
- **Promoção do bem-estar de quem vive na cidade:** melhoria da qualidade de vida dos cidadãos por meio de redução do tempo de deslocamento com mobilidade conectada, melhoria na segurança com vídeo monitoramento inteligente, diminuição de energia com iluminação pública eficiente, otimização no atendimento em saúde, em educação e em serviços sociais;
- **Alinhamento da cidade às metas de sustentabilidade, como as da Agenda 2030[4]:** sensores ambientais, gestão hídrica automatizada e monitoramento de poluição em cidades inteligentes contribuem para redução das emissões de gases de efeito estufa, para a prevenção de enchentes e desastres naturais e para um planejamento urbano mais verde e resiliente;
- **Fortalecimento da governança urbana:** o uso de dados em tempo real, inteligência artificial e análise preditiva permite respostas rápidas a emergências, planejamento urbano baseado em evidências e maior transparência e participação social nas decisões públicas. Isto traz mais eficiência no gerenciamento e mais confiança da população;
- **Redução da desigualdade e democratização pelo acesso às tecnologias digitais:** programas de Wi-Fi público, educação digital e plataformas acessíveis promovem a inclusão de comunidades historicamente desconectadas.

O mercado de cidades inteligentes oferece múltiplas oportunidades para gerar valor econômico e impacto social positivo. À medida que as cidades crescem e enfrentam desafios complexos, o uso estratégico da tecnologia urbana se torna não apenas desejável, mas essencial.

Referências Bibliográficas

1. TECHNAVIO. **Global Smart City Market 2025-2029**. Elmhurst: Technavio, 2024. Acesso em: 19 fev. 2025. 220 p. (EMIS, acesso restrito).

2. BNDES. **Cartilha de Cidades.** Rio de Janeiro: BNDES, 2018. 64 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf. Acesso em: 26 fev. 2025.

3. BOUSKELA, Maurício; CASSEB, Márcia; BASSI, Silvia; DE LUCA, Cristina; FACCHINA, Marcelo. **Caminho para as Smart Cities:** da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente. [*S. l.*]: BID, 2016. 148 p. Disponível em: https://publications.iadb.org/en/publications/portuguese/viewer/Caminho-para-as-smart-cities-Da-gest%C3%A3o-tradicional-para-a-cidade-inteligente.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.http://dx.doi.org/10.18235/0012831.

4. BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. **Transformando Nosso Mundo:** a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Presidência da República, 2020. 49 p. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

3 Tecnologias de Comunicação para Cidades Inteligentes

As tecnologias de comunicação para cidades inteligentes são fundamentais para transformar as áreas urbanas em espaços mais eficientes e integrados. Elas desempenham um papel crucial na coleta e transmissão de dados em tempo real, permitindo que as cidades sejam mais responsivas às necessidades da população e aos desafios urbanos.

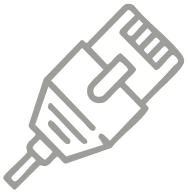
A conectividade desempenha um papel central nas cidades inteligentes, pois é a base que permite a integração, a comunicação e a operação de diversos sistemas urbanos em tempo real. A conectividade é fundamental para conectar dispositivos, sensores, infraestrutura, sistemas e cidadãos, criando uma rede de dados que torna possível a gestão eficiente da cidade.

A conectividade é a espinha dorsal das cidades inteligentes, pois sem ela, seria impossível integrar e aperfeiçoar os sistemas urbanos. Ela permite uma cidade mais eficiente, sustentável, segura e acessível, melhorando a qualidade de vida dos seus habitantes e preparando as cidades para os desafios do futuro.

As tecnologias de conectividade desempenham papel fundamental no desenvolvimento de Cidades Inteligentes, permitindo a comunicação entre dispositivos, sensores, sistemas e plataformas.

3.1 Principais Tecnologias de Conectividade com Fio

A seguir estão listadas algumas das tecnologias de conectividade cabeadas utilizadas em Cidades Inteligentes.



Ethernet

A Ethernet é a tecnologia padrão mais utilizada para redes locais (LAN – *Local Area Network*) com cabeamento físico. Ela permite a comunicação de dados entre computadores, servidores, impressoras e outros dispositivos dentro de um ambiente corporativo, residencial ou industrial.

Desenvolvida inicialmente na década de 1970, a Ethernet evoluiu significativamente em velocidade, confiabilidade e capacidade. É baseada no conceito de transmissão de dados em pacotes, utilizando protocolos de comunicação padronizados, como o IEEE 802.3, que é um padrão que define as especificações para redes Ethernet, um método de comunicação física baseada em pacotes em redes locais, e é mantido pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE). Este padrão abrange diversas tecnologias, como Ethernet, Fast Ethernet e Gigabit Ethernet, e especifica tanto o controle de acesso ao meio como a camada física.

As principais características dessa tecnologia são:

- Alta estabilidade, com baixa latência e interferência praticamente nula, quando comparada às conexões sem fio;
- Velocidades variadas, entre 10 Mbps e até 100 Gbps ou mais, dependendo da infraestrutura;
- Baixo custo e fácil implementação, especialmente com cabeamento de cobre.

As principais aplicações que utilizam Ethernet são:

- Redes corporativas, data centers, ambientes industriais e residenciais;
- *Backbone* de comunicação para outros sistemas, como Wi-Fi, VoIP e sistemas de automação.

Fibra Óptica

A fibra óptica é uma tecnologia de transmissão de dados que utiliza pulsos de luz para transportar informações através de cabos compostos por filamentos de vidro ou plásticos extremamente finos. É considerada uma das principais tecnologias de conectividade com fio, especialmente quando há necessidade de altas velocidades, longas distâncias e máxima confiabilidade.

Diferente dos cabos de cobre, que transmitem sinais elétricos, a fibra óptica utiliza luz, o que garante taxas de transmissão muito mais rápidas e com praticamente nenhuma interferência eletromagnética.

As principais características dessa tecnologia são:

- Altíssimas velocidades, podendo alcançar mais que 100 Gbps;
- Grande alcance, podendo transmitir dados a dezenas ou até centenas de quilômetros, dependendo do tipo de fibra (monomodo ou multimodo) e dos equipamentos ópticos;
- Baixa atenuação e alta confiabilidade, especialmente em longas distâncias;
- Cabos leves, finos e imunes a corrosões.

As principais aplicações que utilizam fibras ópticas são:

- Redes domésticas de alto desempenho, como FTTH (*Fiber To The Home*);
- Conexões de longa distância, interligação de data centers e ambientes industriais de alta criticidade;
- *Backbones* de internet, redes de operadoras, redes metropolitanas e redes corporativas;

Power Line Communication (PLC)

A PLC (*Power Line Communication*) é uma tecnologia que permite transmitir dados através da própria infraestrutura de rede elétrica. Ela transforma os cabos de energia em canais de comunicação, evitando a necessidade de um cabeamento adicional.

Muito utilizada em projetos de *Smart Cities*, a PLC é ideal para aplicações onde já existe uma ampla rede elétrica disponível, como iluminação pública, medidores inteligentes e automação de infraestrutura urbana. Ela representa uma solução prática e econômica para conectar dispositivos distribuídos pela cidade.

As principais características dessa tecnologia são:

- Uso da rede elétrica como meio de transmissão, eliminando a necessidade de instalação de cabos específicos para dados;
- Transmissão de dados em curtas e médias distâncias, dependendo da qualidade da rede elétrica e do nível de ruído presente;
- Suporte a taxas de dados variadas, podendo ir de alguns kbps (kilobits por segundo) em aplicações de controle até algumas centenas de Mbps (megabits por segundo) nas versões mais modernas;

- Sujeita a ruídos elétricos, interferências e atenuação, dependendo da qualidade da fiação e do ambiente.

As principais aplicações que utilizam PLC são:

- Iluminação pública inteligente: controle remoto de luminárias, ajuste de intensidade, detecção de falhas e manutenção preditiva.
- Medição inteligente de energia: leitura remota de medidores de energia elétrica, água e gás.
- Controle de infraestrutura urbana: sistemas de semáforos, sensores ambientais, estações de bombeamento e monitoramento remoto.
- Automação residencial e predial: comunicação entre dispositivos dentro de edifícios, especialmente em *retrofit*, onde passar novos cabos é inviável.

3.2 Principais Tecnologias de Conectividade Sem Fio

A seguir estão listadas as principais tecnologias de conectividade utilizadas em Cidades Inteligentes.

LoRaWAN

O LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) é uma especificação de rede de baixa potência e ampla área (*Low Power, Wide Area* - LPWA) projetada para conectar "coisas", alimentadas prioritariamente por bateria, sem fio à Internet em redes regionais, nacionais ou globais, e busca atender aos principais requisitos da Internet das Coisas (IoT-*Internet of Things*), como, baixo consumo de energia, comunicação bidirecional, segurança de ponta a ponta, mobilidade e serviços de localização[1].

As principais características dessa tecnologia são:

- Baixo consumo de energia (as baterias podem durar até 10 anos);
- Longo alcance (até 15 km em áreas rurais e até 5 km em áreas urbanas);
- Largura de banda limitada, adequada para transmissão de pequenos pacotes de dados;
- Baseada em padrões abertos.

As principais aplicações que utilizam LoraWAN são:

- Monitoramento ambiental (qualidade do ar, nível de ruído, entre outros);
- Gestão de resíduos (sensores de lixeiras inteligentes);
- Medidores inteligentes de água, gás e eletricidade;
- Agricultura urbana e controle de irrigação.

A tecnologia LoraWAN é utilizada pela cidade de Cleveland, Ohio nos Estados Unidos para monitoração dos recursos hídricos da região. Inicialmente foram instalados transmissores de dados em boias especializadas que monitoram as condições da água em alto-mar próximo às suas unidades de captações de água[2].

NB-IoT

A NB-IoT (*Narrowband Internet of Things* – Internet das Coisas de Banda Estreita) é uma tecnologia celular especializada na comunicação entre "coisas" que requerem pequenas quantidades de dados, por longos períodos, em locais de difícil acesso [3,4]. As principais características dessa tecnologia são:

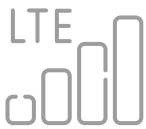
- Tecnologia celular projetada para IoT;
- Baixo consumo de energia;
- Cobertura ampla, incluindo áreas internas e subterrâneas;

- Largura de banda reduzida, mas suficiente para transmissões simples.

As principais aplicações que utilizam NB-IoT são:

- Sensores de estacionamento inteligente;
- Monitoramento de infraestruturas críticas (como pontes e viadutos);
- Controle de iluminação pública;
- Rastreamento de ativos em logística urbana.

A tecnologia NB-IoT foi implantada na cidade de Moscou, na Rússia, para oferecer soluções para todos os cidadãos, incluindo interfone e fechadura eletrônica, coleta seletiva inteligente de lixo e medidores digitais de água e energia. Um bairro inteiro foi digitalizado, habitado por oito mil pessoas, que possuem acesso a 29 tecnologias diferentes[5].



LTE-M

LTE-M (*Long-Term Evolution Machine*) ou LTE-MTC (*Long-Term Evolution Machine Type Communication*) é um tipo de padrão de tecnologia de comunicação de rádio de rede de longa distância de baixa potência desenvolvido pelo 3GPP para aplicações Máquina a Máquina (M2M) e IoT [6].

As principais características dessa tecnologia são:

- Versão otimizada de redes LTE para IoT;
- Maior largura de banda em comparação ao NB-IoT;
- Suporte a mobilidade (dados podem ser transmitidos enquanto o dispositivo está em movimento);
- Baixo consumo de energia.

As principais aplicações que utilizam LTE-M são:

- Veículos conectados (transporte público inteligente);
- *Wearables* e dispositivos médicos móveis;
- Sistemas de segurança pública com vídeo em tempo real.

5G

O 5G é a quinta geração da tecnologia de rede celular, como sucessora da quarta geração (4G). Em comparação com o 4G, as redes 5G oferecem não apenas velocidades de download mais altas, com uma velocidade de pico de 10 gigabits por segundo, mas também latência significativamente menor, permitindo comunicação quase instantânea por meio de estações base e antenas de celular [7].

As principais características dessa tecnologia são:

- Alta velocidade de transmissão de dados (até 10 Gbps);
- Latência extremamente baixa (inferior a 1 ms);
- Capacidade de conectar milhões de dispositivos por quilômetro quadrado;
- Alto consumo de energia, mas com opções de otimização para IoT.

As principais aplicações que utilizam 5G são:

- Videomonitoramento em alta definição;
- Veículos autônomos e tráfego inteligente;
- Realidade aumentada/virtual para turismo e educação;
- Controle remoto de infraestruturas críticas (como redes elétricas);

Wi-Fi

Wi-Fi (incluindo *Wi-Fi* 6 e *Wi-Fi HaLow*) é uma família de protocolos de rede sem fio baseados na família de padrões IEEE 802.11, desenvolvidos pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), comumente usados para redes locais de dispositivos e acesso à Internet, permitindo que dispositivos digitais próximos troquem dados por ondas de rádio. Essas são as redes de computadores mais usadas, usadas globalmente em redes domésticas e de pequenos escritórios para conectar dispositivos e fornecer acesso à Internet com roteadores sem fio e pontos de acesso sem fio em locais públicos, como cafés, restaurantes, hotéis, bibliotecas e aeroportos [8].

As principais características dessa tecnologia são:

- Alta largura de banda e velocidade;
- Curta distância de cobertura (Wi-Fi tradicional) ou maior alcance (Wi-Fi HaLow);
- Consumo de energia moderado.

A principais aplicações que utilizam WI-FI são:

- Hotspots públicos para acesso à internet;
- Conectividade em edifícios inteligentes;
- Integração de dispositivos domésticos (smart homes);
- Aplicações que exigem transferência rápida de grandes volumes de dados.

A cidade de Nova York nos Estados Unidos, ampliou consideravelmente o uso da tecnologia IoT nos últimos dez anos, em uma ampla gama de agências e projetos. A cidade usou a IoT para monitorar a qualidade do ar, temperatura e outros dados meteorológicos, analisar padrões de tráfego e contar ciclistas, rastrear veículos de propriedade da cidade, avaliar o uso de energia e manter a rede de água, entre outros exemplos. As tecnologias de conectividade usadas incluem Wi-Fi, LoraWAN e *Bluetooth Low Energy* (BLE)[9].

Zigbee

Zigbee é uma especificação baseada no padrão IEEE 802.15.4[10] desenvolvido pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) para um conjunto de protocolos de comunicação de alto nível usados para criar redes pessoais com rádios digitais pequenos e de baixa potência, como automação residencial, coleta de dados de dispositivos médicos e outras necessidades de baixa potência e baixa largura de banda, projetadas para projetos de pequena escala que precisam de conexão sem fio. Portanto, o Zigbee é uma rede ad hoc sem fio de baixa potência, baixa taxa de dados e proximidade (ou seja, área pessoal)[11].

As principais características dessa tecnologia são:

- Baixo consumo de energia;
- Curta distância de cobertura (até 100 metros);
- Rede *mesh*, permitindo a conexão de múltiplos dispositivos em uma rede colaborativa.

As principais aplicações que utilizam Zigbee são:

- Automação predial e residencial;
- Iluminação inteligente;
- Controle de temperatura e climatização.

Sigfox

A tecnologia Sigfox é um protocolo de rede global de área ampla de baixa potência (LPWA) criado em 2010. Essa rede sem fio foi projetada para conectar objetos de baixa potência, como medidores de eletricidade, de forma segura, a baixo custo, emitindo pequenas quantidades de dados[12].

As principais características dessa tecnologia são:

- Baixo consumo de energia;
- Longo alcance (semelhante ao LoRaWAN);
- Muito baixa largura de banda, adequada para transmissões simples;
- Modelo proprietário, mas amplamente utilizado em algumas regiões.

As principais aplicações que utilizam Sigfox são:

- Monitoramento de ativos;
- Segurança urbana (sensores de alarme);
- Controle de fluxos de água e esgoto.

A cidade de Marselha na França escolheu a tecnologia Sigfox para conectar 5.000 ralos (pontos de entrada na rede fluvial) na rede de esgoto municipal. A solução realiza o monitoramento contínuo de bueiros de águas pluviais em redes de esgoto. O aplicativo detecta os níveis de resíduos e, portanto, pode "descarbonizar" a operação e a limpeza de bueiros, já que não é mais necessário se deslocar para verificar se estão cheios[13].

Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (*Bluetooth* LE, coloquialmente BLE) é uma tecnologia de rede de área pessoal sem fio projetada e comercializada pelo *Bluetooth Special Interest Group* (Bluetooth SIG) voltada para novas aplicações nas indústrias de saúde, *fitness*, *beacons* (pequenos dispositivos que emitem sinais BLE), segurança e entretenimento doméstico. Comparado ao *Bluetooth* clássico, o *Bluetooth Low Energy* destina-se a fornecer consumo de energia e custo consideravelmente reduzidos, mantendo um alcance de comunicação semelhante. É independente do *Bluetooth* clássico e não tem compatibilidade, permitindo a coexistência com *Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate* (BR/EDR)[14].

As principais características dessa tecnologia são:

- Baixo consumo de energia;
- Curta distância de cobertura (até 100 metros);
- Ideal para comunicação ponto a ponto ou em redes locais.

As principais aplicações que utilizam Bluetooth Low Energy são:

- *Beacons* para navegação *indoor* (como shopping centers, aeroportos);
- Dispositivos vestíveis e de saúde;
- Pagamentos sem contato.

Como já mencionado, a cidade de Nova York nos Estados Unidos, ampliou consideravelmente o uso da tecnologia IoT nos últimos dez anos, em uma ampla gama de agências e projetos. A cidade usou a IoT para monitorar a qualidade do ar, temperatura e outros dados meteorológicos, analisar padrões de tráfego e contar ciclistas, rastrear veículos de propriedade da cidade, avaliar o uso de energia e manter a rede de água, entre outros exemplos. As tecnologias de conectividade usadas incluem *Wi-Fi*, LoraWAN e BLE[9].

RFID (Radio Frequency Identification)

A identificação por radiofrequência (*Radio Frequency Identification* - RFID) usa campos eletromagnéticos para identificar e rastrear automaticamente as etiquetas anexadas a objetos. Um sistema RFID consiste em um minúsculo transponder (receptor + transmissor) de rádio chamado tag ou etiqueta RFID. Quando acionada por um pulso de interrogação eletromagnética de um dispositivo leitor RFID próximo, a etiqueta transmite dados digitais, geralmente um número de inventário de identificação, de volta ao leitor. Esse número pode ser usado para rastrear mercadorias de estoque[15].

As principais características dessa tecnologia são:

- Comunicação sem fio de curta distância;
- Baixo custo e consumo de energia;
- Utiliza etiquetas passivas ou ativas para identificação.

As principais aplicações que utilizam RFID são:

- Gestão de transporte público (bilhetagem eletrônica);
- Controle de acesso em edifícios e eventos;
- Logística e rastreamento de mercadorias.

O município de São Paulo foi pioneiro no Brasil ao utilizar a tecnologia RFID no pagamento do sistema público de transporte, denominado Bilhete Único. É a mesma tecnologia adotada pelo sistema eletrônico de pagamento de pedágios. O sistema foi implantado em 2004 e está em operação a mais de 20 anos na cidade[16].

Referências Bibliográficas

1. LORA ALLIANCE. **About LoraWAN**. Fremont, CA: Lora Alliance, 2025. Disponível em: https://lora-alliance.org/about-lorawan/. Acesso em: 3 abr. 2025.

2. BUSINESS WIRE. **LimnoTech Selects Senet's Radio Access Network (RAN) Platform to Deploy LoRaWAN® Network Across Great Lakes Region**. San Francisco, CA: Business Wire, 2022. Disponível em: https://www.businesswire.com/news/home/20221101005624/en/LimnoTech-Selects-Senets-Radio-Access-Network-RAN-Platform-to-Deploy-LoRaWAN-Network-Across-Great-Lakes-Region. Acesso em: 16 abr. 2025.

3. U-BLOX. **Narrowband IoT (NB-IoT)**. Thalwil, Switzerland: U-Blox, 2024. Disponível em: https://www.u-blox.com/en/technologies/narrowband-iot-nb-iot. Acesso em: 03 abr. 2025.

4. AGOSTO-PADILLA, William; RAMESH KARN; Wijesinha, Alexander. Insights into Transforming a Linux Wireless Device Driver to Run on a Bare Machine. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION OF NOVEL APPROACHES TO SOFTWARE ENGINEERING, 10., 2025. Barcelona, Spain. **Proceedings [...].** Setubal, Portugal: Science and and Technology Publications, 2015. p. 295–300. Disponível em: https://doi.org/10.5220/0005470002950300. Acesso em: 16 abr. 2025.

5. TELE SINTESE. Em Moscou, 8 mil pessoas vão testar tecnologias de cidade inteligente. **Tele Sintese**, 13 dez. 2018. Disponível em: https://telesintese.com.br/em-moscou-8-mil-pessoas-vao-testar-tecnologias-de-cidade-inteligente/. Acesso em: 16 abr. 2025.

6. 3GPP. The Cellular Internet of Things. **3GPP News,** 24 Oct. 2017. Disponível em: https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/c-iot. Acesso em: 4 abr. 2025.

7. QUALCOMM. **5G NR**. 2025. Disponível em: https://www.qualcomm.com/research/5g/5g-nr. Acesso em: 4 abr. 2025.

8. SPARKES, Matthew. **What does Wi-Fi stand for?** New Scientist, 2022. Disponível em: https://www.newscientist.com/question/what-does-wi-fi-stand-for/. Acesso em: 4 abr. 2025.

9. NYC CTO. **IoT Strategy:** The New York City Internet of Things Strategy. New York, USA: NYC CTO, 2021.

10. IEEE. **IEEE 802.15.4**. IEEE 802.15 WPAN Task Group 4, 2025. Disponível em: https://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html. Acesso em: 30 abr. 2025.

11. FARAHANI, Shahin. Battery life analysis. *In:* **ZigBee Wireless Networks and Transceivers.** Amsterdam: Elsevier, 2008. Cap. 6, p. 207–24.

12. SIGFOX. **What is Sigfox 0G Technology**. Disponível em: https://sigfox.com/what-is-sigfox/. Acesso em: 4 abr. 2025.

13. SIGFOX. **GreenCityZen's solution and Sigfox 0G network provide the Marseille Metropole sanitation department**. 23 Nov. 2021. Disponível em: https://sigfox.com/greencityzen-sigfox-france-connect-marseilles-storm-drains/. Acesso em: 4 abr. 2025.

14. CHALLOO, R.; OLADEINDE, A.; YILMAZER, N.; OZCELIK, S.; CHALLOO, L. An overview and assessment of wireless technologies and coexistence of ZigBee, bluetooth and wi-fi devices. **Procedia Computer Science,** v. 12, p. 386–91, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.09.091. Acesso em: 4 abr. 2025.

15. SANTOS, Alessandro Santiago dos; AVANÇO, Leandro; PEREIRA, Matheus Jacon. **Tecnologias Emergentes em IoT:** RSSF, RTLS, RFID. São Paulo: IPT, 2020.

16. RFID Brasil. Você sabia que o bilhete único utiliza a tecnologia RFID? **RFID Brasil Blog,** 30 abr. https://www.rfidbrasil.com/blog/bilhete-unico-com-rfid. Acesso em: 16 abr. 2025.

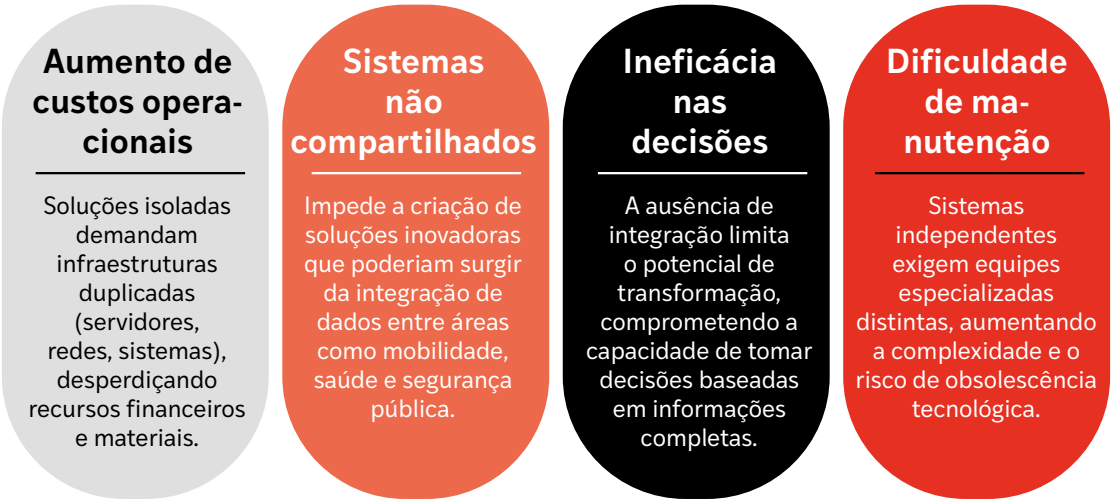
4 Interoperabilidade para Cidades Inteligentes

A interoperabilidade entre as soluções para Cidades Inteligentes desempenha um papel crucial na construção de um ecossistema urbano eficiente e sustentável. Quando diferentes sistemas e tecnologias conseguem se comunicar e trabalhar em conjunto, evita-se a criação de infraestruturas redundantes, o que reduz significativamente os custos financeiros e operacionais para o município. Sem interoperabilidade, cada projeto tende a desenvolver sua própria infraestrutura, desde redes de comunicação até plataformas de gerenciamento, resultando em duplicação de esforços, desperdício de recursos e dificuldades para integrar dados e funcionalidades.

4.1 Aspectos da Interoperalidade

a interoperabilidade é um aspecto crítico para o sucesso das iniciativas de Cidades Inteligentes, garantindo que diferentes sistemas, plataformas e tecnologias trabalhem de forma integrada, permitindo a troca de informações e colaboração sem barreiras técnicas ou operacionais[1]. A falta de interoperabilidade resulta em soluções fragmentadas, aumentando custos, reduzindo eficiência e limitando a capacidade de inovação e sustentabilidade (Figura 4.1) As formas de interoperabilidade estão ilustradas na Figura 4.2.

Figura 4.1 – Alguns efeitos da ausência de interoperabilidade



Fonte: Autores, 2025

Figura 4.2 – Formas de Interoperabilidade

Fonte: Autores, 2025

Para promover a interoperabilidade, as prefeituras devem adotar uma abordagem estratégica e integrada, definindo uma arquitetura de sistemas que priorize padrões abertos, infraestrutura compartilhada e governança centralizada. Isso reduz custos, evita desperdícios e amplia o impacto positivo das tecnologias digitais, transformando a digitalização em um ecossistema conectado e sustentável[2].

4.2 Promoção da Interoperabilidade

Para que a interoperabilidade seja alcançada em várias esferas dentro do município, é fundamental adotar práticas estratégicas que promovam a integração entre sistemas, plataformas e dispositivos.

Plano diretor de Tecnologia da Cidade Inteligente (PDTCI)

Este instrumento desempenha um papel estratégico e essencial no processo de planejamento e implementação de soluções tecnológicas em um município. Ele serve como um guia abrangente e unificado, alinhando as iniciativas de diferentes departamentos ou secretarias com os objetivos gerais da cidade. O PDTCI é fundamental para evitar que cada área da administração municipal elabore seus próprios planos de aquisição de tecnologia de forma isolada, sem considerar o impacto dessas decisões no ecossistema urbano como um todo. Ao instituir o PDTCI, o município garante que todas as ações relacionadas à transformação digital estejam alinhadas com uma visão estratégica centralizada, promovendo a interoperabilidade entre sistemas, otimizando investimentos e maximizando os benefícios para a população.

O PDTCI também estabelece diretrizes claras sobre padrões tecnológicos, segurança da informação, governança de dados e sustentabilidade, garantindo que as soluções adotadas sejam escaláveis, seguras

e compatíveis com as demandas futuras. Além disso, ele incentiva a colaboração entre os diferentes setores da administração pública, bem como com parceiros externos, como empresas privadas, universidades e organizações de pesquisa.

Adoção de Padrões

O gestor público deve estar atento e evitar a aquisição de soluções tecnológicas que não adotem nenhum tipo de padrão aberto ou amplamente aceito, especialmente quando essas soluções são proprietárias e desenvolvidas exclusivamente por fabricantes específicos.

A escolha de sistemas ou tecnologias proprietárias pode levar ao aprisionamento tecnológico, em que o município se torna dependente de um único fornecedor para manutenção, atualizações e expansões futuras. Essa dependência não apenas eleva os custos em longo prazo, mas também limita a flexibilidade e a capacidade de integração com outras soluções, comprometendo a interoperabilidade e a sustentabilidade do ecossistema tecnológico da cidade.

Antes de adquirir qualquer solução, deve-se conduzir um estudo detalhado para identificar e levantar os padrões tecnológicos correlatos à aplicação que se deseja implantar. Esse estudo deve considerar tanto os padrões globais já consolidados quanto as melhores práticas recomendadas para o setor em questão.

Também é fundamental pontuar e comparar as soluções disponíveis no mercado com base na aderência dessas tecnologias aos padrões identificados. Soluções que seguem padrões abertos e amplamente aceitos devem ser preferencialmente priorizadas, pois oferecem maior compatibilidade, escalabilidade e flexibilidade para integração com outros sistemas. Esse processo de avaliação criteriosa também permite que o gestor público tome decisões mais informadas e estratégicas, evitando investimentos em soluções que possam se tornar obsoletas ou incompatíveis com o crescimento da cidade.

Apoio a Ambientes De Testes

Dada a complexidade e diversidade de soluções para cidades inteligentes, é natural e altamente desejável que surjam propostas voltadas à criação de ambientes de testes.

Esses ambientes são espaços controlados, físicos ou virtuais, onde as tecnologias podem ser implementadas, validadas e ajustadas antes de sua aplicação em larga escala no ambiente urbano real, sendo fundamentais para promover a convivência e interoperabilidade entre diferentes soluções tecnológicas.

Em um cenário onde múltiplos sistemas e dispositivos precisam coexistir e se comunicar dentro do ecossistema urbano, é essencial garantir que as soluções não apenas funcionem isoladamente, mas também se integrem de forma eficiente com outras iniciativas já existentes ou planejadas.

Ambientes de testes permitem simular essa interação, avaliando como diferentes tecnologias se comportam juntas e identificando gargalos ou incompatibilidades que podem comprometer o sucesso das implementações. Quanto mais a prefeitura apoiar esse tipo de iniciativa, maior será o estímulo às empresas fornecedoras de tecnologia para que priorizem a interoperabilidade de suas soluções.

Ao criar uma demanda clara por produtos e serviços que sigam padrões abertos, sejam compatíveis com outras tecnologias e facilitem a integração, os municípios incentivam o mercado a desenvolver soluções mais flexíveis, escaláveis e adaptáveis. Isso beneficia tanto o poder público quanto a população, pois reduz custos operacionais, evita redundâncias e maximiza o impacto positivo das tecnologias implantadas.

Participação em Plataformas de Inovação

As plataformas de inovação representam um espaço estratégico e colaborativo onde diferentes atores – como governos, empresas, universidades, *startups* e a sociedade civil – se reúnem para debater, desenvolver e implementar soluções tecnológicas que respondam a desafios concretos.

Esses organismos têm como principal objetivo fomentar o diálogo entre demandantes (como os gestores públicos) e ofertantes de tecnologia (como empresas e *startups*), criando um ambiente propício para o surgimento de soluções inovadoras e eficazes.

O foco dessas plataformas está em alavancar a inovação por meio de uma abordagem orientada a problemas reais, garantindo que as tecnologias desenvolvidas não sejam apenas avanços técnicos isolados, mas respostas práticas e impactantes às necessidades da população e do território.

No contexto de Cidades Inteligentes, a participação dos gestores públicos nessas plataformas é essencial para garantir que as soluções tecnológicas estejam alinhadas com as demandas urbanas e priorizem o bem-estar da população.

Ao participar ativamente dessas plataformas, os gestores públicos podem influenciar diretamente a agenda de inovação, incentivando os fornecedores de tecnologia a adotarem padrões abertos, protocolos universais e arquiteturas modulares que facilitem a integração entre sistemas. Essa postura proativa também ajuda a criar um mercado mais competitivo e diversificado, onde empresas sejam motivadas a desenvolver soluções interoperáveis e escaláveis, reduzindo a dependência de fornecedores únicos e promovendo maior flexibilidade para o município

Por fim, as plataformas de inovação oferecem aos gestores públicos a oportunidade de se engajar em processos colaborativos que vão além do simples fornecimento de tecnologia. Elas permitem a troca de experiências com outras cidades, o acesso a tendências globais e o aprendizado com casos de sucesso ou fracasso em diferentes contextos.

Referências Bibliográficas

1. BNDES. **Cartilha de Cidades.** Rio de Janeiro: BNDES, 2018. 64 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/db27849e-dd37-4fbd-9046-6fda14b53ad0/produto-13-cartilha-das-cidades-publicada.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7tz8bf. Acesso em: 26 fev. 2025.

2. BOUSKELA, Maurício; CASSEB, Márcia; BASSI, Silvia; DE LUCA, Cristina; FACCHINA, Marcelo. **Caminho para as Smart Cities:** da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente. [*S. l.*]: BID, 2016. 148 p. Disponível em: https://publications.iadb.org/en/publications/portuguese/viewer/Caminho-para-as-smart-cities-Da-gest%C3%A3o-tradicional-para-a-cidade-inteligente.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.http://dx.doi.org/10.18235/0012831.

5 Expansão da Cobertura de Redes Móveis e de Conectividade

A expansão da cobertura de redes móveis e de conectividade é um dos pilares para a construção de cidades mais inteligentes e inclusivas. A chegada de novas tecnologias, como o 5G, demanda não apenas investimentos em infraestrutura, mas também adequações na legislação e nos processos de licenciamento para permitir a rápida implantação de antenas e estações rádio base.

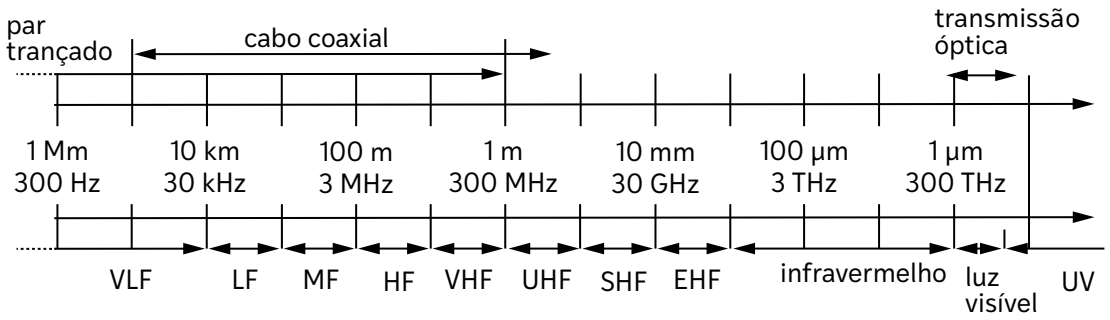
5.1 Aspectos Gerais

Radiocomunicações

As radiocomunicações podem ocorrer usando ondas eletromagnéticas em diversas faixas (ou bandas) de frequência diferentes, cada uma delas exibindo certas vantagens e desvantagens.

Figura 5.1 fornece uma visão geral aproximada do espectro de frequência que pode ser usado para transmissão de dados, começando em 300 Hz e indo até mais de 300 THz[1]. A cada frequência f corresponde um comprimento de onda λ proporcionalmente à velocidade da luz (c=300.000.000 metros por segundo) dado pela fórmula v = λ * f, onde v é a velocidade de propagação da onda em metros por segundo (v=c para ondas eletromagnéticas), f é a frequência da onda em Hertz e λ é o comprimento de onda em metros. Por exemplo, a um comprimento de onda λ = 1 m corresponde uma frequência f = 300 MHz (300.000.000 de Hertz). O comprimento de onda é importante para determinação do tamanho da antena e da capacidade da onda para o contorno de obstáculos.

Figura 5.1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Adaptado de Schiller, 2003[1].

Sinais

Os sinais são as representações dadas como parâmetros de grandezas físicas (exemplo: intensidade ou frequência de ondas eletromagnéticas) em função de tempo e localização. Usuários de um sistema de comunicação podem trocar dados por meio da transmissão de sinais analógicos (contínuos) ou digitais (bits).

As informações são enviadas utilizando um método denominado modulação que consiste em combinar um sinal de informação, normalmente em baixa frequência, a exemplo da voz humana, em sinais de alta frequência (portadora), por exemplo, a frequência de uma emissora de rádio. Dessa forma a informação pode ser transportada por meio de sinais de rádio frequência.

Outra vantagem do processo de modulação é permitir que vários sinais sejam transmitidos ao mesmo tempo sem interferência mútua. A voz de uma pessoa está aproximadamente na mesma faixa de frequência que a voz de outra pessoa. Se não se modular os sinais em diferentes ondas portadoras, esses sinais de voz seriam misturados e seriam impossíveis de distinguir na extremidade remota.

Ao modular os sinais em ondas portadoras de frequências diferentes, os sinais não interferem um no outro. Cada frequência portadora específica define um canal de comunicação. Mais um bom motivo para modular sinais em ondas portadoras de alta frequência são as restrições no tamanho da antena. O comprimento de uma antena é baseado no comprimento da onda que ela foi projetada para transmitir ou receber.

As antenas mais simples são uma fração do comprimento de onda, geralmente metade ou um quarto do comprimento de onda. Como frequências mais baixas têm comprimentos de onda maiores, as antenas projetadas para frequências baixas são maiores. Por exemplo, 60 Hz está na faixa mais baixa da audição humana e seu comprimento de onda de uma onda viajando na velocidade da luz é de 5.000 quilômetros, ou seja, a distância aproximada entre São Paulo e Porto Alegre. Portanto, uma antena dipolo de meio comprimento de onda teria aproximadamente 2.500 quilômetros de comprimento, o que não seria um comprimento viável para uma antena.

Antenas e Redes de Comunicação Móvel

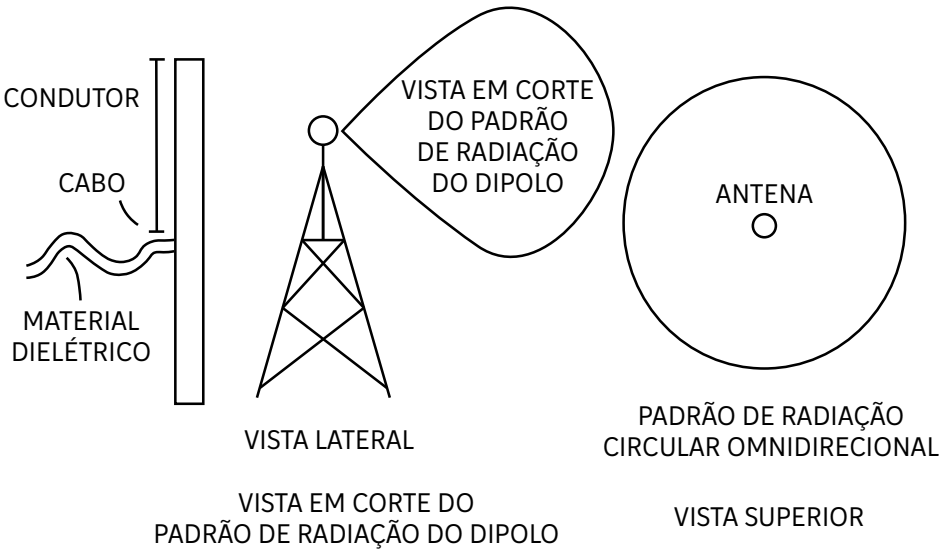
As redes de comunicação móvel são sistemas de transmissão e recepção de dados sem fio, caracterizados pela geração, no transmissor, de sinais elétricos que contendo a informação desejada e pela propagação de ondas de rádio correspondentes através do espaço e a posterior recuperação da informação no receptor através da interpretação do sinal elétrico obtido.

A transmissão e recepção através do espaço são realizadas por transdutores chamados antenas, que convertem os sinais elétricos contendo a informação em ondas eletromagnéticas na faixa de frequência de ondas de rádio e realizam o processo inverso na recepção[2].

A antena mais simples é o dipolo de meia onda, que corresponde a um par de condutores elétricos dispostos axialmente e separados por um pequeno espaço, preenchido por um material dielétrico (exemplo: ar). Esse tipo de antena é normalmente montado em torres de suporte para aumentar o seu alcance e evitar obstáculos.

A radiação eletromagnética desse tipo de antena é propagada transversalmente a seu eixo, de modo que a intensidade do campo elétrico é constante sobre uma forma tridimensional similar a um toroide (bobina de fio condutor moldada em forma de anel, que cria um campo magnético quando a corrente elétrica passa pelo fio). O corte paralelo ao eixo da antena apresenta o formato similar a uma gota, enquanto o corte transversal apresenta o formato de um círculo, demostrando que nesse plano a radiação se propaga por igual em todas as direções, conforme Figura 5.2.

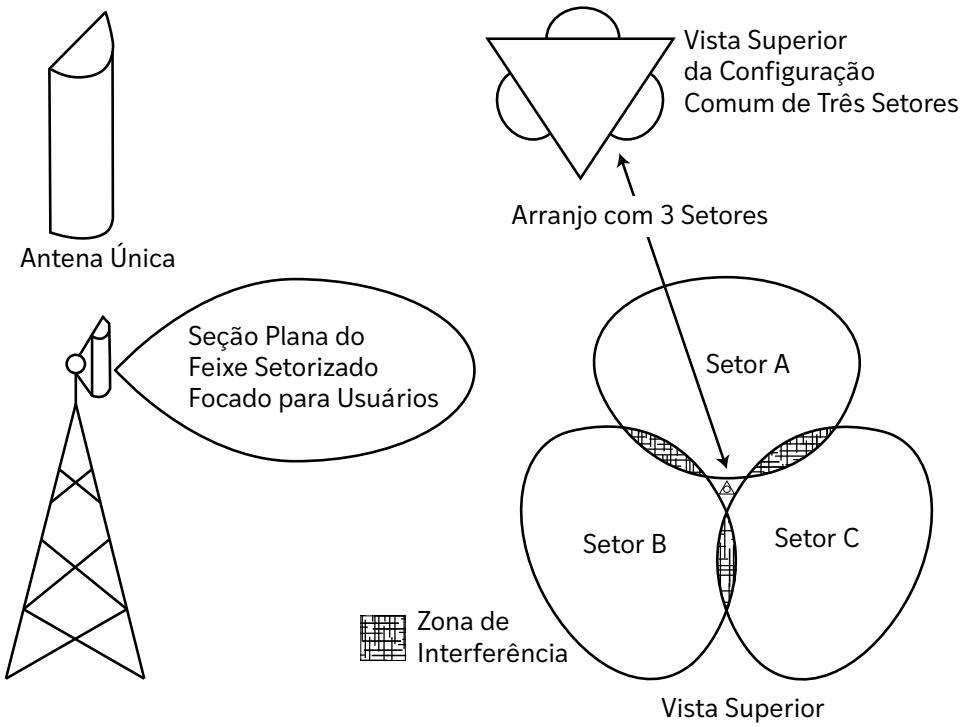
Figura 5.2 – Antena dipolo de meia onda.



Fonte: Adaptado de Wheat, 2001[2].

As antenas para celulares são em geral setorizadas, pois utilizam um conjunto de antenas no qual cada antena tem uma cobertura um pouco mais focada em uma direção, com um feixe de aproximadamente 120 graus de ângulo, mas em conjunto alcançam todas as direções, ou seja, 360 graus (Figura 5.3).

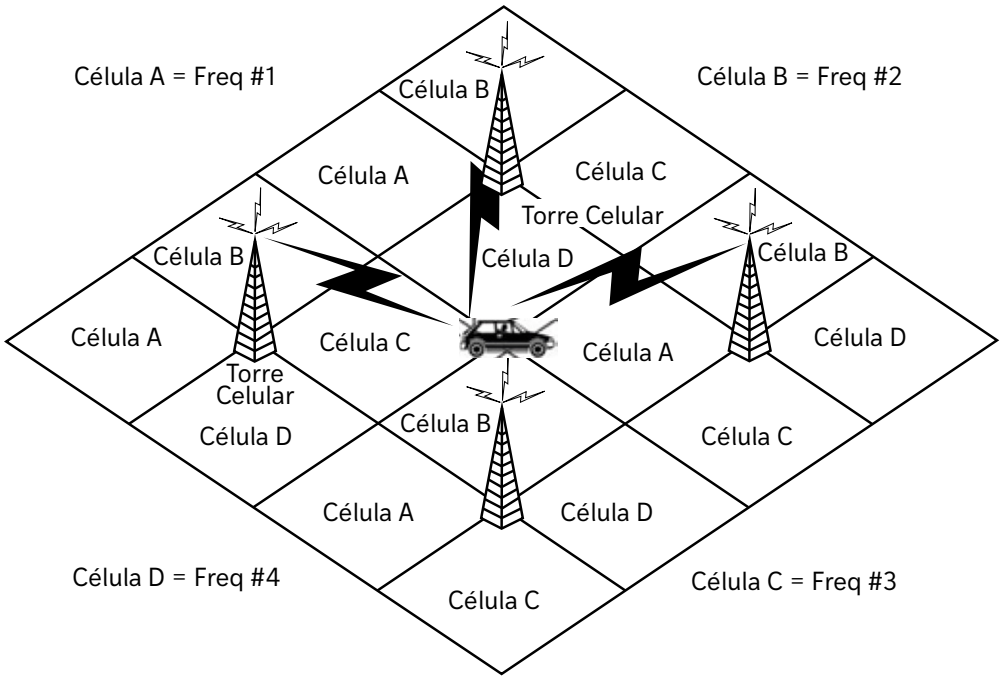
Figura 5.3 – Antena com arranjo setorizado.



Fonte: Adaptado de Wheat, 2001[2].

Antenas, em conjunto com as torres de telecomunicações com as quais se confundem, são as partes mais visíveis de um sistema de telecomunicações. Porém, precisam de uma infraestrutura para cumprir seu papel: torres de suporte e equipamentos de transmissão e recepção de ondas de rádio, além dos sistemas que codificam e decodificam os dados e fazem a modulação de demodulação dos sinais eletromagnéticos que serão propagados pelas antenas. Tais equipamentos são configurados de modo a definir as células que caracterizam o sistema de telefonia celular (Figura 5.4).

Figura 5.4 – Células que caracterizam o sistema de telefonia.



Fonte: Adaptado de Wheat, 2001[2].

As redes de comunicação móvel são a espinha dorsal das telecomunicações modernas, permitindo a comunicação em tempo real em qualquer lugar. Elas evoluíram de sistemas básicos de telefonia para redes de alta velocidade, suportando uma vasta gama de serviços, desde voz e texto até dados móveis e Internet das coisas (IoT). Com a evolução para 5G e além, as redes móveis continuarão a desempenhar um papel essencial na transformação digital e no desenvolvimento de cidades inteligentes.

Antenas e redes de comunicação móvel estão intimamente relacionadas, pois as antenas são componentes fundamentais para o funcionamento das redes móveis, permitindo a transmissão e recepção de sinais sem fio. As antenas são essenciais para garantir cobertura, capacidade, qualidade do sinal e alta velocidade de transmissão de dados. Com o avanço das tecnologias, como o 5G, as antenas se tornam ainda mais sofisticadas e especializadas, sendo fundamentais para o sucesso das redes móveis modernas e o futuro das cidades inteligentes.

5.2 Anatel - Agência Nacional de Telecomunicações

A Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações – é o órgão regulador federal responsável pela normatização e fiscalização do setor em todo o território nacional. Criada pela Lei Geral de Telecomunicações (LGT) possui competências essenciais para o funcionamento e a expansão das redes de telecomunicações.

As principais funções da Anatel incluem:

- **Regulamentação técnica:** define os padrões para o setor, incluindo as regras para a instalação de antenas e demais infraestruturas de telecomunicações;
- **Gestão do espectro de radiofrequências:** controla e organiza o uso das frequências de rádio para evitar interferências entre serviços e garantir o uso eficiente do espectro;

- **Fiscalização:** supervisiona as operadoras, verificando o cumprimento das normas técnicas e de segurança estabelecidas;
- **Mediação de conflitos:** atua na resolução de disputas entre operadoras, órgãos de governo ou cidadãos, assegurando a aplicação uniforme da regulamentação;
- **Harmonização regulatória:** busca alinhar os padrões técnicos em âmbito nacional, enquanto os municípios se concentram na regulação de aspectos locais, como urbanismo e saúde pública.

A agência publica normas que, ao longo do tempo, passaram a ser denominados atos, além das tradicionais resoluções. A seguir, destacam-se as principais regulamentações.

- **Resolução nº 700/2018**[3]

  Aprova o Regulamento sobre a Avaliação da Exposição Humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos, estabelecendo critérios para adequar as antenas aos padrões de segurança determinados pela ICNIRP e pela OMS, garantindo a proteção da saúde pública.

- **Resolução nº 700/2020**[4]

  Define as regras para a instalação de "small cells", antenas menores que facilitam a expansão das redes 4G e 5G, especialmente em áreas urbanas adensadas.

- **Resolução nº 743/2021**[5]

  Altera o Plano Geral de Autorizações do Serviço Móvel Pessoal (PGA-SMP), ajustando as condições para a prestação desse serviço em função das novas demandas tecnológicas.

- **Resolução nº 772/2021**[6]

  Aprova o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências (PDFF) no Brasil, definindo as atribuições e condições específicas de uso das faixas destinadas a serviços de telecomunicações.

- **Ato nº 2.105, de 14 de fevereiro de 2025**[7]

  Atualiza os requisitos técnicos para avaliação da conformidade de Estações Terminais de Acesso (ETA) e de telefones móveis celulares, incorporando novos parâmetros para a certificação de equipamentos com tecnologias emergentes. Inclui dispositivos que utilizam 5G NB-NTN (Narrow Band Non-Terrestrial Networks), 5G RedCap (Reduced Capability) e 4G LTE Cat 1bis, alinhando-se às tendências da Internet das Coisas (IoT).

Além disso, a concessão de licenças para a instalação e operação de infraestruturas exige que as operadoras cumpram simultaneamente as normas da Anatel e as exigências municipais, principalmente no que se refere aos aspectos urbanísticos e ambientais.

Por fim, a Anatel adota padrões internacionais, especialmente os definidos pela ICNIRP (Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS), para estabelecer os limites de exposição humana a campos eletromagnéticos. Assim, os municípios não podem proibir a instalação de antenas com base em alegados riscos à saúde, desde que estas atendam aos limites e normas fixados pela Anatel, conforme já decidido pelo Supremo Tribunal Federal (STF).

5.3 Lei das Antenas

A chamada "Lei das Antenas" corresponde a um conjunto de normas — federais, estaduais e municipais — que regulamentam a instalação de infraestrutura para telecomunicações, como antenas de celular, torres e estações rádio base. Essas estruturas são fundamentais para viabilizar redes de telefonia e internet, especialmente com a chegada da tecnologia 5G.

A Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) é responsável por definir padrões técnicos, de segurança e concorrência para o setor em todo o país. Por sua vez, os municípios têm autonomia para legislar sobre aspectos urbanísticos, desde que suas regras respeitem as diretrizes das leis federais, estaduais e os padrões estabelecidos pela Anatel.

Com o avanço das novas tecnologias, as antenas passaram a ser menores, tanto em tamanho quanto na potência de transmissão. Isso significa que, embora ocupem menos espaço, elas precisam ser instaladas em maior quantidade, pois possuem um alcance de comunicação mais limitado. Assim, a legislação municipal — muitas vezes ainda baseada em normas pensadas para antenas maiores — precisa ser atualizada. As exigências podem ser simplificadas, já que as novas antenas causam menos impacto visual e urbanístico.

Legislação Federal

A instalação de antenas e outras infraestruturas de telecomunicações no Brasil são regulamentadas por diversas normas federais. A seguir, são apresentadas as principais leis e decretos que definem aspectos como a organização do setor, as competências dos órgãos reguladores, as regras para instalação e compartilhamento de estruturas, além dos limites relacionados à segurança e à saúde pública.

- **Código Brasileiro de Telecomunicações – CBT** (Lei nº 4.117/1962, ver Anexo A, Tabela A.1.1)

  Esta lei foi o primeiro marco regulatório das telecomunicações no Brasil, organizando o funcionamento dos serviços de rádio, televisão e telefonia no país. Ela define os serviços de telecomunicações como qualquer transmissão ou recepção de sinais, sons ou imagens por diversos meios, como fios, rádio ou eletricidade. Também disciplina quem pode prestar esses serviços, como são realizadas as concessões e autorizações, e estabelece as responsabilidades do governo federal e dos órgãos reguladores.

- **Lei Geral de Telecomunicações - LGT** (Lei nº 9.472/1997, ver Anexo A, Tabela A.1.1)

  A LGT modernizou o setor de telecomunicações e instituiu a Anatel, agência responsável por regular e fiscalizar esse setor no Brasil.

  Devido a essa lei, a Anatel passou a estabelecer normas técnicas, promover a competição entre empresas e assegurar que a instalação de infraestruturas como antenas e redes ocorram com segurança e qualidade. Esta legislação constitui uma das principais bases legais para o funcionamento do setor atualmente.

- **Lei Geral das Antenas** (Lei nº 13.116/2015, ver Anexo A, Tabela A.1.1)

  Esta lei estabelece regras para a instalação e o compartilhamento da infraestrutura de telecomunicações, como torres e postes.

  O objetivo é evitar a duplicação de estruturas por diferentes operadoras, reduzindo custos e impactos nas cidades. Esse compartilhamento é fundamental para viabilizar a expansão de novas tecnologias, como as redes móveis de quinta geração (5G) e a Internet das Coisas (IoT), que demandam a instalação de um número maior de antenas, inclusive em áreas menos favorecidas, ampliando o acesso da população aos serviços de comunicação.

- **Regulamento da Lei Geral de Antenas** (Decreto nº 10.480/2020, ver Anexo A, Tabela A.1.1)

  Este decreto detalha a aplicação da Lei Geral das Antenas, oferecendo orientações claras para a instalação das infraestruturas.

  Busca-se, com essa norma, acelerar o desenvolvimento das telecomunicações no país, ampliar o acesso à internet e acompanhar a chegada de novas tecnologias, como o 5G e a Internet das Coisas (IoT). Para os municípios, esse regulamento fornece subsídios importantes sobre como analisar os pedidos de instalação dessas antenas.

- **Lei do Silêncio Positivo** (Lei nº 14.424/2022, ver Anexo A, Tabela A.1.1)

  A lei determina que, se a prefeitura ou outro órgão competente não responder a um pedido de instalação de antena em até 60 dias, a autorização será considerada concedida automaticamente, de forma temporária.

  O objetivo é evitar que a ausência de manifestação do poder público provoque atrasos na expansão das redes, especialmente do 5G. Dessa forma, as empresas podem prosseguir com a instalação, ampliando a cobertura dos serviços de telecomunicações.

- **Lei nº 11.934/2009** (ver Anexo A, Tabela A.1.1).

  Estabelece limites para proteger a saúde da população, definindo parâmetros seguros de exposição aos campos elétricos e magnéticos gerados pelas antenas e outros equipamentos.

  Os limites previstos seguem as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), fundamentadas em pesquisas científicas. Assim, ao respeitar esses parâmetros, a instalação das antenas é considerada segura para a população.

Legislação do Estado de São Paulo

No âmbito estadual, destaca-se a instituição do Programa Conecta SP, criado por meio da Lei nº 17.471/2021 (ver Anexo A, Tabela A.1.1), como principal iniciativa para fomentar a implantação de infraestrutura de telecomunicações e impulsionar a economia digital no Estado de São Paulo.

O Programa orienta as ações do poder público e da iniciativa privada na expansão da conectividade em todo o território paulista. Ele estabelece um conjunto de diretrizes que resultam em ações estratégicas, como a expansão das tecnologias 4G e 5G, a modernização das legislações municipais, a simplificação dos processos de licenciamento, a cooperação com *startups* e a ampliação da conectividade em áreas periféricas e no interior do Estado. O Programa busca integrar governo e setor privado, promovendo um ambiente propício à inovação, à competitividade e à inclusão digital.

Entre as finalidades do Programa Conecta SP estão:

- Estimular a implantação das tecnologias de conectividade 4G e 5G, criando um ambiente propício à economia digital e ao desenvolvimento econômico estadual;
- Promover o debate sobre os ganhos e impactos advindos da chegada da tecnologia 5G;
- Incentivar a modernização das legislações municipais relacionadas à implantação de infraestrutura de telecomunicações, permitindo a atualização tecnológica das redes;
- Colaborar com os municípios na adequação das normas locais ao marco legal e regulatório vigente sobre infraestrutura de telecomunicações;
- Desenvolver estratégias para modernizar, simplificar e agilizar os processos de licenciamento dessas infraestruturas, estimulando sua implantação e regularização, com vistas à atração de investimentos no Estado;
- Fomentar a criação de um ambiente favorável à expansão da conectividade em áreas periféricas dos grandes centros urbanos e no interior do Estado de São Paulo;
- Atuar em cooperação com *startups* e empreendimentos digitais, impulsionando o ecossistema de inovação e tecnologia no território estadual.

Legislação Municipal

Os municípios possuem competência para criar leis próprias sobre zoneamento urbano e sobre os processos de licenciamento ambiental e urbanístico. O zoneamento define, por exemplo, em quais locais as antenas podem ser instaladas, estabelecendo critérios como a distância mínima de escolas, hospitais ou áreas de proteção ambiental.

O licenciamento ambiental e urbanístico pode exigir a apresentação de estudos sobre impactos visuais, ambientais ou relacionados à saúde pública, como condição para a autorização da instalação da infraestrutura de telecomunicações. Além disso, os municípios podem estabelecer a cobrança de taxas ou outorgas vinculadas às autorizações concedidas.

Em alguns casos, podem surgir conflitos entre as normas municipais e a legislação federal, especialmente quando regras locais são mais restritivas e acabam dificultando a implantação de novas tecnologias, como o 5G. Para buscar um equilíbrio, a Lei nº 13.116/2015 (ver Anexo A, Tabela A.1.1) — norma

federal — estabelece diretrizes gerais para a implantação e o compartilhamento da infraestrutura de telecomunicações, limitando o grau de discricionariedade dos municípios e promovendo maior harmonização regulatória em todo o país.

5.4 Implantação Nacional do 5G

Plano Nacional de 5G

O Plano Nacional de 5G, formalizado em 2021 por meio do Edital da Anatel[8], estabeleceu as diretrizes estratégicas para a implantação da tecnologia 5G no Brasil. Esse plano definiu as condições regulatórias, técnicas e operacionais necessárias para a expansão das redes móveis, com especial atenção à adequação das legislações municipais, à liberação da faixa de 3,5 GHz e à execução de ações para mitigar interferências e garantir a eficiência no uso do espectro.

Nesse contexto, o edital da Anatel determinou que os municípios deveriam adequar suas legislações às regras simplificadas de instalação de infraestrutura, conforme previsto na Lei nº 13.116/2015 (ver Anexo A, Tabela A.1.1), até julho de 2022. A não adequação implicaria na perda de prioridade em investimentos relacionados à implantação da tecnologia. O Estado de São Paulo, por sua relevância populacional e econômica, possui um forte incentivo para realizar essa adequação; no entanto, muitos municípios ainda enfrentam desafios burocráticos ou resistência local para atualizar suas normas.

Atualmente, todos os 5.570 municípios brasileiros estão aptos a receber a tecnologia 5G Standalone (SA), após a conclusão da liberação da faixa de 3,5 GHz, realizada pela Anatel e pela Entidade Administradora da Faixa (EAF), conforme previsto no Edital do Leilão do 5G *8*. O 5G Standalone é uma arquitetura de rede que utiliza exclusivamente os equipamentos e padrões do 5G, sem depender da infraestrutura do 4G, permitindo maior velocidade, menor latência e suporte a um número muito maior de dispositivos conectados.

Apesar disso, boa parte das redes 5G em operação atualmente no Brasil ainda funciona no modo Non-Standalone (NSA), que aproveita parte da infraestrutura e antenas do 4G. Esse modelo transitório viabiliza a oferta inicial do 5G, mas não explora todo o seu potencial.

Embora se estime que entre 80% e 90% dos municípios paulistas já tenham atualizado suas legislações para permitir a instalação do 5G, a implantação efetiva das redes ainda depende de diversos fatores, entre os quais:

- A disponibilidade de espectro pelas operadoras;
- Os investimentos em infraestrutura, como a ampliação da fibra óptica e a instalação de *small cells*;
- A aceitação da população local quanto à presença das novas antenas.

De acordo com o Relatório da Anatel[8], aproximadamente 70% dos municípios brasileiros já haviam adequado suas legislações ao marco regulatório do 5G até meados daquele ano. No Estado de São Paulo, estima-se que esse percentual seja superior à média nacional, impulsionado pela densidade populacional e pela pressão das operadoras para expandirem suas redes.

Cidades prioritárias, como São Paulo, Campinas e São José dos Campos, já contam com uma infraestrutura avançada, enquanto municípios de menor porte ainda estão em processo de adequação legislativa e estrutural.

Para acompanhar a situação atual da implantação, a Anatel disponibiliza o Painel de Monitoramento do 5G, que apresenta a evolução da tecnologia por região. Entretanto, esse painel não fornece informações detalhadas sobre a adequação das legislações municipais.

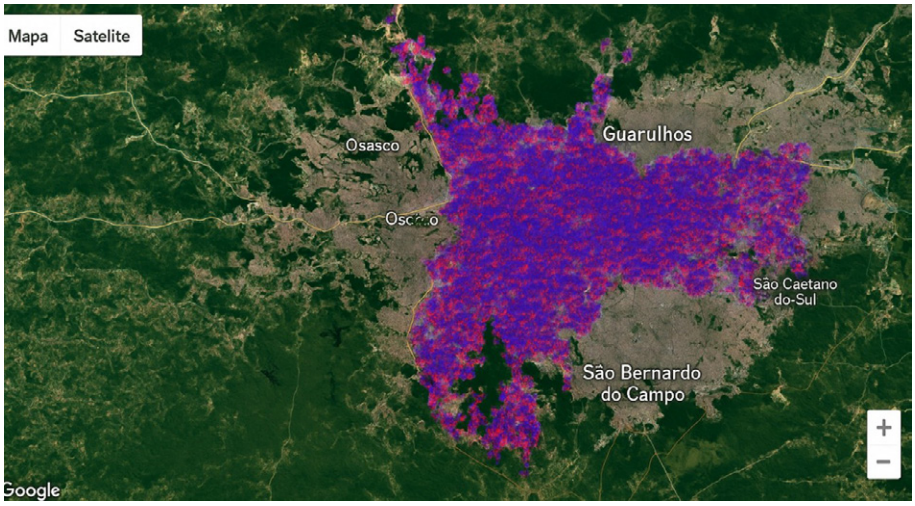
Em 2023, a Secretaria de Telecomunicações do Estado de São Paulo lançou iniciativas específicas para acelerar a adequação legislativa nos municípios. Apesar dessas ações, não há relatórios públicos consolidados que indiquem, de forma precisa, o avanço dessas medidas.

A porcentagem exata de municípios paulistas que já se adequaram às normas necessárias para a implantação das redes 5G não é divulgada de forma centralizada ou em tempo real. Contudo, com base nas iniciativas em curso e em dados recentes, observa-se que diversos municípios ainda precisam modernizar sua legislação para viabilizar plenamente a nova tecnologia.

A Associação Brasileira de Telecomunicações (Telebrasil) também desempenha um papel relevante, ao divulgar estatísticas e estudos setoriais sobre o tema, incluindo o Mapa de Antenas, que permite visualizar a cobertura de telefonia móvel no país, bem como o ranking das cidades amigas do 5G. Esses recursos também reúnem informações sobre autorregulação e atualizações do setor.

O Portal Conecte 5G, mantido pela Telebrasil, reúne em uma única plataforma diversas informações sobre a implantação do 5G no Brasil[9], com o objetivo de informar a sociedade sobre os requisitos necessários para que as cidades adotem a nova tecnologia. O portal integra conteúdos de fontes como a Anatel, a própria Telebrasil e legislações correlatas, funcionando como uma referência importante para municípios e demais interessados na expansão da conectividade. A título de exemplo a Figura 5.5 apresenta um mapa de antenas 5G para área metropolitana da cidade de São Paulo.

5.5 – Mapa de antenas 5G – área metropolitana de São Paulo.



Fonte: Telebrasil[10]

Grupos de Gestão do 5G

A Anatel determinou, por meio do Edital nº 1/2021-SOR/SPR/CD-ANATEL (o Edital do Leilão de 5G)[11], a criação do GAISPI – Grupo de Acompanhamento da Implantação das Soluções para os Problemas de Interferência na Faixa de 3,5 GHz. O GAISPI tem como finalidade disciplinar e fiscalizar a atuação da EAF (ver item a seguir).

Esse grupo é presidido por um Conselheiro Diretor da Anatel e conta com a participação de representantes do Ministério das Comunicações, das operadoras vencedoras dos lotes nacionais da faixa de 3,5 GHz (Claro, TIM e Vivo), dos radiodifusores, das empresas exploradoras de satélites e das vencedoras dos lotes regionais dessa faixa.

Entre as atribuições do GAISPI está a disciplina e fiscalização da aplicação dos recursos previstos no item 1 e subitens do Anexo IV-A do edital do 5G, assegurando que a implantação das soluções de mitigação de interferência ocorra conforme as regras estabelecidas.

Além disso, a Anatel determinou a criação da EAF – Entidade Administradora da Faixa de 3,5 GHz, conhecida pelo nome fantasia “Siga Antenado”. A EAF é uma entidade não governamental e sem fins lucrativos, subordinada ao GAISPI, composta pelas principais operadoras de telecomunicações (Claro, TIM e Vivo) e possui as seguintes atribuições:

- Migração da TVRO (TV aberta e gratuita via satélite) da Banda C para a Banda Ku, incluindo a instalação de kits gratuitos para beneficiários de programas sociais do Governo Federal;
- Desocupação da faixa de frequência de 3,5 GHz (especificamente de 3.625 MHz a 3.700 MHz), assegurando a disponibilidade dessa faixa para as redes 5G;
- Implantação do Programa Amazônia Integrada e Sustentável (PAIS), destinado à expansão da infraestrutura de telecomunicações na região amazônica;
- Implantação de uma Rede Privativa de Comunicação da Administração Pública Federal, conforme previsto na Portaria nº 1.924/2021 do Ministério das Comunicações[12].

Apoio à Municípios

Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações

A Anatel disponibiliza, em seu portal de dados, uma página específica de apoio à implantação de infraestrutura de antenas nos municípios brasileiros. Essa ferramenta permite acompanhar a evolução tecnológica das redes de comunicação e identificar áreas com carência de infraestrutura.

A agência publicou a "Carta Aberta às Autoridades Municipais Brasileiras", conclamando Prefeituras e Câmaras Municipais a reduzirem as barreiras à conectividade, mediante a atualização da legislação local que regula a infraestrutura de telecomunicações.

Para apoiar prefeitos, vereadores e gestores municipais, a Anatel oferece não apenas dados e informações, incluindo casos de sucesso, mas também uma minuta de Projeto de Lei para subsidiar os legisladores locais na modernização da legislação relacionada às antenas.

Além disso, estão disponíveis orientações sobre leis e regulamentos federais e boas práticas locais, reunidas no estudo "Relatório de Barreiras Regulatórias que Impactam o Desenvolvimento das Redes 5G no Brasil".

A página também reúne links úteis para conteúdos pertinentes à administração municipal, incluindo:

- Regulamentos e legislação aplicáveis;
- Painéis de dados, que permitem visualizar o mapa da cobertura de telefonia móvel e a exposição a campos eletromagnéticos;
- Consulta às Estações Rádio Base (ERB) licenciadas.

CNM – Confederação Nacional de Municípios

A Confederação Nacional de Municípios (CNM) publicou a cartilha "Licenciamento de antenas e infraestrutura de suporte para telefonia e internet: modernização, integração e democratização do ambiente regulatório urbano", disponível gratuitamente, com o objetivo de apoiar os municípios no processo de atualização das legislações urbanísticas e viabilizar a implantação do 5G[13].

Além dessa cartilha, a CNM disponibiliza diversos documentos de apoio relacionados ao tema das Cidades Inteligentes, entre os quais:

- Licenciamento de antenas e infraestrutura de suporte para telefonia e internet: modernização, integração e democratização do ambiente regulatório urbano;
- Panorama municipal simplificado de licenciamento de antenas de telefonia e internet 5G;
- Transformação digital: estratégia para um município inteligente, humano e sustentável;
- Inovação e município inteligente, humano e sustentável: conceitos, práticas e iniciativas municipais.

Desafios para a adequação

Apesar dos avanços, os municípios ainda enfrentam diversos desafios para a plena adequação à implantação do 5G:

- **Resistência municipal:** algumas prefeituras impõem exigências adicionais, como taxas ou distâncias mínimas de antenas em relação a escolas e hospitais, que podem conflitar com as regras federais;
- **Burocracia:** mesmo após a adequação legal, os processos de licenciamento podem ser lentos, comprometendo a agilidade na implantação das redes;
- **Judicialização:** ações judiciais movidas contra a instalação de antenas, alegando supostos riscos à saúde ou impactos visuais, ainda provocam atrasos na execução dos projetos.

Embora a maioria dos municípios paulistas já esteja tecnicamente apta conforme a legislação federal, a implementação prática do 5G varia significativamente.

Para informações mais precisas e atualizadas, recomenda-se consultar fontes como a Anatel, a Secretaria de Telecomunicações do Estado de São Paulo ou o Ministério das Comunicações.

Referências Bibliográficas

1. SCHILLER, Jochen. **Mobile Communications**. 2th. ed. Harlow: Pearson Education, 2003.

2. WHEAT, David. **Communication Systems**. 4th. ed. Boston: McGraw-Hill, 2001.

3. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018. Aprova o Regulamento sobre a Avaliação da Exposição Humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Associados à Operação de Estações Transmissoras de Radiocomunicação. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 out. 2018.

4. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 743, de 1 março de 2021. Altera o Plano Geral de Autorizações do Serviço Móvel Pessoal (PGA-SMP). **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 mar. 2021. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2021/1513-resolucao-743. Acesso em: 3 mar. 2025.

5. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Resolução nº 772, de 16 de janeiro de 2025. Aprova o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil - PDFF, promovendo as atribuições, destinações e condições específicas de uso de faixas de frequências nele dispostas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 jan. 2025. https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2025/2001-resolucao-772. Acesso em: 3 mar. 2025.

6. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Ato nº 2.105, de 14 de fevereiro de 2025. Anexo 1 - Atualiza os requisitos técnicos para avaliação da conformidade de Estações Terminais de Acesso (ETA) e de telefones móveis celulares, incorporando novos parâmetros para certificação. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 fev. 2025. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2025/2010-ato-2105. Acesso em: 3 mar. 2025.

7. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Relatório Anual de Gestão 2023**. Brasília: Anatel, 2024. Disponível em: https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?8-74Kn1tDR89f1Q7RjX8EYU46IzCFD-26Q9Xx5QNDbqadzxXsr2_CNYq-tI8pNRGRr2a2hGlxo1vamKGUGrKmdpmXtt61fkvMUjfnD4pgZ_kxftABz7OAYgCgVP9IQ-7R. Acesso em: 13 mar. 2025.

8. PORTAL CONECTE 5G. **Evolução do 5G.** Disponível em: https://conecte5g.com.br/. Acesso em: 18 mar. 2025.

9. PORTAL CONEXIS BRASIL DIGITAL. **Mapa de antenas:** cidade de São Paulo 5 G. Disponível em: https://conexis.org.br/numeros/mapa-de-antenas-completo/. Acesso em: 18 mar. 2025.

10. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES**. Edital nº 1/2021-SOR/SPR/CD-ANATEL**. Brasília: Anatel, 2021. 427 p. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2021/09/EDITAL-5G-ANATEL.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

11. MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Portaria nº 1.924/SEI-MCOM, de 29 de janeiro de 2021**. Estabelece diretrizes para os certames licitatórios das faixas de radiofrequências de 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz e define critérios para a proteção dos usuários que recebem sinais de TV aberta e gratuita por meio de antenas parabólicas na Banda C satelital, adjacente à faixa de 3,5 GHz. Brasília: Ministério das Comunicações, 2021. https://telesintese.com.br/wp-content/uploads/2021/01/PORTARIA-No-1.924_SEI-MCOM-2021.pdf. Acesso em: 18 maio 2025.

12. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Licenciamento de antenas e infraestrutura de suporte para telefonia e internet:** modernização, integração e democratização do ambiente regulatório urbano. Brasília: CNM, 2022. 51 p. . Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2022/Livros/2022_LIV_HABIT_Licenciamento_antenas- suporte-telefonia-internet.pdf. Acesso em: 18 maio 2025.

6 Internet das coisas para Monitoramento Urbano

A Internet das Coisas (IoT) tem se consolidado como uma tecnologia essencial para o monitoramento urbano, transformando a forma como as cidades gerenciam seus recursos e serviços.

A IoT envolve a interconexão de dispositivos físicos, como sensores, câmeras e equipamentos, à internet, permitindo a coleta, troca e análise de dados em tempo real. Quando aplicada ao contexto urbano, a IoT contribui significativamente para a criação de cidades inteligentes, proporcionando soluções mais eficientes e sustentáveis para diversos desafios urbanos.

Para captar esses dados é necessário instalar sensores e câmeras na infraestrutura física urbana, conectá-los entre si e a uma rede de comunicação de dados, e utilizar essas informações em tempo real para embasar a tomada de decisões. Além disso, ao analisar esses dados historicamente, é possível prever eventos futuros e desenvolver novos serviços ou políticas públicas.

A instalação de sensores é um dos pilares fundamentais para a construção de uma cidade inteligente.

6.1 Internet das Coisas

A *Internet of Things* (IoT), ou **Internet das Coisas (IdC)**, é um ecossistema tecnológico que conecta dispositivos físicos, veículos, eletrodomésticos, sensores e outros objetos à internet, permitindo a coleta e processamento de dados em tempo real. Esses dispositivos, chamados de "coisas inteligentes", são equipados com sensores, atuadores e telemetria para comunicação (como Wi-Fi, Bluetooth, 5G, etc.), tornando-os capazes de interagir entre eles, ou com sistemas centralizados e com os usuários, criando uma rede inteligente e autônoma1.

Os conceitos de sensores e telemetria são descritos a seguir.

Sensores

São dispositivos que detectam e medem mudanças em um ambiente ou em um sistema, convertendo um estímulo físico (como luz, som, temperatura, pressão, movimento, entre vários) em sinais que podem ser interpretados por outros dispositivos ou sistemas.

Telemetria

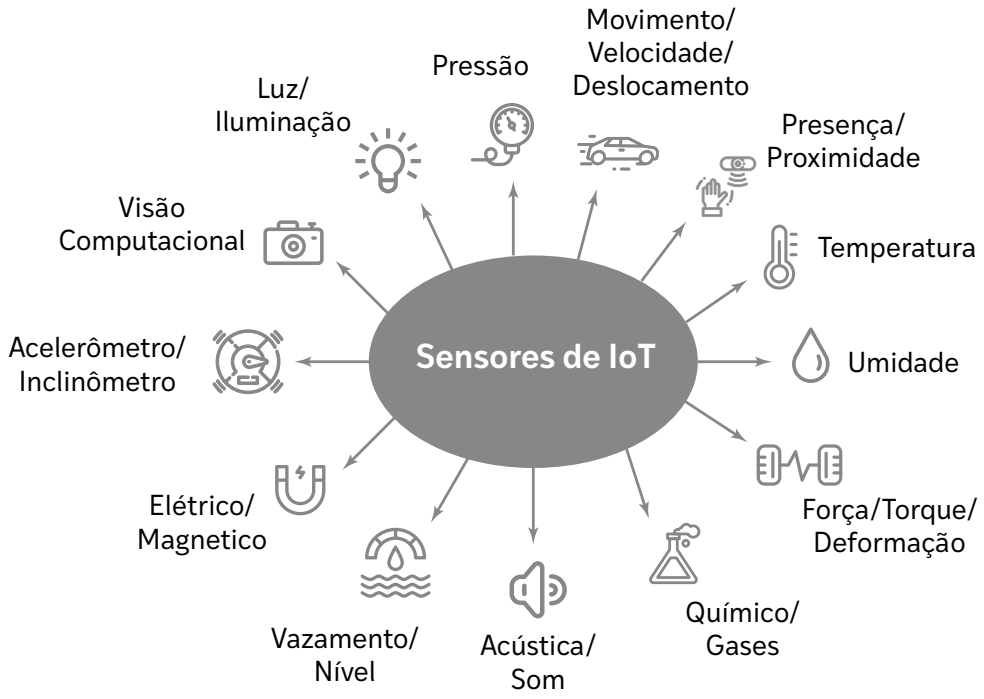
É a tecnologia que permite a medição e transmissão de dados de um local remoto para uma central onde possam ser monitorados e analisados. Isso é especialmente útil em aplicações como monitoramento

de saúde, gestão de frotas e controle ambiental. Juntas, a IoT e a telemetria possibilitam uma melhor tomada de decisões, otimização de processos e maior eficiência em diversas áreas, como agricultura, transporte, cidades e saúde.

6.2 Tipos de Sensores De IOT

Os **sensores de IoT** são dispositivos que coletam dados do ambiente físico e os transmitem para sistemas de análise ou controle. Existem diversos tipos de sensores, cada um projetado para medir diferentes parâmetros. A Figura 6.1 ilustra os tipos de sensores de IoT utilizados em cidades inteligentes. Eles podem ser classificados de acordo com o tipo de dados que coletam.

Figura 6.1 – Sensores de IoT.



Fonte: Adaptado de V2COM[1].

Em seguida serão tratados os sensores apontados na Figura 6.1, sendo que as informações trazidas referentes a cada tipo de sensor foi baseada na leitura de diversas literaturas[3 a 34].

Sensores de Temperatura

Os sensores de temperatura são dispositivos fundamentais em cidades inteligentes (*smart cities*), pois permitem o monitoramento e controle de variáveis térmicas em diversos sistemas urbanos. Eles desempenham um papel crucial na otimização de recursos, na promoção da sustentabilidade e no aumento da qualidade de vida dos cidadãos.

Aplicações de Sensores de Temperatura em Cidades Inteligentes.

Gestão de Energia

- Edifícios Inteligentes

  São utilizados em sistemas de climatização (HVAC) para ajustar automaticamente o aquecimento, ventilação e ar-condicionado, garantindo conforto térmico e reduzindo o consumo de energia.

  Em fachadas inteligentes, sensores monitoram a temperatura externa e interna para otimizar o uso de cortinas, persianas ou vidros eletrocrômicos.

Redes Elétricas

Em transformadores e subestações ajudando a prevenir superaquecimento, obtendo desta maneira um aumento de eficiência e da vida útil dos equipamentos.

Transporte Inteligente

- Veículos Elétricos

  Monitoram baterias e motores para evitar superaquecimento e garantir segurança e eficiência.

- Infraestrutura Viária

  Sensores embutidos em vias públicas podem detectar temperaturas extremas (como gelo ou calor excessivo), alertando para condições perigosas e acionando sistemas de derretimento de gelo, por exemplo.

Agricultura Urbana

- Estufas Inteligentes

  Sensores de temperatura monitoram o ambiente interno, garantindo condições ideais para o crescimento de plantas e otimizando o uso de recursos naturais como água e energia.

- Telhados Verdes

  Sensores ajudam a monitorar a temperatura em telhados verdes, contribuindo para o controle térmico dos edifícios e a redução do efeito de ilhas de calor urbanas.

Monitoramento Ambiental

- Ilhas de Calor Urbanas

  Sensores de temperatura espalhados pela cidade ajudam a identificar áreas com altas temperaturas, permitindo a implementação de medidas de mitigação, como aumento de áreas verdes ou uso de materiais reflexivos.

- Qualidade do Ar

  Sensores de temperatura são frequentemente combinados com sensores de umidade e poluição para monitorar a qualidade do ar e fornecer dados para políticas públicas.

Gestão de Resíduos

- Lixeiras Inteligentes

  Sensores de temperatura podem detectar incêndios ou decomposição acelerada de resíduos orgânicos, alertando para a necessidade de coleta ou manutenção.

- Usinas de Reciclagem

  Monitoramento de temperatura em processos de compostagem ou incineração para garantir eficiência e segurança.

Infraestrutura de Água

- Redes de Distribuição de Água

  Sensores de temperatura ajudam a detectar vazamentos ou congelamento em tubulações, evitando desperdícios e danos.

- Sistemas de Resfriamento

  Em usinas de energia ou data centers, sensores de temperatura são usados para otimizar sistemas de resfriamento, reduzindo o consumo de água e energia.

Segurança Pública

- Detecção de Incêndios

  Sensores de temperatura em áreas públicas ou florestas urbanas podem detectar aumentos repentinos de temperatura, alertando para possíveis incêndios.

- Monitoramento de Multidões

  Em grandes eventos, sensores de temperatura podem ser usados para monitorar o conforto térmico e evitar superlotação em áreas quentes.

Benefícios dos Sensores de Temperatura em Cidades Inteligentes

Eficiência Energética

- Redução do consumo de energia em sistemas de climatização, iluminação e transporte.

Sustentabilidade

- Otimização de recursos naturais, como água e energia, e redução de emissões de carbono.

Segurança

- Detecção precoce de riscos, como incêndios, superaquecimento de equipamentos ou condições climáticas extremas.

Conforto

- Garantia de condições térmicas ideais em edifícios, transportes e espaços públicos.

Resiliência

- Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como ondas de calor ou frio intenso.

Cidades que utilizam sensores de temperatura

O Quadro 6.1 traz exemplos de cidade que utilizam sensores de temperatura.

Quadro 6.1 – Cidades que utilizam sensores de temperatura

Cidade / Aplicação	Gestão de Energia	Transporte Inteligente	Agricultura Urbana	Monitoramento Ambiental	Gestão de Resíduos	Segurança Pública
Nova York, Estados Unidos	x			x		
Singapura	x	x		x		
Barcelona, Espanha	x		x	x		
Tóquio, Japão	x			x		x
Melbourne, Austrália	x					x
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x		x		x
Copenhague, Dinamarca	x	x		x	x	

Quadro 6.1 – Cidades que utilizam sensores de temperatura (continuação)

Cidade / Aplicação	Gestão de Energia	Transporte Inteligente	Agricultura Urbana	Monitoramento Ambiental	Gestão de Resíduos	Segurança Pública
Buenos Aires, Argentina	x			x	x	
Amsterdam, Holanda	x	x		x		
Songdo, Coreia do Sul	x	x	x	x		

Sensores de Umidade

Os sensores de umidade são dispositivos que medem a quantidade de vapor de água presente no ar ou em materiais. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores desempenham um papel crucial em diversas aplicações, desde o monitoramento ambiental até a otimização de sistemas urbanos. A seguir algumas aplicações.

Aplicações de Sensores de Umidade em Cidades Inteligentes.

Monitoramento Ambiental

- Qualidade do Ar

  São utilizados em conjunto com sensores de temperatura e poluição para monitorar a qualidade do ar em tempo real, ajudando a identificar condições que podem afetar a saúde pública.

- Ilhas de Calor Urbanas

  A umidade relativa do ar é um fator importante no estudo de ilhas de calor. Sensores ajudam a identificar áreas com alta umidade e temperatura, permitindo a implementação de medidas de mitigação, como aumento de áreas verdes.

- Previsão do Tempo

  Dados de umidade coletados por sensores espalhados pela cidade podem ser usados para melhorar a precisão de previsões meteorológicas locais.

Agricultura Urbana e Espaços Verdes

- Jardins e Parques

  Sensores de umidade no solo ajudam a otimizar a irrigação de áreas verdes, reduzindo o desperdício de água e garantindo o crescimento saudável das plantas.

- Telhados Verdes

  Monitoramento da umidade em telhados verdes para garantir que as plantas recebam a quantidade certa de água, contribuindo para o controle térmico dos edifícios.

- Estufas Inteligentes

  Controlam automaticamente a irrigação e a ventilação, criando condições ideais para o cultivo de alimentos em ambientes urbanos.

Edifícios Inteligentes

- Climatização

  Sensores de umidade são integrados a sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado para manter níveis ideais de conforto térmico e evitar problemas como mofo ou ar excessivamente seco.

- Eficiência Energética

  Ao monitorar a umidade interna, é possível ajustar sistemas de climatização para operar de forma mais eficiente, reduzindo o consumo de energia.

- Prevenção de Danos

  Sensores de umidade em paredes e fundações ajudam a detectar infiltrações ou vazamentos, prevenindo danos estruturais e o crescimento de mofo.

Gestão de Água e Esgoto

- Redes de Distribuição de Água

  Sensores de umidade podem detectar vazamentos em tubulações subterrâneas, reduzindo perdas de água e custos de reparo.

- Sistemas de Drenagem

  Monitoramento da umidade em sistemas de drenagem urbana para prevenir inundações durante chuvas intensas.

- Estações de Tratamento

  Sensores de umidade ajudam a otimizar processos de tratamento de água e esgoto, garantindo eficiência e qualidade.

Segurança Pública

- Detecção de Inundações

  Sensores de umidade em áreas de risco (como margens de rios ou subsolos) podem alertar para possíveis inundações, permitindo ações preventivas.

- Prevenção de Incêndios

  Em áreas florestais urbanas, sensores de umidade ajudam a avaliar o risco de incêndios, especialmente durante períodos de seca.

Benefícios dos Sensores de Umidade em Cidades Inteligentes:

- Eficiência no Uso de Recursos

  Redução do desperdício de água em sistemas de irrigação e redes de distribuição.

- Sustentabilidade

  Otimização de processos urbanos para reduzir o impacto ambiental.

- Segurança

  Prevenção de riscos como inundações, incêndios ou danos estruturais.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Manutenção de níveis ideais de umidade em edifícios e espaços públicos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como chuvas intensas ou secas.

Cidades que utilizam sensores de umidade

O Quadro 6.2 traz exemplos de cidade que utilizam sensores de umidade

Tabela 6.2 – Cidades que utilizam sensores de umidade

Cidade / Aplicação	Monitoramento Ambiental	Agricultura Urbana e espaços Verdes	Edifícios Inteligentes	Gestão de Água e Esgoto	Segurança Pública
Singapura	x	x	x		
Barcelona, Espanha	x	x	x		
Melbourne, Austrália			x	x	x
Amsterdã, Holanda		x			x
Tóquio, Japão		x	x		x
Dubai, Emirados Árabes Unidos		x	x		x
Copenhague, Dinamarca	x	x			x
Buenos Aires, Argentina	x		x	x	
Songdo, Coreia do Sul		x	x		x

Sensores de Pressão

Os sensores de pressão são dispositivos que medem a força aplicada por um fluido (líquido ou gás) em uma superfície. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de infraestruturas críticas até a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores de Pressão em Cidades Inteligentes

Gestão de Água e Esgoto

- Redes de Distribuição de Água

  Sensores de pressão monitoram a pressão em tubulações para detectar vazamentos, rompimentos ou bloqueios, reduzindo perdas de água e custos de manutenção.

  Em sistemas de abastecimento, sensores ajudam a garantir que a pressão esteja dentro dos níveis ideais, evitando danos às tubulações e garantindo o fornecimento adequado.

- Sistemas de Drenagem

  Monitoramento da pressão em sistemas de drenagem para prevenir inundações durante chuvas intensas.

- Estações de Tratamento

  Sensores de pressão são usados para otimizar processos de bombeamento e tratamento de água e esgoto.

Infraestrutura de Gás

- Redes de Distribuição de Gás

  Sensores de pressão monitoram a integridade das tubulações, detectando vazamentos ou falhas que podem representar riscos à segurança.

- Medição de Consumo

  Sensores de pressão em medidores de gás ajudam a monitorar o consumo e identificar anomalias no uso.

Transporte Inteligente

- Pneus de Veículos

  Sensores de pressão em pneus (TPMS - *Tire Pressure Monitoring Systems*) ajudam a garantir a segurança e eficiência de veículos, reduzindo o consumo de combustível e o desgaste dos pneus.

- Infraestrutura Viária

  Sensores de pressão embutidos em vias públicas podem monitorar a carga de veículos, ajudando a identificar sobrecargas ou danos à infraestrutura.

Edifícios Inteligentes

- Sistemas de Climatização (HVAC)

  Sensores de pressão monitoram o fluxo de ar em sistemas de ventilação, garantindo eficiência energética e qualidade do ar interno.

- Elevadores e Escadas Rolantes

  Sensores de pressão podem ser usados para detectar sobrecargas ou falhas mecânicas, garantindo a segurança dos usuários.

- Prevenção de Vazamentos

  Sensores de pressão em sistemas hidráulicos ajudam a detectar vazamentos em edifícios, evitando danos estruturais e desperdícios de água.

Monitoramento Estrutural

- Pontes e Viadutos

  Sensores de pressão são usados para monitorar a carga sobre estruturas, detectando sobrecargas ou danos que possam comprometer a segurança.

- Túneis e Metrôs

  Monitoramento da pressão em túneis para garantir a integridade estrutural e a segurança dos usuários.

Segurança Pública

- Detecção de Explosões

  Sensores de pressão podem ser usados para detectar ondas de pressão causadas por explosões, alertando autoridades e sistemas de emergência.

- Sistemas de Combate a Incêndios

  Monitoramento da pressão em sistemas de sprinklers e hidrantes para garantir que estejam operando corretamente.

Benefícios dos Sensores de Pressão em Cidades Inteligentes são:

- Segurança

  Detecção precoce de vazamentos, sobrecargas ou falhas em sistemas críticos.

- Eficiência Energética

Otimização de sistemas de bombeamento, climatização e transporte, reduzindo o consumo de energia.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios de água, gás e outros recursos.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de condições ideais em edifícios e sistemas urbanos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como inundações ou explosões.

Cidades que utilizam sensores de pressão

O Quadro 6.3 apresenta as cidades que já utilizam sensores de pressão.

Quadro 6.3 – Cidades que utilizam sensores de pressão

Cidade / Aplicação	Gestão de Água e Esgoto	Infraestrutura de Gás	Transporte Inteligente	Edifícios Inteligentes	Monitoramento Estrutural	Segurança Pública
Amsterdã, Holanda	x	x	x		x	
Singapura	x		x	x		
Barcelona, Espanha	x		x		x	
Tóquio, Japão			x	x		x
Melbourne, Austrália	x	x	x		x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x		x		x	
Copenhague, Dinamarca	x	x	x		x	
Buenos Aires, Argentina	x		x		x	
Songdo, Coreia do Sul	x		x	x		
Nova York, Estados Unidos	x	x	x			

Sensores de Presença/Proximidade

Os sensores de presença/proximidade são dispositivos que detectam a presença ou a aproximação de objetos, pessoas ou veículos sem necessidade de contato físico. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde a otimização de sistemas de iluminação até a melhoria da segurança e mobilidade urbana.

Aplicações de Sensores de Presença/Proximidade em Cidades Inteligentes são:

Iluminação Pública Inteligente

- Luzes que Acendem sob Demanda

  Sensores de presença detectam movimento de pedestres, ciclistas ou veículos, acendendo as luzes apenas quando necessário. Isso reduz o consumo de energia e prolonga a vida útil das lâmpadas.

- Adaptação à Densidade de Tráfego

  Em vias públicas, sensores de proximidade ajustam a intensidade da iluminação com base no fluxo de veículos, garantindo segurança e eficiência energética.

Mobilidade Urbana

- Semáforos Inteligentes

  Sensores de presença detectam veículos e pedestres em cruzamentos, ajustando os tempos dos semáforos para otimizar o fluxo de tráfego e reduzir congestionamentos.

- Estacionamentos Inteligentes

  Sensores de proximidade em vagas de estacionamento indicam a disponibilidade de espaços em tempo real, facilitando a localização de vagas e reduzindo o tempo de busca.

- Transporte Público

  Sensores de presença em ônibus e trens monitoram a ocupação de passageiros, ajudando a ajustar a frequência das viagens e a garantir o distanciamento social.

Segurança Pública

- Monitoramento de Áreas Públicas

  Sensores de presença em parques, praças e ruas detectam movimentos suspeitos, acionando câmeras de vigilância ou alertando autoridades.

- Controle de Acesso

  Sensores de proximidade em edifícios públicos ou áreas restritas garantem que apenas pessoas autorizadas tenham acesso, aumentando a segurança.

- Detecção de Intrusão

  Em infraestruturas críticas, como usinas de energia ou estações de tratamento de água, sensores de presença alertam para a presença de intrusos.

Edifícios Inteligentes

- Automação de Sistemas

  Sensores de presença em salas e corredores controlam automaticamente a iluminação, a climatização e o uso de elevadores, garantindo eficiência energética e conforto.

- Banheiros Inteligentes

  Sensores de proximidade em torneiras, vasos sanitários e secadores de mãos reduzem o contato físico e promovem a higiene.

- Otimização de Espaços

  Sensores de presença ajudam a monitorar a ocupação de salas de reunião, escritórios ou áreas comuns, permitindo um uso mais eficiente dos espaços.

Gestão de Resíduos

- Lixeiras Inteligentes

  Sensores de proximidade detectam quando uma lixeira está cheia, alertando os serviços de coleta para otimizar rotas e reduzir custos.

- Descarte Automático

  Sensores de presença em lixeiras públicas permitem que os usuários descartem resíduos sem contato físico, aumentando a higiene e a conveniência.

Agricultura Urbana

- Irrigação Inteligente

  Sensores de presença detectam a presença de pessoas ou animais em áreas de cultivo, ajustando a irrigação para evitar desperdícios.

- Proteção de Plantas

  Sensores de proximidade podem ser usados para afastar pragas ou animais que possam danificar as plantações.

Benefícios dos Sensores de Presença/Proximidade em Cidades Inteligentes

- Eficiência Energética

  Redução do consumo de energia em sistemas de iluminação, climatização e transporte.

- Segurança

  Detecção de movimentos suspeitos, controle de acesso e prevenção de acidentes.

- Conforto e Conveniência

  Automação de sistemas urbanos e edifícios, proporcionando maior conforto aos cidadãos.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios de energia, água e outros recursos.

- Otimização de Recursos

  Melhor uso de espaços públicos, transporte e infraestruturas.

Cidades que utilizam Sensores de Presença/Proximidade em Cidades Inteligentes

O Quadro 6.4 mostra cidades que já utilizam sensores de presença/proximidade.

Quadro 6.4 – Cidades que utilizam sensores de presença/proximidade

Cidade / Aplicação	Iluminação Pública Inteligente	Mobilidade Urbana	Segurança Pública	Edifícios Inteligentes	Gestão de Resíduos
Amsterdã, Holanda	x	x	x		
Singapura		x		x	
Barcelona, Espanha	x	x			x
Tóquio, Japão		x	x	x	
Melbourne, Austrália	x	x			
Dubai, Emirados Árabes Unidos		x	x	x	
Copenhague, Dinamarca	x	x			
Buenos Aires, Argentina	x	x	x		x
Songdo, Coreia do Sul		x	x	x	
Nova York, Estados Unidos	x	x			

Sensores de Movimento/Velocidade/Deslocamento

Os sensores de movimento, velocidade e deslocamento são dispositivos que detectam e medem o movimento de objetos, pessoas ou veículos. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm aplicações variadas, que vão do monitoramento de tráfego até a segurança pública e a eficiência energética.

Aplicações de sensores de movimento/velocidade/deslocamento em Cidades Inteligentes

Mobilidade Urbana e Transporte Inteligente

- Monitoramento de Tráfego

  Sensores de velocidade e movimento são usados para monitorar o fluxo de veículos em vias públicas, ajudando a identificar congestionamentos, acidentes ou infrações de trânsito.

  Dados coletados podem ser usados para ajustar semáforos, otimizar rotas e melhorar a gestão do tráfego.

- Controle de Velocidade

  Sensores de velocidade em vias urbanas ajudam a fiscalizar e controlar o limite de velocidade, aumentando a segurança no trânsito.

- Transporte Público

  Sensores de movimento e velocidade em ônibus, trens e metrôs monitoram o desempenho dos veículos, garantindo operações seguras e eficientes.

- Bicicletas Compartilhadas

  Sensores de velocidade e deslocamento em bicicletas compartilhadas ajudam a monitorar o uso e a otimizar a distribuição das bicicletas pela cidade.

Segurança Pública

- Vigilância Eletrônica

  Sensores de movimento em câmeras de segurança detectam atividades suspeitas em áreas públicas, acionando alertas ou gravações automáticas.

- Detecção de Acidentes

  Sensores de movimento e velocidade em vias públicas podem detectar colisões ou paradas bruscas, alertando os serviços de emergência.

- Proteção de Infraestruturas

  Sensores de movimento monitoram áreas críticas, como pontes, túneis e estações de energia, para detectar intrusões ou atividades incomuns.

Iluminação Pública Inteligente

- Luzes que Acendem sob Demanda

  Sensores de movimento detectam a presença de pedestres, ciclistas ou veículos, acendendo as luzes apenas quando necessário, reduzindo o consumo de energia.

- Adaptação à Densidade de Tráfego

  Sensores de velocidade ajustam a intensidade da iluminação com base no fluxo de veículos, garantindo segurança e eficiência energética.

Gestão de Estacionamentos

- Monitoramento de Vagas

  Sensores de movimento detectam a presença de veículos em vagas de estacionamento, fornecendo informações em tempo real sobre a disponibilidade de espaços.

- Controle de Acesso

  Sensores de movimento em portões de estacionamentos garantem que apenas veículos autorizados tenham acesso.

Edifícios Inteligentes

- Automação de Sistemas

  Sensores de movimento em salas e corredores controlam automaticamente a iluminação, a climatização e o uso de elevadores, garantindo eficiência energética e conforto.

- Segurança Interna

  Sensores de movimento detectam atividades incomuns em edifícios, como intrusões ou movimentação em áreas restritas.

Monitoramento Ambiental

- Detecção de Deslizamentos

  Sensores de deslocamento em encostas ou áreas de risco monitoram movimentos do solo, alertando para possíveis deslizamentos de terra.

- Monitoramento de Estruturas

  Sensores de deslocamento em pontes, viadutos e túneis detectam movimentos ou deformações que possam comprometer a integridade estrutural.

Benefícios dos Sensores de Movimento/Velocidade/Deslocamento em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção de acidentes, intrusões e atividades suspeitas, aumentando a segurança pública e estrutural.

- Eficiência Energética

  Redução do consumo de energia em sistemas de iluminação, climatização e transporte.

- Otimização de Recursos

  Melhor uso de infraestruturas urbanas, como estacionamentos, vias públicas e edifícios.

- Conforto e Conveniência

  Automação de sistemas urbanos e edifícios, proporcionando maior conforto aos cidadãos.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios de energia e recursos, contribuindo para a sustentabilidade urbana.

Cidades que utilizam sensores de movimento/velocidade/deslocamento

O quadro 6.5 mostra cidades que já utilizam sensores de movimento/velocidade/deslocamento.

Quadro 6.5 – Cidades que utilizam sensores de movimento/velocidade/deslocamento

Cidade e Aplicação	Mobilidade Urbana e Transporte Inteligente	Segurança Pública	Iluminação Pública Inteligente	Gestão de Estacionamentos	Edifícios Inteligentes	Monitoramento Ambiental
Amsterdã, Holanda			x	x		
Singapura	x				x	
Barcelona, Espanha	x			x		
Tóquio, Japão		x			x	
Londres, Reino Unido	x					x
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x				x	
Copenhague, Dinamarca	x					x
Seul, Coreia do Sul	x		x			
Nova York, Estados Unidos		x		x		

Sensores de Movimento/Velocidade/Deslocamento

Os sensores acústicos ou sensores de som são dispositivos que detectam, medem e analisam ondas sonoras. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de ruído urbano até a segurança pública e a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores Acústicos em Cidades Inteligentes

Monitoramento de Ruído Urbano

- Mapas de Ruído

  Sensores acústicos são usados para criar mapas de ruído em tempo real, identificando áreas com níveis sonoros excessivos e ajudando a implementar medidas de mitigação.

- Controle de Poluição Sonora

  Em zonas residenciais, comerciais ou próximas a hospitais e escolas, sensores monitoram o ruído e alertam autoridades sobre infrações.

- Eventos Públicos

  Durante eventos como concertos ou festivais, sensores acústicos ajudam a garantir que os níveis de som estejam dentro dos limites permitidos.

Segurança Pública

- Detecção de Tiros

  Sensores acústicos podem identificar sons de tiros em áreas urbanas, alertando imediatamente as autoridades e ajudando a localizar a origem do disparo.

- Monitoramento de Áreas Públicas

  Sensores detectam gritos, brigas ou outros sons suspeitos, acionando câmeras de vigilância ou alertando equipes de segurança.

- Proteção de Infraestruturas

  Em locais críticos, como usinas de energia ou estações de tratamento de água, sensores acústicos detectam atividades incomuns, como tentativas de intrusão ou vandalismo.

Transporte Inteligente

- Monitoramento de Tráfego

  Sensores acústicos podem identificar sons de buzinas, colisões ou veículos em alta velocidade, ajudando a gerenciar o tráfego e responder a incidentes.

- Manutenção de Veículos

  Em sistemas de transporte público, sensores acústicos monitoram o ruído de motores e sistemas mecânicos, detectando falhas ou desgastes precocemente.

- Veículos Autônomos

  Sensores de som ajudam veículos autônomos a detectar sirenes de emergência, buzinas ou outros sinais sonoros, melhorando a segurança no trânsito.

Edifícios Inteligentes

- Controle de Ruído Interno

  Sensores acústicos monitoram os níveis de ruído em escritórios, salas de reunião ou apartamentos, ajustando automaticamente sistemas de isolamento acústico ou ventilação.

- Segurança Interna

  Sensores detectam sons incomuns, como vidros quebrando ou alarmes, acionando sistemas de segurança.

- Conforto Acústico

  Em hospitais ou bibliotecas, sensores ajudam a manter níveis sonoros ideais, garantindo conforto e bem-estar.

Monitoramento Ambiental

- Fauna Urbana

  Sensores acústicos monitoram sons de animais, como pássaros ou morcegos, ajudando a estudar a biodiversidade urbana e a implementar medidas de conservação.

- Detecção de Desastres

  Sensores podem identificar sons associados a deslizamentos de terra, quedas de árvores ou rompimentos de tubulações, alertando para possíveis desastres.

Saúde e Bem-Estar

- Monitoramento de Saúde

  Sensores acústicos podem ser usados para monitorar sons respiratórios ou cardíacos em pacientes, auxiliando no diagnóstico e tratamento remoto.

- Ruído e Saúde Mental

  Sensores ajudam a identificar áreas com níveis de ruído que possam afetar a saúde mental dos cidadãos, permitindo a implementação de medidas de mitigação.

Benefícios dos Sensores Acústicos em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção de tiros, brigas ou atividades suspeitas, aumentando a segurança pública.

- Qualidade de Vida

  Redução da poluição sonora e garantia de conforto acústico em áreas residenciais e públicas.

- Eficiência Energética

  Otimização de sistemas de isolamento acústico e ventilação em edifícios.

- Sustentabilidade

  Monitoramento da biodiversidade urbana e redução do impacto ambiental do ruído.

- Resiliência

  Detecção precoce de desastres ou falhas em infraestruturas críticas.

Cidades que utilizam sensores acústicos

O quadro 6.6 mostra cidades que utilizam sensores acústicos para algumas destas aplicações.

Quadro 6.6 – Cidades que utilizam sensores acústicos

Cidade / Aplicação	Monitoramento de Ruído Urbano	Segurança Pública	Transporte Inteligente	Edifícios Inteligentes	Monitoramento Ambiental	Saúde e Bem-Estar
Barcelona, Espanha	x	x	x			
Singapura			x	x	x	x
Amsterdã, Holanda	x	x				
Paris, França	x	x	x			
Nova York, Estados Unidos	x	x				
Tóquio, Japão	x	x	x			
Melbourne, Austrália	x	x				
Copenhague, Dinamarca	x	x	x			
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x			x	
Buenos Aires, Argentina	x	x				

Sensores de Vibração

Os sensores de vibração são dispositivos que medem oscilações, movimentos ou vibrações em estruturas, máquinas ou ambientes. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de infraestruturas críticas até a prevenção de desastres e a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores de Vibração em Cidades Inteligentes

Monitoramento de Infraestruturas Críticas

- Pontes e Viadutos

  Sensores de vibração monitoram a integridade estrutural de pontes e viadutos, detectando deformações, sobrecargas ou danos que possam comprometer a segurança.

- Túneis e Metrôs

  Sensores ajudam a identificar vibrações excessivas causadas por tráfego intenso ou atividades de construção, prevenindo colapsos ou acidentes.

- Edifícios Altos

  Em arranha-céus, sensores de vibração monitoram oscilações causadas por ventos fortes ou terremotos, garantindo a segurança dos ocupantes.

Transporte Inteligente

- Ferrovias e Metrôs

  Sensores de vibração monitoram trilhos e trens para detectar desgastes, desalinhamentos ou falhas que possam levar a acidentes.

- Pavimentação de Vias

  Sensores embutidos em vias públicas detectam vibrações causadas por veículos pesados, ajudando a identificar áreas que necessitam de manutenção.

- Veículos Autônomos

  Sensores de vibração em veículos autônomos monitoram o desempenho de componentes mecânicos, como motores e suspensões, garantindo segurança e eficiência.

Prevenção de Desastres

- Terremotos

  Sensores de vibração são usados em sistemas de alerta precoce para detectar tremores e alertar a população antes que o terremoto atinja áreas urbanas.

- Deslizamentos de Terra

  Sensores monitoram vibrações em encostas ou áreas de risco, alertando para possíveis deslizamentos.

- Estruturas Hidráulicas

  Em barragens e represas, sensores de vibração detectam mudanças na estrutura que possam indicar riscos de rompimento.

Energia e Utilidades

- Turbinas Eólicas

  Sensores de vibração monitoram o desempenho de turbinas eólicas, detectando desbalanceamentos ou falhas mecânicas que possam reduzir a eficiência energética.

- Redes Elétricas

  Sensores ajudam a monitorar transformadores e linhas de transmissão, identificando vibrações que possam indicar sobrecargas ou falhas.

- Tubulações de Gás e Água:

  Sensores detectam vibrações causadas por vazamentos ou rompimentos em tubulações subterrâneas, permitindo reparos rápidos.

Segurança Pública

- Detecção de Explosões

  Sensores de vibração podem identificar ondas de choque causadas por explosões, alertando autoridades e sistemas de emergência.

- Monitoramento de Multidões

  Em grandes eventos, sensores detectam vibrações causadas por movimentações intensas, ajudando a prevenir tumultos ou desastres.

Agricultura Urbana

- Monitoramento de Equipamentos

  Sensores de vibração em tratores ou sistemas de irrigação ajudam a detectar falhas mecânicas, garantindo a eficiência das operações agrícolas.

Benefícios dos Sensores de Vibração em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção precoce de falhas em infraestruturas críticas, prevenindo acidentes e desastres.
- Eficiência Energética

  Otimização do desempenho de máquinas e equipamentos, reduzindo o consumo de energia.
- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios e danos ambientais causados por falhas em sistemas urbanos.
- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de estruturas seguras e estáveis para os cidadãos.
- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como terremotos ou deslizamentos.

Cidades que utilizam sensores de vibração

O Quadro 6.7 mostra cidades que já utilizam sensores de vibração para algumas destas aplicações.

Tabela 6.7 – Cidades que utilizam sensores de vibração

Cidade / Aplicação	Monitoramento de Infraestruturas Críticas	Transporte Inteligente	Prevenção de Desastres	Energia e Utilidades
Singapura	x	x	x	
Tóquio, Japão	x	x	x	
Nova York, Estados Unidos	x	x	x	
Amsterdã, Holanda	x		x	
Copenhague, Dinamarca	x	x	x	
Melbourne, Austrália	x			x
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x		
Barcelona, Espanha	x	x	x	
Buenos Aires, Argentina	x	x	x	
Songdo, Coreia do Sul	x	x	x	

Sensores Químicos/Gases

Os sensores químicos ou sensores de gases são dispositivos que detectam e medem a presença, concentração ou composição de substâncias químicas ou gases no ambiente. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm um papel crucial na garantia da segurança, saúde pública, qualidade do ar e eficiência de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores Químicos/Gases em Cidades Inteligentes

Monitoramento da Qualidade do Ar

- Poluição Urbana

  Sensores de gases monitoram a concentração de poluentes como CO_2, CO, NO_x, O_3, SO_2 e partículas finas (PM2.5 e PM10), fornecendo dados em tempo real para políticas públicas e alertas à população.

- Zonas de Baixa Emissão

  Sensores ajudam a controlar o acesso de veículos poluentes a áreas específicas da cidade, reduzindo a emissão de gases nocivos.

- Ilhas de Calor Urbanas

  Sensores químicos monitoram a qualidade do ar em áreas com alta densidade de tráfego ou indústrias, ajudando a implementar medidas de mitigação.

Segurança Pública

- Detecção de Vazamentos de Gás

  Sensores de gases como metano (CH_4) e propano (C_3H_8) são usados para detectar vazamentos em redes de distribuição de gás natural, prevenindo explosões e acidentes.

- Incêndios e Explosões

  Sensores de monóxido de carbono (CO) e fumaça ajudam a detectar incêndios em estágios iniciais, alertando os sistemas de emergência.

- Substâncias Perigosas

  Sensores químicos podem detectar a presença de gases tóxicos ou explosivos em áreas públicas, como amônia (NH_3), cloro (Cl_2) ou hidrogênio (H_2).

Gestão de Resíduos

- Aterros Sanitários

  Sensores de gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) monitoram emissões em aterros, ajudando a controlar impactos ambientais e a capturar gases para geração de energia.

- Compostagem

  Sensores químicos monitoram a emissão de gases durante processos de compostagem, garantindo eficiência e segurança.

Transporte Inteligente

- Emissões Veiculares

  Sensores de gases em vias públicas monitoram as emissões de veículos, ajudando a identificar modelos poluentes e a fiscalizar o cumprimento de normas ambientais.

- Túneis e Garagens

  Sensores de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx) garantem a qualidade do ar em túneis e estacionamentos fechados, prevenindo riscos à saúde.

Edifícios Inteligentes

- Qualidade do Ar Interno

  Sensores de CO_2, de VOCs (Compostos orgânicos voláteis) e de umidade monitoram a qualidade do ar em edifícios, ajustando automaticamente sistemas de ventilação e climatização.

- Detecção de Vazamentos

  Sensores de gases como metano (CH4) e propano (C3H8) ajudam a detectar vazamentos em cozinhas ou sistemas de aquecimento, garantindo a segurança dos ocupantes.

Agricultura Urbana

- Monitoramento de Estufas

  Sensores de CO2, umidade e temperatura ajudam a otimizar o crescimento de plantas em estufas urbanas, garantindo condições ideais.

- Monitoramento de gases da compostagem

  Sensores de gases monitoram a emissão de metano (CH4) e amoníaco (NH3) durante processos de compostagem, garantindo eficiência e segurança.

Saúde Pública

- Monitoramento de Epidemias

  Sensores químicos podem detectar a presença de patógenos ou substâncias nocivas no ar, ajudando a prevenir surtos de doenças.

- Qualidade da Água

  Sensores de gases dissolvidos, como oxigênio (O2) e cloro (Cl2), monitoram a qualidade da água em sistemas de distribuição urbana.

Benefícios dos Sensores Químicos/Gases em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção precoce de vazamentos de gás, incêndios ou substâncias perigosas, prevenindo acidentes.

- Saúde Pública

  Monitoramento da qualidade do ar e da água, reduzindo riscos à saúde da população.

- Sustentabilidade:

  Controle de emissões de poluentes e otimização de processos urbanos para reduzir o impacto ambiental.

- Eficiência Energética

  Otimização de sistemas de ventilação e climatização em edifícios, reduzindo o consumo de energia.

- Conformidade Normativa

  Garantia do cumprimento de normas ambientais e de segurança em indústrias e sistemas urbanos.

Cidades que utilizam sensores químicos/gases

O Quadro 6.8 mostra cidades que já utilizam sensores químicos/gases para algumas destas aplicações.

Quadro 6.8 – Cidades que utilizam sensores químicos/gases

Cidade / Aplicação	Monitoramento da Qualidade do Ar	Segurança Pública	Gestão de Resíduos	Transporte Inteligente	Edifícios Inteligentes	Saúde Pública
Singapura	x	x		x		x
Copenhague, Dinamarca	x		x		x	
Paris, França	x	x		x		
Nova York, Estados Unidos	x	x		x		
Tóquio, Japão	x			x	x	
Amsterdã, Holanda	x	x		x		
Melbourne, Austrália	x	x		x		
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x			x	x	
Barcelona, Espanha	x	x	x			
Buenos Aires, Argentina	x	x	x			

Sensores de Fluxo

Os sensores de fluxo são dispositivos que medem a taxa de fluxo de fluidos (líquidos ou gases) em um sistema. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde a gestão de recursos hídricos até a otimização de sistemas de energia e transporte.

Aplicações de Sensores de Fluxo em Cidades Inteligentes

Gestão de Recursos Hídricos

- Redes de Distribuição de Água

  Sensores de fluxo monitoram o volume de água que passa por tubulações, ajudando a detectar vazamentos, reduzir perdas e garantir o abastecimento adequado.

- Sistemas de Irrigação

  Em parques, jardins e agricultura urbana, sensores de fluxo ajudam a otimizar o uso da água, garantindo que as plantas recebam a quantidade certa e evitando desperdícios.

- Estações de Tratamento de Água e Esgoto

  Sensores de fluxo monitoram o volume de água tratada e esgoto, garantindo a eficiência dos processos e a conformidade com normas ambientais.

Energia e Utilidades

- Redes de Gás Natural

  Sensores de fluxo monitoram o volume de gás que passa por tubulações, ajudando a detectar vazamentos e garantir a segurança do sistema.

- Sistemas de Aquecimento e Refrigeração

  Sensores de fluxo em sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) garantem que o fluxo de água ou ar esteja dentro dos parâmetros ideais, melhorando a eficiência energética.

- Energia Renovável

  Em sistemas de energia solar térmica ou geotérmica, sensores de fluxo monitoram o fluxo de fluidos para garantir a eficiência do sistema.

Transporte Inteligente

- Sistemas de Combustível

  Sensores de fluxo em veículos monitoram o consumo de combustível, ajudando a otimizar a eficiência e reduzir emissões.

- Postos de Combustível

  Sensores de fluxo garantem a medição precisa do combustível vendido, prevenindo fraudes e garantindo a conformidade com normas.

- Transporte Público

  Sensores de fluxo em sistemas de ar-condicionado de ônibus e trens garantem o conforto térmico dos passageiros e a eficiência energética.

Edifícios Inteligentes

- Sistemas Hidráulicos

  Sensores de fluxo monitoram o consumo de água em edifícios, ajudando a identificar vazamentos e reduzir desperdícios.

- Climatização

  Sensores de fluxo em sistemas de HVAC garantem que o fluxo de água ou ar esteja dentro dos parâmetros ideais, melhorando a eficiência energética e o conforto térmico.

- Prevenção de Vazamentos

  Sensores de fluxo ajudam a detectar vazamentos em sistemas hidráulicos, prevenindo danos estruturais e desperdícios de água.

Agricultura Urbana

- Irrigação Inteligente

  Sensores de fluxo ajudam a otimizar o uso da água em sistemas de irrigação, garantindo que as plantas recebam a quantidade certa e evitando desperdícios.

- hidroponia

  Sensores de fluxo monitoram o fluxo de nutrientes em sistemas hidropônicos, garantindo o crescimento saudável das plantas.

Saúde Pública

- Sistemas de Água Potável

  Sensores de fluxo monitoram o volume de água tratada em sistemas de distribuição, garantindo a qualidade e a disponibilidade de água potável.

- Hospitais e Laboratórios

  Sensores de fluxo garantem o controle preciso de fluidos em equipamentos médicos e processos laboratoriais.

Benefícios dos Sensores de Fluxo em Cidades Inteligentes

- Eficiência no Uso de Recursos

  Redução de desperdícios de água, energia e outros recursos.

- Sustentabilidade

  Otimização de processos urbanos para reduzir o impacto ambiental.

- Segurança:

  Detecção precoce de vazamentos ou falhas em sistemas críticos.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de condições ideais em edifícios e sistemas urbanos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como secas ou vazamentos.

Cidades que utilizam sensores de fluxo.

O Quadro 6.9 mostra cidades que já utilizam sensores de fluxo.

Quadro 6.9 – Cidades que utilizam sensores de fluxo

Cidade x Aplicação	Gestão de Recursos Hídricos	Energia e Utilidades	Transporte Inteligente	Edifícios Inteligentes	Saúde Pública
Singapura	x	x	x		
Copenhague, Dinamarca	x	x	x		
Amsterdã, Holanda	x	x	x	x	
Nova York, Estados Unidos	x	x	x		x
Tóquio, Japão	x	x	x		
Melbourne, Austrália	x	x	x		
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x	x		
Barcelona, Espanha	x	x	x		
Buenos Aires, Argentina	x	x	x		
Songdo, Coreia do Sul	x	x	x		

Sensores de Força/Torque/Deformação

Os **sensores de força, torque** e **deformação** desempenham um papel importante nas **cidades inteligentes** (*smart cities*) ao monitorar e melhorar a infraestrutura urbana, garantindo a segurança e a eficiência das operações em vários sistemas.

Aplicações de Sensores de Força em cidades inteligentes

Os **sensores de força** medem a força aplicada a um objeto ou sistema, seja ela de compressão, tração ou cisalhamento

Infraestrutura de Transporte

- Pontes e Viadutos

  Sensores de força podem monitorar a carga sobre estruturas de pontes, detectando sobrecargas ou danos estruturais.

- Pavimentação Inteligente

  Sensores embutidos em vias públicas podem medir a força exercida por veículos, ajudando a otimizar o tráfego e identificar áreas que necessitam de manutenção.

Edifícios Inteligentes

- Elevadores

  Sensores de força podem ser usados para medir a carga em cabos e motores de elevadores, garantindo segurança e eficiência.

- Estruturas Prediais

  Monitoramento de forças em vigas e pilares para detectar deformações ou riscos de colapso.

Mobilidade Urbana

- Bicicletas Compartilhadas

  Sensores de força nos pedais podem medir o esforço do ciclista, ajudando a otimizar rotas e promover o uso de transportes sustentáveis.

- Estações de Recarga de Veículos Elétricos

  Sensores podem garantir que os conectores de recarga estejam aplicando a força correta, evitando danos.

Aplicações de Sensores de Torque em cidades inteligentes

Os sensores de torque medem a força de rotação aplicada a um eixo ou componente mecânico. Suas aplicações em cidades inteligentes incluem:

Sistemas de Energia

- Turbinas Eólicas

  Monitoramento do torque em eixos de turbinas para garantir eficiência energética e prever falhas.

- Geradores Elétricos

  Verificação do torque em sistemas de geração de energia para evitar sobrecargas.

Transporte Público

- Ônibus e Trens

  Sensores de torque podem monitorar o desempenho de motores e sistemas de transmissão, reduzindo custos de manutenção e melhorando a confiabilidade.

- Sistemas de Frenagem

  Medição do torque aplicado em sistemas de frenagem para garantir segurança.

Gestão de Resíduos

- Caminhões de Coleta de Lixo

  Sensores de torque em sistemas de compactação ajudam a otimizar o processo e reduzir o desgaste mecânico.

Aplicações de Sensores de Deformação em cidades inteligentes

Os sensores de deformação medem mudanças na forma ou dimensão de um material devido à aplicação de forças externas. Eles são amplamente utilizados em:

Monitoramento Estrutural

- Edifícios e Pontes

  Sensores de deformação podem detectar mudanças na estrutura causadas por cargas excessivas, desgaste ou eventos naturais (como terremotos).

- Túneis e Metrôs

  Monitoramento contínuo de deformações em túneis para garantir a segurança dos usuários.

Infraestrutura de Água e Esgoto

- Tubulações

  Sensores de deformação podem detectar vazamentos ou rompimentos em tubulações, evitando desperdícios e danos ambientais.

- Barragens e Represas

  Monitoramento de deformações em estruturas hidráulicas para prevenir falhas catastróficas.

Agricultura Urbana

- Estruturas de Estufas

  Sensores de deformação podem monitorar a integridade de estruturas de estufas, garantindo que suportem cargas de vento, chuva ou neve.

Benefícios dos Sensores de Força, Torque e Deformação em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Monitoramento contínuo de estruturas críticas (pontes, edifícios, túneis) para prevenir acidentes.

- Eficiência Energética

  Otimização do funcionamento de sistemas mecânicos e elétricos, reduzindo o consumo de energia.

- Manutenção Preditiva

  Detecção precoce de falhas, reduzindo custos de reparo e evitando paradas não planejadas.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios (água, energia, materiais) e promoção de práticas urbanas mais ecológicas.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Melhoria na mobilidade urbana, infraestrutura e serviços públicos.

Cidades que utilizam sensores de força/torque/deformação

Quadro 6.10 mostra cidades que já utilizam sensores de força/torque/deformação para algumas destas aplicações.

Quadro 6.10 – Cidades que utilizam sensores de força/torque/deformação

Cidade / Aplicação	Infraestrutura de Transporte	Edifícios Inteligentes	Mobilidade Urbana	Sistemas de Energia	Transporte Público	Monitoramento Estrutural	Infraestrutura de Água e Esgoto
Singapura	x	x			x	x	
Tóquio, Japão	x				x	x	
Nova York, Estados Unidos	x	x			x	x	
Amsterdã, Holanda	x	x				x	x
Copenhague, Dinamarca			x		x	x	
Melbourne, Austrália	x	x		x		x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x			x		x	x
Barcelona, Espanha	x	x		x	x		
Buenos Aires, Argentina	x				x		x
Songdo, Coreia do Sul	x			x		x	

Sensores de Vazamento/Nível

Os sensores de vazamento e sensores de nível são dispositivos que detectam a presença, ausência ou quantidade de líquidos ou gases em um sistema ou recipiente. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde a gestão de recursos hídricos até a prevenção de acidentes e a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores de Vazamento/Nível em Cidades Inteligentes

Gestão de Recursos Hídricos

- Redes de Distribuição de Água

  Sensores de vazamento detectam perdas de água em tubulações subterrâneas, ajudando a reduzir desperdícios e custos de reparo.

Sensores de nível monitoram o volume de água em reservatórios, garantindo o abastecimento adequado e a prevenção de transbordamentos.

- Sistemas de Irrigação

  Sensores de nível em tanques de irrigação garantem que haja água suficiente para as plantas, enquanto sensores de vazamento ajudam a evitar desperdícios.

- Estações de Tratamento de Água e Esgoto

  Sensores de nível monitoram o volume de água tratada e esgoto, garantindo a eficiência dos processos e a conformidade com normas ambientais.

Energia e Utilidades

- Redes de Gás Natural

  Sensores de vazamento detectam vazamentos de gás em tubulações, prevenindo explosões e acidentes.

- Tanques de Combustível

  Sensores de nível monitoram o volume de combustível em tanques de armazenamento, garantindo o controle de estoque e a prevenção de vazamentos.

- Sistemas de Aquecimento e Refrigeração

  Sensores de nível em caldeiras e sistemas de refrigeração garantem que o fluido esteja dentro dos parâmetros ideais, prevenindo falhas e garantindo eficiência.

Segurança Pública

- Eventos Climáticos

  Sensores de nível monitoram os esgotos verificando o fluxo durante tempestades.

  Sensores de nível monitoram o mar e rios para detectar níveis clíticos e acionar comportas e alarmes.

Edifícios Inteligentes

- Sistemas Hidráulicos

  Sensores de vazamento detectam vazamentos em tubulações de água, prevenindo danos estruturais e desperdícios.

  Sensores de nível em caixas d'água garantem o abastecimento adequado e a prevenção de transbordamentos.

- Climatização

  Sensores de nível em sistemas de HVAC garantem que o fluido de arrefecimento esteja dentro dos parâmetros ideais, garantindo eficiência energética e conforto térmico.

- Prevenção de Vazamentos

  Sensores de vazamento em banheiros, cozinhas e áreas comuns ajudam a prevenir danos causados por vazamentos de água.

Agricultura Urbana

- Irrigação Inteligente

  Sensores de nível em tanques de irrigação garantem que haja água suficiente para as plantas, enquanto sensores de vazamento ajudam a evitar desperdícios.

- Hidroponia

  Sensores de nível monitoram o volume de nutrientes em sistemas hidropônicos, garantindo o crescimento saudável das plantas.

Saúde Pública

- Sistemas de Água Potável

  Sensores de nível monitoram o volume de água tratada em sistemas de distribuição, garantindo a qualidade e a disponibilidade de água potável.

- Hospitais e Laboratório

  Sensores de nível garantem o controle preciso de líquidos em equipamentos médicos e processos laboratoriais, garantindo a segurança e a eficiência.

Benefícios dos Sensores de Vazamento e Nível em Cidades Inteligentes

- Eficiência no Uso de Recursos

  Redução de desperdícios de água, energia e outros recursos.

- Sustentabilidade

  Otimização de processos urbanos para reduzir o impacto ambiental.

- Segurança

  Detecção precoce de vazamentos ou falhas em sistemas críticos.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de condições ideais em edifícios e sistemas urbanos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como secas ou vazamentos.

Cidades que utilizam sensores de Vazamento/Nível

O Quadro 6.11 mostra cidades que já utilizam Sensores de Vazamento/Nível para algumas destas aplicações.

Quadro 6.11 – Cidades que utilizam Sensores de Vazamento/Nível

Cidade / Aplicação	Gestão de Recursos Hídricos	Energia e Utilidades	Segurança Pública	Edifícios Inteligentes	Agricultura Urbana	Saúde Pública
Singapura	x					x
Copenhague, Dinamarca	x	x				x
Amsterdã, Holanda	x			x		
Nova York, Estados Unidos	x		x			
Tóquio, Japão	x		x			

Quadro 6.11 – Cidades que utilizam Sensores de Vazamento/Nível (continuação)

Cidade / Aplicação	Gestão de Recursos Hídricos	Energia e Utilidades	Segurança Pública	Edifícios Inteligentes	Agricultura Urbana	Saúde Pública
Melbourne, Austrália	x				x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x		x			
Barcelona, Espanha	x		x		x	
Buenos Aires, Argentina	x		x			
Songdo, Coreia do Sul	x		x			

Sensores de Elétricos/Magnéticos

Os sensores elétricos e magnéticos são dispositivos que detectam e medem campos elétricos, correntes, tensões ou campos magnéticos. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de redes elétricas até a segurança pública e a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores Elétricos e Magnéticos em Cidades Inteligentes

Gestão de Energia

- Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*):

  Sensores elétricos monitoram tensão, corrente e frequência em redes de distribuição, ajudando a detectar falhas, otimizar o fluxo de energia e prevenir apagões.

  Sensores magnéticos podem detectar campos magnéticos gerados por correntes elétricas, ajudando a identificar sobrecargas ou falhas em equipamentos.

- Medição de Consumo

  Sensores elétricos em medidores inteligentes (*smart meters*) monitoram o consumo de energia em residências e empresas, permitindo a cobrança precisa e a identificação de padrões de uso.

- Energia Renovável

  Sensores elétricos monitoram o desempenho de painéis solares e turbinas eólicas, garantindo a eficiência e a previsão de falhas.

Transporte Inteligente

- Veículos Elétricos

  Sensores elétricos monitoram o desempenho de baterias e motores, garantindo a eficiência e a segurança.

  Sensores magnéticos podem ser usados para detectar a posição de veículos em sistemas de carregamento sem fio.

- Sistemas de Frenagem

  Sensores magnéticos em sistemas de frenagem regenerativa ajudam a monitorar a eficiência da recuperação de energia.

- Tráfego e Estacionamento

  Sensores magnéticos embutidos no solo detectam a presença de veículos em vagas de estacionamento, fornecendo informações em tempo real sobre a disponibilidade de espaços.

Segurança Pública

- Detecção de Armas e Explosivos

  Magnéticos podem detectar metais em áreas públicas, ajudando a identificar armas ou objetos suspeitos.

- Monitoramento de Áreas Públicas

  Sensores elétricos e magnéticos podem ser usados em sistemas de vigilância para detectar atividades incomuns, como tentativas de intrusão ou vandalismo.

- Proteção de Infraestruturas

  Sensores magnéticos monitoram campos magnéticos em infraestruturas críticas, como usinas de energia ou estações de tratamento de água, detectando atividades suspeitas.

Edifícios Inteligentes

- Sistemas de Automação

  Sensores elétricos monitoram o consumo de energia em sistemas de iluminação, climatização e elevadores, garantindo eficiência energética.

- Segurança Interna

  Sensores magnéticos em portas e janelas detectam aberturas não autorizadas, aumentando a segurança dos edifícios.

- Controle de Acesso

  Sensores magnéticos em sistemas de controle de acesso garantem que apenas pessoas autorizadas tenham acesso a áreas restritas.

Agricultura Urbana

- Irrigação Inteligente

  Sensores elétricos monitoram o consumo de energia em sistemas de irrigação, garantindo a eficiência energética.

- Monitoramento de Equipamentos:

  Sensores magnéticos ajudam a detectar falhas em motores e bombas de irrigação, garantindo o funcionamento adequado dos sistemas.

Saúde Pública

- Equipamentos Médicos

  Sensores elétricos monitoram o desempenho de equipamentos médicos, garantindo a segurança e a eficiência.

- Monitoramento de Campos Magnéticos

  Sensores magnéticos podem ser usados para monitorar campos magnéticos em hospitais, garantindo a segurança de pacientes e equipamentos.

Benefícios dos Sensores Elétricos e Magnéticos em Cidades Inteligentes

- Eficiência Energética

  Otimização do consumo de energia em sistemas urbanos, reduzindo custos e impactos ambientais.

- Segurança

  Detecção precoce de falhas, intrusões ou atividades suspeitas, aumentando a segurança pública e estrutural.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de condições ideais em edifícios e sistemas urbanos.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios de energia e recursos, contribuindo para a sustentabilidade urbana.

- Resiliência:

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como apagões ou falhas em infraestruturas críticas.

Cidades que utilizam sensores de elétricos/magnéticos

O Quadro 6.12 mostra cidades que já utilizam sensores elétricos/magnéticos para algumas aplicações.

Quadro 6.12 – Cidades que utilizam sensores elétricos/magnéticos

Cidade x Aplicação	Gestão de Energia	Transporte Inteligente	Segurança Pública	Saúde Pública
Singapura	x	x	x	
Copenhague, Dinamarca	x	x		x
Amsterdã, Holanda	x	x		
Nova York, Estados Unidos	x	x		
Tóquio, Japão	x	x	x	
Melbourne, Austrália	x	x	x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x	x	
Barcelona, Espanha	x	x	x	
Buenos Aires, Argentina	x	x	x	
Songdo, Coreia do Sul	x	x		x

Sensores de Aceleração/Inclinação

Os acelerômetros e inclinômetros são dispositivos que medem, respectivamente, a aceleração (movimento) e a inclinação (ângulo) de objetos ou estruturas. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de infraestruturas críticas até a otimização de sistemas de transporte e segurança pública.

Aplicações de Acelerômetros e Inclinômetros em Cidades Inteligentes

Monitoramento de Infraestruturas Críticas

- Pontes e Viadutos

  Acelerômetros monitoram vibrações e movimentos em pontes e viadutos, detectando sobrecargas, danos estruturais ou eventos como terremotos.

Inclinômetros medem a inclinação de estruturas, ajudando a identificar deformações ou deslocamentos que possam comprometer a segurança.

- Túneis e Metrôs

  Sensores de inclinação monitoram a estabilidade de túneis, detectando movimentos que possam indicar riscos de colapso.

- Edifícios Altos

  Acelerômetros e inclinômetros monitoram oscilações e inclinações em arranha-céus, garantindo a segurança durante ventos fortes ou terremotos.

Transporte Inteligente

- Veículos Autônomos

  Acelerômetros monitoram a aceleração, frenagem e curvas de veículos autônomos, garantindo segurança e estabilidade.

  Inclinômetros ajudam a detectar a inclinação do veículo em terrenos irregulares, ajustando o sistema de suspensão para maior conforto.

- Transporte Público

  Sensores de inclinação em ônibus e trens monitoram a estabilidade dos veículos, prevenindo acidentes em curvas ou terrenos acidentados.

- Pavimentação de Vias

  Acelerômetros embutidos em vias públicas detectam vibrações causadas por veículos pesados, ajudando a identificar áreas que necessitam de manutenção.

Segurança Pública

- Detecção de Terremotos

  Acelerômetros são usados em sistemas de alerta precoce para detectar tremores e alertar a população antes que o terremoto atinja áreas urbanas.

- Monitoramento de Estruturas

  Sensores de inclinação em barragens, represas ou torres de transmissão detectam movimentos que possam indicar riscos de colapso.

- Proteção de Infraestruturas

  Acelerômetros monitoram vibrações em infraestruturas críticas, como usinas de energia ou estações de tratamento de água, detectando atividades suspeitas.

Edifícios Inteligentes

- Monitoramento Estrutural

  Acelerômetros e inclinômetros monitoram a integridade de vigas, pilares e fundações, detectando deformações ou riscos de colapso.

- Sistemas de Elevadores

  Sensores de inclinação garantem que os elevadores estejam nivelados corretamente, prevenindo acidentes e garantindo o conforto dos usuários.

- Fachadas Inteligentes

  Sensores de inclinação monitoram a estabilidade de fachadas de vidro ou painéis solares, detectando deformações causadas por ventos ou impactos.

Agricultura Urbana

- Monitoramento de Equipamentos

  Acelerômetros em tratores ou sistemas de irrigação ajudam a detectar falhas mecânicas, garantindo a eficiência das operações agrícolas.

- Estruturas de Estufas

  Sensores de inclinação monitoram a integridade de estruturas de estufas, garantindo que suportem cargas de vento, chuva ou neve.

Benefícios dos Acelerômetros e Inclinômetros em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção precoce de falhas em infraestruturas críticas, prevenindo acidentes e desastres.

- Eficiência Energética

  Otimização do desempenho de máquinas e equipamentos, reduzindo o consumo de energia.

- Sustentabilidade

  Redução de desperdícios e danos ambientais causados por falhas em sistemas urbanos.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Garantia de estruturas seguras e estáveis para os cidadãos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como terremotos ou deslizamentos.

Cidades que utilizam sensores de aceleração/inclinação

O Quadro 6.13 mostra cidades que já utilizam sensores de aceleração/inclinação para algumas destas aplicações.

Quadro 6.13 – Cidades que utilizam sensores de aceleração/inclinação

Cidade x Aplicação	Monitoramento de Infraestruturas Críticas	Transporte Inteligente	Segurança Pública	Edifícios Inteligentes
Singapura	x	x	x	x
Tóquio, Japão	x	x	x	x
Nova York, Estados Unidos	x	x	x	
Amsterdã, Holanda	x	x	x	
Copenhague, Dinamarca	x		x	
Melbourne, Austrália	x		x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x	x	x
Barcelona, Espanha	x	x	x	x
Buenos Aires, Argentina	x		x	x
Songdo, Coreia do Sul	x	x	x	x

Sensores de Visão Computacional

Os sensores de visão computacional (ou *machine vision*) são sistemas que utilizam câmeras, algoritmos de processamento de imagem e inteligência artificial para analisar e interpretar informações visuais. Em cidades inteligentes (*smart cities*), esses sensores têm uma ampla gama de aplicações, desde o monitoramento de tráfego até a segurança pública e a otimização de sistemas urbanos.

Aplicações de Sensores de Visão Computacional em Cidades Inteligentes

Mobilidade Urbana e Transporte Inteligente

- Monitoramento de Tráfego

  Com visão computacional analisam o fluxo de veículos, identificando congestionamentos, acidentes ou infrações de trânsito.

  Sistemas de reconhecimento de placas automáticas (ANPR) ajudam a fiscalizar o trânsito e a identificar veículos roubados.

- Semáforos Inteligentes

  Sensores de visão computacional ajustam os tempos dos semáforos com base no fluxo de veículos e pedestres, otimizando o tráfego e reduzindo congestionamentos.

- Estacionamentos Inteligentes

  Câmeras monitoram vagas de estacionamento, fornecendo informações em tempo real sobre a disponibilidade de espaços.

- Transporte Público

  Sensores de visão computacional monitoram a ocupação de ônibus e trens, ajudando a ajustar a frequência das viagens e garantir o distanciamento social.

Segurança Pública

- Vigilância Eletrônica

  Câmeras com visão computacional detectam atividades suspeitas, como intrusões, vandalismo ou aglomerações, alertando as autoridades em tempo real.

- Reconhecimento Facial

  Sistemas de reconhecimento facial ajudam a identificar criminosos procurados ou pessoas desaparecidas em áreas públicas.

- Detecção de Incidentes

  Sensores de visão computacional identificam acidentes, incêndios ou comportamentos anormais, acionando sistemas de emergência.

Gestão de Resíduos

- Lixeiras Inteligentes

  Câmeras monitoram o nível de resíduos em lixeiras públicas, alertando os serviços de coleta quando necessário.

- Classificação de Resíduos

  Sensores de visão computacional ajudam a separar resíduos recicláveis em estações de tratamento, aumentando a eficiência da reciclagem.

Edifícios Inteligentes

- Controle de Acesso

  Sistemas de reconhecimento facial ou de íris garantem que apenas pessoas autorizadas tenham acesso a áreas restritas.

- Monitoramento de Segurança

  Câmeras com visão computacional detectam intrusões ou atividades suspeitas em edifícios comerciais ou residenciais.

- Otimização de Espaços

  Sensores de visão computacional monitoram a ocupação de salas de reunião, escritórios ou áreas comuns, permitindo um uso mais eficiente dos espaços.

Agricultura Urbana

- Monitoramento de Plantas

  Câmeras com visão computacional analisam o crescimento e a saúde das plantas em estufas urbanas, identificando pragas ou doenças.

- Colheita Automatizada

  Sensores de visão computacional ajudam a identificar frutas ou vegetais maduros, automatizando o processo de colheita.

Saúde Pública

- Monitoramento de Epidemias

  Câmeras com visão computacional podem detectar aglomerações ou o uso inadequado de máscaras, ajudando a prevenir surtos de doenças.

- Assistência a Pessoas com Deficiência

  Sensores de visão computacional ajudam a guiar pessoas com deficiência visual em ambientes urbanos, identificando obstáculos e rotas seguras.

Benefícios dos Sensores de Visão Computacional em Cidades Inteligentes

- Segurança

  Detecção precoce de atividades suspeitas, acidentes ou emergências, aumentando a segurança pública.

- Eficiência

  Otimização de sistemas urbanos, como tráfego, estacionamentos e transporte público, reduzindo custos e tempo.

- Sustentabilidade

  Melhoria na gestão de resíduos e recursos, contribuindo para a sustentabilidade urbana.

- Conforto e Qualidade de Vida

  Automação de processos e garantia de espaços seguros e eficientes para os cidadãos.

- Resiliência

  Melhoria na capacidade da cidade de responder a eventos extremos, como desastres ou epidemias.

Cidades que utilizam sensores de visão computacional

O Quadro 6.14 mostra cidades que já utilizam sensores de visão computacional para algumas destas aplicações.

Quadro 6.14 – Cidades que utilizam sensores de visão computacional

Cidade / Aplicação	Mobilidade Urbana e Transporte Inteligente	Segurança Pública	Gestão de Resíduos	Edifícios Inteligentes	Agricultura Urbana
Singapura	x	x			
Londres, Reino Unido	x	x			
Nova York, Estados Unidos		x	x	x	
Tóquio, Japão	x	x		x	
Barcelona, Espanha	x	x			x
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x		x	
Melbourne, Austrália	x	x			x
Paris, França	x	x			
Copenhague, Dinamarca	x	x			
Songdo, Coreia do Sul	x	x		x	

Sensores de Luminosidade

Os sensores de luminosidade desempenham um papel crucial nas cidades inteligentes (*smart cities*), onde a eficiência energética, a segurança e a qualidade de vida são prioridades. Esses sensores são integrados a sistemas de iluminação pública, edifícios inteligentes e infraestruturas urbanas para monitorar e controlar a luz ambiente, garantindo um uso mais sustentável dos recursos e melhorando a experiência dos cidadãos.

Aplicações dos Sensores de Luminosidade em Cidades Inteligentes são:

Iluminação Pública Inteligente

- Controle Automático de Luminosidade

  Sensores ajustam a intensidade das luzes das ruas com base na luz natural disponível (ex.: luzes diminuem ao amanhecer e aumentam ao escurecer).

  Reduz o consumo de energia e prolonga a vida útil das lâmpadas.

- Iluminação sob Demanda

  Luzes só acendem quando detectam movimento (usando sensores de presença combinados com sensores de luminosidade).

  Ideal para áreas com baixo fluxo de pessoas à noite, como parques e estacionamentos.

Edifícios Inteligentes

- Ajuste de Iluminação Interna

  Sensores regulam a luz artificial com base na luz natural que entra pelas janelas, mantendo o conforto visual e economizando energia.

- Fachadas Dinâmicas

  Sistemas de iluminação em edifícios que mudam de cor ou intensidade com base na luminosidade externa ou em eventos especiais.

Segurança Pública

- Iluminação de Emergência

  Sensores detectam quedas de energia ou falhas no sistema de iluminação e ativam luzes de emergência automaticamente.

- Monitoramento de Áreas Públicas

  Câmeras de segurança com sensores de luminosidade ajustam a exposição para garantir imagens claras, mesmo à noite.

Gestão e Tráfego

- Semáforos Inteligentes

  Sensores de luminosidade ajudam a ajustar o brilho dos semáforos para melhor visibilidade durante o dia e a noite.

- Sinalização Viária

  Placas de trânsito com iluminação adaptativa que se ajustam às condições de luz.

Parques e Espaços Públicos

- Iluminação Sustentável

  Sensores controlam a iluminação de caminhos e áreas comuns, garantindo segurança sem desperdício de energia.

- Decoração e Eventos

  Sistemas de iluminação decorativa que respondem à luminosidade ambiente ou a comandos remotos.

Monitoramento Ambiental

- Qualidade da Iluminação

  Sensores medem a poluição luminosa e ajudam a criar políticas para reduzir o impacto ambiental.

- Integração com Energia Solar

  Sensores de luminosidade ajudam a otimizar o uso de painéis solares, ajustando a iluminação pública com base na energia gerada.

Benefícios dos Sensores de Luminosidade em Cidades Inteligentes

- Eficiência Energética

  Redução do consumo de energia elétrica através do controle inteligente da iluminação.

- Sustentabilidade

  Menor impacto ambiental devido à redução da poluição luminosa e do desperdício de energia.

- Segurança

  Melhoria da iluminação em áreas públicas, reduzindo acidentes e criminalidade.

- Conforto

  Iluminação adaptativa que melhora a qualidade de vida dos cidadãos.

- Custos Operacionais Reduzidos

  Menor necessidade de manutenção e substituição de lâmpadas devido ao uso mais eficiente.

Cidades que utilizam sensores de luminosidade

O Quadro 6.15 mostra cidades que utilizam sensores de luminosidade para algumas destas aplicações.

Quadro 6.15 – Cidades que utilizam sensores de luminosidade

Cidade x Aplicação	Iluminação Pública Inteligente	Edifícios Inteligentes	Segurança Pública	Gestão de Tráfego	Parques e espaços públicos	Monitoramento Ambiental
Barcelona, Espanha	x			x		x
Copenhague, Dinamarca	x					x
Singapura	x	x			x	
Los Angeles, Estados Unidos	x		x			
Amsterdam, Holanda	x	x		x		
Tóquio, Japão	x			x		x
Songdo, Coreia do Sul	x	x			x	
Melbourne, Austrália	x		x		x	
Dubai, Emirados Árabes Unidos	x	x				x
Buenos Aires, Argentina	x		x		x	

6.3 Sensores IoT aplicados à Sistemas Centralizados

o Quadro 6.16 traz resumo da utilização de sensores de IoT aplicados a sistemas centralizados nos setores de políticas públicas

Quadro 6.16 – Setores para aplicação de Sensores de IoT para políticas públicas

SEGURANÇA	TRANSPORTE	SAÚDE
■ Ambiente com câmeras para Monitoramento ■ Controle de perimetro através de sensores de movimento e ruído ■ Uniforme com câmeras de corpo integradas ■ Utilização de GPS para mapeamento geográfico de ocorrências e localização de veículos ■ Sistema de alarme associado a Sensores de abertura de portas e janelas	■ Utilização nas estradas e ruas de Sensores de movimento ■ Semáforos inteligentes ■ Câmeras monitorando vias ■ Estradas e ruas com Sistema de sinalização digital dinâmica ■ Automatização de Pedágio ■ Localização de frotas através de monitoramento por GPS ■ Controle de vagas de estacionamento	■ Trajetos otimizados para ambulâncias com auxílio de GPS ■ Terceira idade com monitoramento através de Pulseiras ■ Monitoramento de ambientes para detecção de quedas através de sensores de ruído ■ Geladeiras com monitoramento de temperatura para produtos médicos e vacinas ■ Sistema de alerta integrado com Sensores de fumaça, gases tóxicos e raios ultravioletas.
UTILITIES	**INFRAESTRUTURA URBANA**	**AMBIENTE**
■ Iluminação urbana automática através de Sensores ■ Smart grid (rede elétrica inteligente) ■ Consumo de energia com monitoramento individual automático ■ Controle de vazamento de água com sensores de pressão na tubulação ■ Monitoramento de consumo de água doméstico ■ Monitoramento de nível de água em reservatório e rios	■ Segurança de edifícios através de Sensores de movimento ■ Equipamentos elétricos e iluminação ambiente com controle remoto ■ Ambientes sensíveis como museus e bibliotecas com sensores de temperatura, fumaça e umidade. ■ Abertura de portas e janelas de edifícios através de sensores ■ Volume de resíduos para lixeiras públicas monitoradas por sensores	■ Sensores de ruído contra poluição sonora ■ Medidores de qualidade do ar (poluição ambiente e nível de CO2) ■ Sensores sismográficos de tremores e deslizamentos ■ Controle do nível do mar e qualidade da água ■ Controle de nível de água de rios e reservatórios ■ Controle de qualidade de água potável

Fonte: Adaptado de Bouskel[1].

Referências Bibliográficas

1. BOUSKELA, Maurício; CASSEB, Márcia; BASSI, Silvia; DE LUCA, Cristina; FACCHINA, Marcelo. **Caminho para as Smart Cities:** da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente. [*S. l.*]: BID, 2016. 148 p. Disponível em: https://publications.iadb.org/en/publications/portuguese/viewer/Caminho-para-as-smart-cities-Da-gest%C3%A3o-tradicional-para-a-cidade-inteligente.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.http://dx.doi.org/10.18235/0012831.

2. V2COM. **IoT e sensores inteligentes**: uma revolução nas cidades conectadas. 23 dez. 2023. Disponível em: https://v2com.com/2023/12/23/iot-sensores-inteligentes/. Acesso em: 24 fev. 2025.

3. QUÉLIN, Bertrand; SMADJA, Isaac. **Smart cities:** The sustainable program of six leading cities. Bouygues – HEC Paris Chair, 2021. Disponível em: https://hecparis.studit.fr/ebook-SmartCities/#page=1. Acesso em: 21 fev. 2025.

4. PAU, Giovanni; ARENA, Fabio. Smart city: The different uses of IoT sensors. **Journal of Sensor and Actuator Networks,** v. 11, n. 4, p. 58, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jsan11040058. Acesso em: 21 fev. 2025.

5. BAUER, Martin; SANCHEZ, Luis; SONG, JaeSeung. IoT-enabled smart cities: Evolution and outlook. **Sensors**, v. 21, n. 13, art. 4511, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/13/4511. Acesso em: 21 fev. 2025.

6. LEE, Sang Keon; KWON, Heeseo Rain; CHO, HeeAh; KIM, Jongbok; LEE, Donju. **International case studies of smart cities:** Songdo, Republic of Korea. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank, Institutions for Development Sector, Fiscal and Municipal Management Division, 2016. (IDB-DP-463).

7. THALES GROUP. **Singapore:** The world's smartest city. [*S.l.*]: Thales Group, 2023. Disponível em: https://www.thalesgroup.com/en/worldwide-digital-identity-and-security/iot/magazine/singapore-worlds-smartest-city. Acesso em: 21 fev. 2025.

8. INTERACT LIGHTING. **Pilotos de Los Angeles - aplicativos em evolução para cidades inteligentes**. Disponível em: https://www.interact-lighting.com/pt-br/customer-stories/los-angeles. Acesso em: 21 fev. 2025.

9. IOTRIX. **Internet das Coisas e as Cidades Inteligentes**. 2 fev. 2017. Disponível em: http://iotrix.com/2017/02/02/internet--das-coisas-e-as-cidades-inteligentes/. Acesso em: 21 fev. 2025.

10. IBM. **O que é uma cidade inteligente?.** Disponível em: https://www.ibm.com/br-pt/topics/smart-city. Acesso em: 21 fev. 2025.

11. SMITH, Lisa. Amsterdam Smart City: A World Leader in Smart City Development. **Blog,** 14 Nov. 2022. Disponível em: https://www.beesmart.city/en/smart-city-blog/smart-city-portrait-amsterdam. Acesso em: 21 fev. 2025.

12. ABREU, Leandro. Sensores IoT: entenda o que são e como funcionam. **Blog**, 26 abr. 2022. Disponível em: https://rockcontent.com/br/blog/sensores-iot/. Acesso em: 25 fev. 2025.

13. OONDER. **Smart city – cidade inteligente**. Disponível em: https://oonder.com.br/smart-city-cidades-inteligentes. Acesso em: 25 fev. 2025.

14. LAI, Olivia. How New York Smart City Projects are Leading the Way. **Earth Org,** 9 Mar. 2022. Disponível em: https://earth.org/new-york-smart-city/#:~:text=The%20programme%20has%20helped%20lower,and%20advanced%20air%20quality%20monitoring. Acesso em: 09 abr. 2025.

15. THALES GROUP. **Cingapura como uma cidade inteligente**. 2023. Disponível em: https://www-thalesgroup-com.translate.goog/en/worldwide-digital-identity-and-security/iot/magazine/singapore-worlds-smartest-city?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=Cingapura%20como%20uma%20cidade%20inteligente,Vamos%20come%C3%A7ar. Acesso em: 09 abr. 2025.

16. BISWAS, Asit K.; YEO, William. **Usando a era digital para gerenciar a água de Cingapura**. 18 May 2022. (Tradução em português no site Third World Centre For Water Management). Disponível em: https://thirdworldcentre.org/2022/05/usando-a-era-digital-para-gerenciar-a-agua-de-cingapura/#:~:text=Isso%20complementa%20e%20aprimora%20as,litros%20por%20pessoa%20por%20dia. Acesso em: 09 abr. 2025.

17. TECMUNDO. **Cidades inteligentes**: 9 lugares do mundo que são referência. Disponível em: https://www.tecmundo.com.br/mercado/400208-cidades-inteligentes-9-lugares-do-mundo-que-sao-referencia.htm#:~:text=1.,uma%20gest%C3%A3o%20urbana%20altamente%20eficiente. Acesso em: 09 abr. 2025.

18. BRCAPTURA. **A chave para cidades inteligentes:** conectividade, IoT e gestão de recursos. 2024. Disponível em: https://brcaptura.com.br/blog/a-chave-para-cidades-inteligentes-conectividade-iot-e-gestao-de-recursos/#:~:text=Exemplos%20de%20cidades%20inteligentes:&text=Singapura%20tem%20investido%20pesadamente%20em,capacidade%20de%20resposta%20a%20emerg%C3%AAncias. Acesso em: 09 abr. 2025.

19. CABURN TELECOM. **Especialistas em conectividade crítica de IoT**. Disponível em: https://caburntelecom-com.translate.goog/iot-in-singapore/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=Cingapura%20implementou%20solu%C3%A7%C3%B5es%20de%20IoT,de%20suprimentos%20e%20muito%20mais. Acesso em: 09 abr. 2025.

20. BURBANO, Lucía. Como a tecnologia está sendo usada para otimizar aterros sanitários urbanos e reduzir emissões. **Tomorrow City,** 19 mar. 2025.Disponível em: https://www-tomorrow-city.translate.goog/how-technology-optimizes-landfills-and-cuts-emissions/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge&_x_tr_hist=true. Acesso em: 09 abr. 2025.

21. BURBANO, Lucía. Como Seul está lutando para melhorar a qualidade do ar. **Tomorrow City,** 10 abr. 2024. Disponível em: https://www-tomorrow-city.translate.goog/seoul-air-quality-improvement/?utm_source=webscewc&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge&_x_tr_hist=true. Acesso em: 09 abr. 2025.

22. ANGRY NERDS. **O futuro da Internet das Coisas em cidades inteligentes:** estudo de caso de Barcelona. 2023. Disponível em: https://angrynerds-co.translate.goog/blog/the-future-of-internet-of-things-in-smart-cities-barcelona-case-study/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=A%20plataforma%20Sentilo%20em%20Barcelona,fornecem%20informa%C3%A7%C3%B5es%20em%20tempo%20real. Acesso em: 09 abr. 2025.

23. IOT MADLAB. *Âmbitos de aplicação de* **IoT em cidades inteligentes**. Disponível em: https://iotmadlab.es/ambitos/. Acesso em: 11 abr. 2025.

24. NEW YORK (City). **IoT Strategy:** The New York City Internet of Things Strategy. 2021. 78 p. Disponível em: https://www.nyc.gov/assets/cto/downloads/iot-strategy/nyc_iot_strategy.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

25. CLOUD.STUDIO. **Japan's incredible example of a Smart City that could come to Spain.** Disponível em: https://www.cloud.studio/smart-cities-japan-piezoelectric-iot/. Acesso em: 11 abr. 2025.

26. CONNECTCX. **IoT for smart cities in Japan**. 2024. Disponível em: https://connectcx.ai/iot-for-smart-cities-in-japan/. Acesso em: 11 abr. 2025.

27. CITY OF MELBOURNE. **Melbourne as a Smart City.** Disponível em: https://www.melbourne.vic.gov.au/melbourne-smart-city. Acesso em: 11 abr. 2025.

28. SMART PARKING SYSTEMS. **Sensores NB-IoT no Dubai**. Disponível em: https://smartparkingsystems.com/pt-br/sensores--nb-iot-no-dubai/. Acesso em: 11 abr. 2025.

29. STATE OF GREEN. **Copenhagen Getting a Smart City Lab**. Disponível em: https://stateofgreen.com/en/news/copenhagen-getting-a-smart-city-lab/. Acesso em: 11 abr. 2025.

30. SENSONEO. **Reference:** One of the largest smart waste deployments in South America in Buenos Aires. Disponível em: https://sensoneo.com/reference/smart-waste-deployments-south-america/. Acesso em: 11 abr. 2025.

31. CLOUD.STUDIO. **IoT and Smart lightning:** Illuminating our urban future – Buenos Aires smart street lightning. Disponível em: https://www.cloud.studio/smart-lightning-buenos-aires/. Acesso em: 11 abr. 2025.

32. AMSTERDAM SMART CITY. **Página oficial da iniciativa Amsterdam Smart City**. Disponível em: https://amsterdamsmartcity.com/. Acesso em: 11 abr. 2025.

33. GOVTECH SINGAPORE. **Smart cities around the world:** Amsterdam Edition. 2021. Disponível em: https://www.tech.gov.sg/media/technews/smart-cities-around-the-world-amsterdam/. Acesso em: 11 abr. 2025.

34. WRAY, Sarah. Amsterdam introduces mandatory register for sensors. **Cities Today**, 08 Dec. 2021. Disponível em: https://cities-today.com/amsterdam-introduces-mandatory-register-for-sensors/. Acesso em: 11 abr. 2025.

7 Segurança de Dados e Privacidade

A segurança de dados em cidades inteligentes é uma das questões mais críticas para garantir a proteção das informações pessoais dos cidadãos e a integridade das operações e serviços urbanos. As cidades inteligentes utilizam uma rede interconectada de sensores, dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e sistemas de monitoramento para otimizar processos urbanos. No entanto, essa integração de tecnologias também implica riscos consideráveis em termos de privacidade, vulnerabilidades cibernéticas e proteção de dados.

A segurança de dados em cidades inteligentes é um desafio multifacetado que exige uma abordagem integrada, com foco na implementação de tecnologias de segurança, políticas de privacidade rigorosas e um planejamento estratégico para prevenir e mitigar riscos. À medida que as cidades se tornam mais conectadas e digitalizadas, garantir a proteção dos dados se tornará ainda mais crucial para manter a confiança pública e a eficiência dos serviços urbanos.

7.1 Proteção de Dados Pessoais

A proteção de dados pessoais em cidades inteligentes é fundamental e um dos maiores desafios. Essas cidades utilizam tecnologias conectadas para melhorar a eficiência e qualidade dos serviços urbanos, as quais coletam e processam grandes volumes de dados sobre os cidadãos, incluindo informações sensíveis, como localizações, comportamentos, hábitos de consumo e interações sociais. A proteção desses dados é essencial para garantir a privacidade dos indivíduos e a segurança das informações, além de prevenir abusos e ataques cibernéticos.

À medida que as cidades evoluem e se tornam mais conectadas, é fundamental que as políticas de proteção de dados sejam desenvolvidas de forma integrada com as tecnologias utilizadas. Garantir que os dados sejam tratados de maneira ética e segura é essencial para o sucesso das cidades inteligentes, promovendo um ambiente urbano mais eficiente, transparente e respeitador da privacidade.

Três são os conceitos fundamentais de segurança da informação, mostrando como tratar dados pessoais de forma responsável e em conformidade com a legislação vigente.

Anonimização

A anonimização é a forma de desfazer a identidade de uma informação. Quando se aplica esse processo, os dados pessoais (como nome, CPF, endereço, etc.) são transformados ou removidos de tal forma que ninguém consegue mais associá-los a uma pessoa específica. Por exemplo, se um banco de

dados tiver os nomes e documentos apagados ou trocados por dados genéricos, mesmo que alguém o acesse, não será possível saber de quem são aquelas informações.

A anonimização é uma das formas mais seguras de proteger a privacidade, pois mesmo que esses dados vazem ou sejam usados para pesquisa, não representam risco direto para os indivíduos.

Pseudonimização

Já a pseudonimização é um meio-termo. Os dados pessoais são substituídos por códigos, apelidos ou números aleatórios (pseudônimos). A informação original fica protegida, mas existe uma "chave de ligação" guardada em um local seguro que, se necessário e autorizado, permite recuperar a identificação da pessoa.

Exemplo dessa aplicação é em uma pesquisa médica, onde ao invés do nome completo, cada paciente recebe um código (Paciente 001, Paciente 002, ...), o que permite a análise dos dados sem expor diretamente quem são as pessoas. Esta forma de proteção de dados é muito usada em ambientes que precisam conciliar privacidade e rastreabilidade.

Transparência

A transparência, conforme previsto na Lei n° 12.527/2011 (ver Anexo A, tabela A.1.1). Essa Lei de Acesso à Informação (LAI) garante que qualquer cidadão tenha o direito de solicitar e obter informações públicas de órgãos e entidades do governo e saber como seus dados estão sendo usados, por quem e para qual finalidade. Órgãos públicos e, em alguns casos, empresas devem ser claros sobre as práticas de coleta, armazenamento e uso de dados.

A pessoa tem o direito de perguntar, por exemplo: "Que informações minhas vocês possuem? Para que estão sendo usadas? Com quem foram compartilhadas?". Esse princípio visa dar mais controle ao cidadão sobre suas próprias informações.

7.2 Legislação Brasileira

A legislação brasileira estabelece as bases para o tratamento seguro de dados pessoais e para a proteção da infraestrutura tecnológica dos municípios. Cumprir essas leis é obrigatório para evitar riscos jurídicos e garantir a confiança da população.

O quadro 7.1 resume as principais normas que prefeituras e órgãos públicos precisam conhecer e seguir ao implementar projetos de cidades inteligentes.

Quadro 7.1 – Principais documentos legais sobre segurança e privacidade de dados

Documento legal	Descrição
Lei geral da Proteção de Dados Pessoais (LGPD) Lei nº 13.709/2018 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Regula o tratamento de dados pessoais, garantindo liberdade e privacidade dos cidadãos. Define princípios para coleta, armazenamento e uso de dados, exige consentimento e prevê penalidades. Cria a ANPD (Autoridade Nacional de Proteção de Dados) como órgão fiscalizador.
Marco Civil da Internet Lei nº 12.965/2014 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Define direitos e deveres no uso da internet no Brasil, garantindo privacidade, inviolabilidade das comunicações e proteção de dados. Reforça a necessidade de consentimento para uso de informações pessoais.
Estratégia Nacional de Segurança Decreto 10.222/2020 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Institui a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética (E-Ciber), com diretrizes para prevenção, detecção e resposta a incidentes cibernéticos em serviços públicos e privados.

Quadro 7.1 – Principais documentos legais sobre segurança e privacidade de dados (continuação)

Documento legal	Descrição
Lei de Licitações e Contratos Lei nº 14.133/2021 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Exige que órgãos públicos e contratados adotem políticas de segurança da informação para proteção de dados e prevenção de vazamentos.
Lei Carolina Dieckmann Lei nº 12.737/2012 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Altera o Código Penal para tipificar como crime a invasão de dispositivos informáticos para obtenção, adulteração ou destruição de dados sem autorização.
Resolução do Banco Central CMN nº 4.893/2021 (ver Anexo A, tabela A.1.1)	Dispõe sobre a política de segurança cibernética e sobre os requisitos para a contratação de serviços de processamento e armazenamento de dados e de computação em nuvem a serem observados pelas instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil.
Resoluções da ANATEL	A ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) define padrões técnicos para proteção de dados e segurança das redes de telecomunicações[1, 2, 3]. Por outro lado, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamenta a segurança cibernética das redes de energia elétrica para proteger a infraestrutura crítica.

7.3 Segurança Cibernética E Infraestrutura

As cidades modernas dependem de sistemas digitais para operar serviços essenciais, que precisam ser protegidos contra os ataques e falhas.

A segurança cibernética na infraestrutura de uma cidade inteligente é um desafio complexo, mas fundamental para garantir a continuidade dos serviços urbanos, proteger os dados dos cidadãos e assegurar a confiança da sociedade nas tecnologias que tornam as cidades mais eficientes. Pode ser dizer que cidades inteligentes têm inerentes as seguintes questões:

- **Vulnerabilidades devido à própria conectividade:** a interconexão de dispositivos e sistemas cria pontos de vulnerabilidade. Se uma rede ou sistema for comprometido, isso pode afetar toda a cidade;
- **Escalabilidade e complexidade:** à medida que as cidades se tornam mais conectadas e mais dispositivos são implantados, a complexidade da infraestrutura cibernética aumenta;
- **Falta de padrões comuns:** a diversidade de tecnologias e fornecedores envolvidos no desenvolvimento de cidades inteligentes torna mais difícil a implementação de uma segurança cibernética uniforme, pois a falta de padrões comuns de segurança entre os diferentes sistemas pode criar brechas de segurança;
- **Ataques a infraestruturas críticas:** cidades inteligentes dependem fortemente de infraestruturas críticas como energia, transporte e saúde, que podem se tornar alvos de ataques cibernéticos. Ataques a essas infraestruturas podem ter consequências devastadoras, como interrupções de serviços essenciais, danos econômicos e riscos à segurança pública.

A proteção contra os ataques cibernéticos deve ser integrada ao planejamento e operação da cidade, e deve contar com tecnologias avançadas, políticas robustas e uma cultura de conscientização e prevenção.

O Quadro 7.2 apresenta as estratégias práticas que ajudam os gestores a manter a integridade e a disponibilidade das infraestruturas críticas municipais [4, 5].

Figura 7.1 – Estratégias de cibersegurança para infraestrutura crítica

SEGMENTAÇÃO DE REDE

Consiste em dividir a rede de computadores em partes menores e separadas. Isso impede que, caso uma parte da rede seja invadida, o atacante consiga acessar diretamente outras áreas mais sensíveis, como servidores ou sistemas financeiros. É como colocar portas e paredes de segurança dentro de uma casa para proteger os cômodos mais valiosos.

MONITORAMENTO CONTÍNUO

É o uso de sistemas que vigiam a rede o tempo todo para identificar atividades fora do normal, como tentativas de invasão, movimentação de dados suspeita ou softwares maliciosos. Isso permite que ameaças sejam detectadas e tratadas rapidamente, antes que causem danos maiores.

GESTÃO DE VULNERABILIDADE

É o processo de verificar regularmente todos os sistemas e equipamentos para encontrar falhas ou erros que possam ser explorados por hackers. Ao localizar essas "brechas", a equipe de segurança consegue corrigi-las antes que sejam usadas em ataques.

AUTENTICAÇÃO FORTE

Vai além de apenas pedir uma senha. Ela combina dois ou mais métodos para confirmar a identidade de quem tenta acessar um sistema, como senha + código enviado ao celular ou senha + impressão digital. Isso torna muito mais difícil para pessoas não autorizadas conseguirem acesso.

CRIPTOGRAFIA

É uma técnica que transforma as informações em códigos embaralhados, que só podem ser lidos por quem tiver a "chave" certa. Mesmo que os dados sejam interceptados durante a transmissão ou armazenados indevidamente, eles ficarão ilegíveis para quem não tiver autorização.

CERTIFICAÇÃO DIGITAL

Funciona como um documento de identidade eletrônico. Garante que uma mensagem, um site, um dispositivo ou um documento digital realmente vêm da fonte correta e não foram alterados. É muito usado em transações online e assinaturas digitais para garantir confiança e autenticidade.

Segurança dos Dispositivos IoT

Com o aumento do uso de dispositivos conectados (sensores, câmeras, termostatos), cresce também o desafio de proteger esses equipamentos contra vulnerabilidades e invasões.

A seguir, práticas de segurança desde a concepção dos projetos, para garantir que a Internet das Coisas seja utilizada de forma segura nas cidades [5, 6].

Security by Design

É o princípio de pensar na segurança desde o início do desenvolvimento de um sistema, produto ou serviço. Em vez de adicionar proteções depois que o sistema já está pronto, elas são planejadas e implementadas desde a primeira etapa do projeto, tornando o sistema mais seguro por natureza.

Gestão de identidade e acesso

Garante que somente pessoas, dispositivos ou sistemas autorizados possam acessar dados ou recursos específicos. Funciona como uma lista de convidados em uma festa: só entra quem estiver autorizado. Isso ajuda a evitar acessos indevidos e protege informações importantes.

Atualizações automáticas

Sistemas e dispositivos recebem correções de segurança e melhorias de forma automática, sem depender do usuário. Isso é essencial para fechar rapidamente falhas descobertas e evitar que elas sejam usadas em ataques.

Desativação segura

Antes de descartar ou vender equipamentos como computadores, celulares ou servidores, é necessário apagar completamente os dados armazenados neles. A desativação segura garante que essas informações não possam ser recuperadas ou usadas por terceiros.

O Decreto nº 9.854/2019 (ver Anexo A, Tabela A1.1), estabelece diretrizes para o desenvolvimento seguro da Internet das Coisas (IoT) no Brasil. O objetivo é incentivar o uso da tecnologia de forma segura, eficiente e responsável, especialmente em áreas como saúde, agricultura, cidades inteligentes e indústria.

Testes de Conformidade

Testar sistemas e equipamentos regularmente é fundamental para encontrar falhas de segurança antes que elas sejam exploradas por atacantes. A conformidade com padrões técnicos reconhecidos fortalece a credibilidade das soluções adotadas [8, 9,10].

A seguir são destacados os principais testes e normas que as cidades devem adotar, para avaliar e manter a segurança dos seus serviços e plataformas digitais. É uma lista das falhas de segurança mais comuns em aplicações web, como sites e sistemas online. A lista serve como referência mundial para ajudar desenvolvedores e empresas a protegerem seus sistemas contra os ataques [11, 13, 14].

- **OWASP IoT Top 10**

  Relaciona os 10 maiores riscos de segurança encontrados em dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT), como câmeras, sensores e eletrodomésticos inteligentes. A lista orienta fabricantes e usuários a evitarem essas falhas e protegerem melhor os equipamentos [12].

- **ABNT NBR ISO/IEC 27001**

  Norma internacional, internalizada no Brasil, que define requisitos para a criação, implementação e manutenção de um sistema de gestão de segurança da informação. Ela ajuda organizações a proteger dados confidenciais de forma estruturada e contínua[4].

- **ISO/IEC 27034**

  Norma internacional, internalizada no Brasil, que fornece orientações para garantir a segurança durante todo o processo de desenvolvimento de softwares e aplicações, desde a concepção até o lançamento do produto **5.**

- **IEC TS 62443**

  Norma internacional, internalizada no Brasil, que especifica requisitos de segurança para sistemas de automação e controle industrial, como aqueles usados em fábricas, usinas e infraestrutura crítica. O objetivo é proteger esses sistemas contra os ataques cibernéticos e falhas operacionais [6].

- **NIST SP 800-115 e NIST SP 800--83**

  Publicação do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), dos Estados Unidos, que fornece diretrizes sobre como planejar e executar testes de segurança em redes, sistemas e aplicativos para identificar vulnerabilidades e corrigi-las antes que possam ser exploradas [9, 10].

As redes que conectam os sistemas públicos são alvos frequentes de ataques. Por isso, testá-las de forma planejada é essencial para garantir sua proteção e funcionamento contínuo, empregando boas práticas para avaliar a segurança, tais como as descritas a seguir.

- **Segmentação de redes críticas:**

  Consiste em isolar os sistemas mais importantes (como controle de energia, água ou telecomunicações) de outras redes menos seguras. Isso reduz o risco de que um ataque a uma parte da rede comprometa áreas essenciais para o funcionamento da cidade.

- **Testes contra DDoS**

  São simulações feitas para verificar se os sistemas conseguem resistir a ataques de negação de serviço (DDoS), nos quais criminosos tentam sobrecarregar servidores para que fiquem indisponíveis. O objetivo é garantir que os serviços continuem funcionando mesmo sob tentativa de interrupção.

- **Conformidade com normas ANEEL e ANATEL**

  Assegura que as empresas de energia (reguladas pela ANEEL) e de telecomunicações (reguladas pela ANATEL) cumpram regras e padrões técnicos exigidos para garantir a segurança, confiabilidade e continuidade dos serviços essenciais à população.

- **Backups e recuperação (ABNT NBR ISO 22301)**

  Refere-se ao processo de realizar cópias de segurança dos dados e sistemas importantes e definir um plano para restaurá-los rapidamente em caso de falhas, desastres ou ataques. A norma ABNT ISO 22301 orienta como manter a continuidade dos negócios e serviços críticos mesmo em emergências [7].

Testes Contínuos e Monitoramento

As redes que conectam os sistemas públicos são alvos frequentes de ataques. Por isso, testá-las de forma planejada é essencial para garantir sua proteção e funcionamento contínuo. A seguir algumas sugestões.

- **tcpdump, Wireshark**

  São ferramentas que permitem capturar e analisar os dados que trafegam em uma rede de computadores. Isso ajuda a entender o comportamento da rede e a detectar atividades suspeitas, como tentativas de invasão ou vazamento de informações [15, 16].

- **IDS/IPS**

  IDS (Sistema de Detecção de Intrusão) e IPS (Sistema de Prevenção de Intrusão) são sistemas que monitoram o tráfego da rede em tempo real para identificar e bloquear acessos não autorizados. Snort e Suricata são exemplos bastante utilizados dessas tecnologias.

- **ELK Stack, NetFlow Analyzer**

  Soluções que coletam, organizam e analisam grandes volumes de dados e eventos gerados em sistemas e redes. São úteis para identificar comportamentos anormais ou indícios de ataques cibernéticos, facilitando a tomada de decisão rápida pelos responsáveis pela segurança [17].

- **Nessus, OpenVAS**

  Ferramentas que realizam varreduras automatizada em redes e sistemas para identificar possíveis vulnerabilidades, ou seja, pontos fracos que poderiam ser explorados por atacantes. Permitem corrigir problemas antes que eles sejam usados em ataques[18].

- **Parcerias com entidades de pesquisa**

  A colaboração com entidades de pesquisa como, por exemplo, universidades (no Estado de São Paulo USP e Unicamp) fortalece o desenvolvimento de soluções e capacitações na área de segurança digital e infraestrutura crítica.

Importância da Conscientização e Colaboração

A segurança de cidades inteligentes depende da capacitação de servidores municipais em boas práticas de cibersegurança e proteção de dados. Programas educativos devem ensinar os cidadãos a proteger suas informações e reconhecer riscos digitais.

A colaboração entre cidades, como na Comunidade de TICs da Plataforma GestGov, e a adoção do padrão ePING (Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico), promovem integração segura de sistemas públicos, aumentando a resiliência e confiança da população.

Referências Bibliograficas

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 964, de 14 de dezembro de 2021.** Dispõe sobre a política de segurança cibernética a ser adotada pelos agentes do setor de energia elétrica, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-964-de-14-de-dezembro-%20de-2021-369359262. Acesso em: 31 mar. 2025.

2. ANATEL. **Resolução nº 740, de 1º de março de 2021**. Altera o Regulamento sobre Condições de Uso da Faixa de Radiofrequências de 3,5 GHz e aprova o Regulamento sobre Condições de Uso da Faixa de Radiofrequências de 24,25 GHz a 27,90 GHz, 2021. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1497-resolucao-740, Acesso em: 31 mar. 2025.

3. ANATEL. **Ato nº 77, de 23 de fevereiro de 2023.** Requisitos de Segurança Cibernética para Equipamentos para Telecomunicações, 2023. Disponível em: https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/index.php/component/content/article?id=1505. Acesso em: 31 mar. 2025.

4. ABNT. **ABNT ISO/IEC 27001:2022**. Versão corrigida 2023. Segurança da informação, segurança cibernética e proteção à privacidade -Sistemas de gestão de segurança da informação — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

5. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. International Electrotechnical Commission. **ISO/IEC 27034-1:2011**. Tecnologia da informação – Técnicas de segurança – Segurança de aplicações – Parte 1: Visão geral e conceitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011

6. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC TS 6244315:2023**. Security for industrial automation and control systems – Part 15: Scheme for IEC 62443 security profiles. Geneve: IEC, 2023.

7. ABNT. **ABNT ISO 22301:2020**. Segurança e resiliência — Sistemas de gestão de continuidade de negócios — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

8. CENTER FOR INTERNET SECURITY. **CIS Controls v8**: guidelines for cybersecurity best practices. Albany: CIS, 2021.

9. INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **SP 800-115:** technical guide to information security testing and assessment. Gaithersburg: NIST, 2008.

10. INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **SP 800-83**: guide to malware incident prevention and handling. Gaithersburg: NIST, 2013.

11. OPEN WORLDWIDE APPLICATION SECURITY PROJECT (OWASP). OWASP Top 10 – 2025: the ten most critical security risks to web applications. Belgium: OWASP, 2025.

12. OPEN WORLDWIDE APPLICATION SECURITY PROJECT (OWASP). OWASP IoT Top 10 – 2025: the top security issues with Internet of Things devices. Belgium: OWASP, 2025.

13. OPEN WORLDWIDE APPLICATION SECURITY PROJECT (OWASP). OWASP ASVS – Application Security Verification Standard: version 2021. Belgium: OWASP, 2021.

14. OPEN WORLDWIDE APPLICATION SECURITY PROJECT (OWASP). OWASP API Security Project – 2024: best practices for securing APIs. Belgium: OWASP, 2024.

15. WIRESHARK FOUNDATION. **Wireshark:** program. 2024. Disponível em: https://gitlab.com/wireshark/wireshark/. Acesso em: 10 maio 2025.

16. TCPDUMP GROUP. **Tcpdump & Libpcap Welcome.** 2025. Disponível em: https://www.tcpdump.org/. Acesso em: 10 maio 2025.

17. SOLARWINDS. **NetFlow Analyzer.** 2025. Disponível em: https://www.solarwinds.com/netflow-traffic-analyzer. Acesso em: 10 maio 2025.

18. FREE SOFTWARE FOUNDATION. GNU PROJECT. **GNU General Public License (GPL), version 3.** Boston: FSF, 2022.

8 A Conectividade como Meio

A conectividade é a espinha dorsal das cidades inteligentes. Sem ela, não há integração entre os elementos que compõem a vida urbana digital. Como visto ao longo deste caderno, a conectividade permeia desde a infraestrutura de sensores e dispositivos até a articulação entre sistemas de gestão urbana, segurança pública, saúde, mobilidade, meio ambiente e participação cidadã.

Para que essa conectividade funcione de forma plena, é necessário ir além da simples presença de redes e dispositivos conectados. A eficiência e a confiabilidade dos serviços urbanos inteligentes dependem da qualidade da infraestrutura de comunicação, da interoperabilidade entre sistemas, da regulação adequada, da segurança de dados e da capacidade de processamento e análise das informações em tempo real.

Em um cenário ideal, a conectividade não apenas conecta máquinas, mas possibilita decisões automatizadas e humanas com base em dados atualizados, consistentes e contextualizados. Como se demonstrou nos capítulos anteriores, diferentes tecnologias — como NB-IoT, 5G, LoRaWAN, *Wi-Fi* e Zigbee — atendem a diferentes finalidades, e sua adoção deve considerar o tipo de aplicação, a densidade urbana, o alcance necessário, o custo de operação e a sustentabilidade da solução.

Outro aspecto fundamental para o sucesso da conectividade urbana é a interoperabilidade. A ausência de integração entre plataformas, sensores e sistemas pode gerar redundâncias, ineficiências e desperdício de recursos. Por isso, é essencial o uso de padrões abertos, planejamento sistêmico e a adoção de um Plano Diretor de Tecnologia para a cidade, como sugerido no capítulo 5. Essa abordagem integrada permite que a cidade evolua de forma orgânica, sem que novos sistemas entrem em conflito com os já existentes.

Do ponto de vista regulatório, a conectividade também exige uma governança moderna e eficaz. O capítulo 6 destacou como legislações municipais ultrapassadas podem representar entraves à instalação de infraestrutura essencial para novas redes móveis e serviços digitais. Modernizar a legislação, harmonizá-la com os marcos federais e reduzir a burocracia são medidas indispensáveis para garantir o avanço da transformação digital nos municípios.

Além da infraestrutura física e legal, a conectividade eficaz em cidades inteligentes depende da segurança cibernética. Com o grande volume de dados pessoais, sensíveis e operacionais sendo trafegado

pelas redes urbanas, a proteção contra invasões, vazamentos, adulterações e usos indevidos se torna uma prioridade. Foram apresentados neste Caderno Técnico Conectividade os principais marcos legais e boas práticas para mitigar riscos, reforçando a necessidade de protocolos robustos, segmentação de redes, testes de conformidade e formação de equipes capacitadas.

Do ponto de vista prático, os sensores e a telemetria demonstram como a conectividade se materializa em serviços mais eficazes, como o controle de iluminação pública, monitoramento da qualidade do ar, detecção de enchentes, regulação do trânsito em tempo real e gestão de resíduos inteligentes. Esses sistemas dependem de comunicação contínua, confiável e segura entre dispositivos e plataformas de análise, o que reforça a importância da conectividade como recurso estratégico.

Por fim, cabe destacar que conectividade não é um fim em si, mas um meio para alcançar cidades mais inteligentes, resilientes, inclusivas, sustentáveis e humanas. Sua função é possibilitar o acesso universal a serviços, promover a eficiência da gestão pública, reduzir desigualdades e ampliar a participação cidadã. É nesse sentido que a conectividade deve ser planejada, executada e monitorada.

ANEXOS

ANEXO A

Documentos Legais e Normas Técnicas

A.1 Documentos Legais

O ordenamento jurídico tem por finalidade regulamentar as relações sociais para garantir a paz e a segurança jurídica de um país. No Brasil é caracterizado como um conjunto de normas jurídicas escritas e interdependentes, que segue predominantemente o Sistema "Civil Law" (sistema jurídico que se baseia na lei escrita também conhecida como sistema romano-germânico ou direito continental), dispostas hierarquicamente com obediência ao princípio da supremacia constitucional.

Desta forma, a hierarquia das leis brasileiras está organizada de acordo com a "Pirâmide de Kensel" (representação gráfica do sistema hierárquico de um Estado, criada pelo jurista e filósofo austríaco Hans Kelsen) tendo como base a teoria do direito constitucional, em que as de menor grau obedecem às normas de maior grau, iniciando a pirâmide pelo topo com a Carta Magna, assim disposta.

Normas Constitucionais

Constituição Federal de 1988

No topo do ordenamento jurídico brasileiro estão a Constituição e todas as suas emendas, que servem de parâmetro de validade a todas as demais espécies normativas. Entre as normas constitucionais tem-se: (a) as **normas constitucionais originárias** (elaboradas pelo Poder Constituinte Originário, ou seja, poder que desenvolve uma nova constituição; (b) as **normas constitucionais derivadas** (emendas que foram adicionadas à Constituição Federal posteriormente à sua promulgação pelo Poder Constituinte Derivado, ou seja, poder que altera a Constituição).

Tratados Internacionais de Direitos Humanos

Os tratados internacionais de direitos humanos aprovados por meio do rito ordinário são nomeados supralegais, isto é, ficam abaixo da Constituição e de suas emendas e acima das demais normas legais. Porém, já são considerados infraconstitucionais.

Normas Infraconstitucionais

Abaixo dos tratados internacionais de direitos humanos estão situadas as normas infraconstitucionais. São elas: as leis (complementares, ordinárias e delegadas), as medidas provisórias, os decretos legislativos, as resoluções e os tratados internacionais de direitos humanos aprovados por meio do rito ordinário.

Leis Complementares

São aquelas regulamentadas com a intenção de complementar e explicar a Constituição por exigência da mesma, ou seja, em casos onde a Constituição Federal estabelecer que haja uma lei específica para regulamentar a matéria em questão, é criada uma lei complementar.

Leis Ordinárias

São normas jurídicas que tratam de assuntos de competência do Estado, como direitos e deveres dos cidadãos, organização dos poderes, e políticas públicas. As leis ordinárias têm a função de complementar as normas constitucionais que não foram tratadas pelas leis complementares.

Leis Delegada

São normas jurídicas elaboradas pelo Poder Executivo, com autorização do Poder Legislativo, que permite ao Executivo legislar sobre determinados assuntos.

Medidas Provisórias

Editadas pelo Poder Executivo em casos de relevância e urgência, com prazo para conversão em lei pelo Congresso Nacional.

Normas Infralegais

As normas infralegais são regulamentos, decretos, portarias, resoluções e instruções normativas editadas por órgãos administrativos para detalhar e facilitar a aplicação das leis infraconstitucionais. Essas normas não podem criar obrigações novas ou ir além do escopo das leis que as autorizam, servindo principalmente para organizar a administração pública e assegurar que a lei seja implementada corretamente. Tem-se:

Decretos

Emitidos pelo Presidente da República, governadores de estado e prefeitos. Esses decretos são instrumentos normativos utilizados para regulamentar leis federais, estaduais ou municipais e organizar a administração pública.

Portarias

Atos normativos editados por uma ou mais autoridades singulares, por meio das quais são expedidas instruções sobre organização e funcionamento de serviços e outros atos de sua competência.

Resoluções

São atos normativos editados por colegiados legalmente instituídos

Instruções normativas

São atos administrativos que complementam leis e decretos, disciplinando a execução de atividades. São expedidas por autoridades administrativas com o objetivo de orientar agentes públicos para padronizar rotinas e atividades, e garantir a continuidade do serviço público.

Hierarquia entre Leis

No sistema jurídico brasileiro ainda existe uma hierarquia entre leis federais, estaduais, municipais ou distritais, fundamentada na distribuição de competências estabelecida pela Constituição Federal.

Leis federais

Têm alcance nacional e supremacia sobre as demais, abordando matérias de competência exclusiva da União ou em casos de conflitos entre legislações de diferentes esferas.

Leis estaduais

São aplicáveis dentro dos limites de cada estado, seguindo as diretrizes federais e abrangendo questões não exclusivas da União nem municipais.

Leis municipais

Regem dentro dos municípios e devem alinhar-se às leis federais e estaduais, focando em assuntos de interesse local como urbanismo e serviços públicos.

Principais documentos referentes à conectividade

Dentre os documentos legais, tanto de cunho geral como específicos para Conectividade, merecem destaque os indicados não Quadro A.1.1.

Quadro A.1.1 – Principais documentos legais referentes à conectividade

Documento	Descrição	Link
Lei N°4.117, de 27.08.1962 (federal)	Institui o Código Brasileiro de Telecomunicações	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4117compilada.htm
Lei N°9.472 de16.07.1997 (federal)	Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm
Lei N°10.257 de 10.07.2001 (federal)	Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm
Lei N° 11.934 de 05.05.2009 (federal)	Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos; altera a Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965; e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11934.htm
Lei N° 12.527 de18. 11.2012 (federal)	Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º , no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm
Lei N° 12.587 de 03.01.2012 (federal)	Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm
Lei N°12.737 de 30.11.2012 (federal)	Dispõe sobre a tipificação criminal de delitos informáticos; altera o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 - Código Penal; e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12737.htm
Lei N° 12.846 de 01.08.2013 (federal)	Dispõe sobre a responsabilização administrativa e civil de pessoas jurídicas pela prática de atos contra a administração pública, nacional ou estrangeira, e dá outras providências.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12846.htm
Lei N° 12.965 de 23.04.2014 (federal)	Estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da Internet no Brasil.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/L12965.htm

Quadro A.1.1 – Principais documentos legais referentes à conectividade (continuação)

Documento	Descrição	Link
Lei N°13.116 de 20.04.2015 (federal)	Estabelece normas gerais para implantação e compartilhamento da infraestrutura de telecomunicações e altera as Leis n º 9.472, de 16 de julho de 1997, 11.934, de 5 de maio de 2009, e 10.257, de 10 de julho de 2001.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13116.htm
Lei N° 13.709 de 14.08.2018 (federal)	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). (Redação dada pela Lei nº 13.853, de 2019) Vigência	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709compilado.htm#art65
Decreto N° 9.637 de 26.12.2018 (federal)	Institui a Política Nacional de Segurança da Informação, dispõe sobre a governança da segurança da informação, e altera o Decreto nº 2.295, de 4 de agosto de 1997, que regulamenta o disposto no art. 24, caput , inciso IX, da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e dispõe sobre a dispensa de licitação nos casos que possam comprometer a segurança nacional.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9637.htm
Lei N°13.089 de 12.01.2019 (federal)	Esta Lei, denominada Estatuto da Metrópole, estabelece diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e a execução das funções públicas de interesse comum em regiões metropolitanas e em aglomerações urbanas instituídas pelos Estados, normas gerais sobre o plano de desenvolvimento urbano integrado e outros instrumentos de governança interfederativa, e critérios para o apoio da União a ações que envolvam governança interfederativa no campo do desenvolvimento urbano, com base nos incisos XX do art. 21 , IX do art. 23 e I do art. 24 , no § 3º do art. 25 e no art. 182 da Constituição Federal .	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm
Decreto N° 9.854 de 25.07.2019 (federal)	Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9854.htm
Decreto N° 10.222 de 5.02.2020 (federal)	Aprova a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10222.htm
Decreto N°10.480 de 01.09.2020 (federal)	Dispõe sobre medidas para estimular o desenvolvimento da infraestrutura de redes de telecomunicações e regulamenta a Lei nº 13.116, de 20 de abril de 2015.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10480.htm
Instrução normativa SGD/ME N117 de 19.11.2020 (federal)	Dispõe sobre a indicação do Encarregado pelo Tratamento dos Dados Pessoais no âmbito dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional.	https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-sgd/me-n-117-de-19-de-novembro-de-2020-289515596
Decreto N°65.347 de 09.12.2020 (estadual)	Dispõe sobre a aplicação da Lei federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais - LGPD), no âmbito do Estado de São Paulo	https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-65347-09.12.2020.html
Resolução Banco Central – CMN n°4893 de 26/02/2021 federal	Dispõe sobre a política de segurança cibernética e sobre os requisitos para a contratação de serviços de processamento e armazenamento de dados e de computação em nuvem a serem observados pelas instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil.	https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CMN&numero=4893
Lei N° 17.471 de 16.12.2021 (estadual)	Institui o Programa Conecta SP, define suas finalidades e diretrizes, e dá outras providências	https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2021/lei-17471-16.12.2021.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20procedimento%20para,termos%20da%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20federal%20vigente.

Quadro A.1.1 – Principais documentos legais referentes à conectividade (continuação)

Documento	Descrição	Link
Lei N°14.133 de 01.04.2021 (federal)	Lei de Licitações e Contratos Administrativos.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm
Lei N° 14.172 de 10.06.2021 (federal)	Dispõe sobre a garantia de acesso à internet, com fins educacionais, a alunos e a professores da educação básica pública.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14172.htm
Decreto N° 10.748 de 16.07.2021 (federal)	Institui a Rede Federal de Gestão de Incidentes Cibernéticos.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D10748.htm
Lei N° 17.471 de 16.12.2021 (estadual)	Institui o Programa Conecta SP, define suas finalidades e diretrizes, e dá outras providências	https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2021/lei-17471-16.12.2021.html
Lei N° 14.424 de 27.07.2022	Altera a Lei nº 13.116, de 20 de abril de 2015, para autorizar a instalação de infraestrutura de telecomunicações, nos termos do requerimento de instalação, em caso de não manifestação do órgão competente no prazo legalmente estabelecido.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14424.htm
Lei N° 14.460 de 25.10.2022 (federal)	Transforma a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) em autarquia de natureza especial e transforma cargos comissionados; altera as Leis nºs 13.709, de 14 de agosto de 2018 (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais), e 13.844, de 18 de junho de 2019; e revoga dispositivos da Lei nº 13.853, de 8 de julho de 2019.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14460.htm
Portaria SGD/ MGI N°852 de 28.03.2023 (federal)	Dispõe sobre o Programa de Privacidade e Segurança da Informação - PPSI	https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sgd/mgi-n-852-de-28-de-marco-de-2023-473750908
Decreto N° 11.713 de 26.09.2023 (federal)	Institui a Estratégia Nacional de Escolas Conectadas.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11713.htm#art1p
Decreto N° 11.856 de 26.12.2023 (estadual)	Institui a Política Nacional de Cibersegurança e o Comitê Nacional de Cibersegurança.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11856.htm
Decreto N°12.041 de 05.06.2024 (federal)	Instituí o Programa Cidades Verdes Resilientes – PCVR, com o objetivo de aumentar a qualidade ambiental e a resiliência das cidades brasileiras diante dos impactos causados pela mudança do clima, por meio da integração de políticas urbanas, ambientais e climáticas, do estímulo às práticas sustentáveis e da valorização dos serviços ecossistêmicos do verde urbano.	https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12041.htm
Decreto N° 12.308 de 11.12.2024 (federal)	Institui o Comitê Interministerial para a Transformação Digital.	https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-12.308-de-11-de-dezembro-de-2024-601129765

Tão importante quando as leis indicadas no Quadro A.1.2 é a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes1, documento de referência, lançado em 2020, que define um conceito de cidades inteligentes no Brasil e orienta políticas e programas sobre a transformação digital urbana. Ela traz 160 recomendações apoiadas em 8 objetivos estratégicos (Quadro A.1.2).

Tabela A.1.2 –Objetivos estratégicos da Carta Brasileira para Cidades Inteligentes

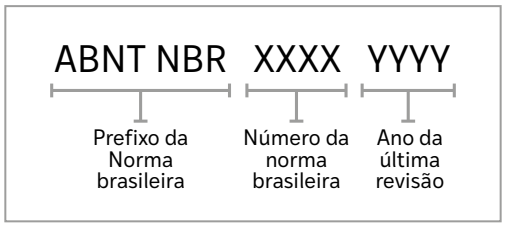
Objetivo 1	Integrar a transformação digital nas políticas, programas e ações de desenvolvimento urbano sustentável, respeitando as diversidades e considerando as desigualdades presentes nas cidades brasileiras.
Objetivo 2	Prover acesso equitativo à internet de qualidade para todas as pessoas.
Objetivo 3	Estabelecer sistemas de governança de dados e de tecnologias, com transparência, segurança e privacidade.
Objetivo 4	Adotar modelos inovadores e inclusivos de governança urbana e fortalecer o papel do poder público como gestor de impactos da transformação digital nas cidades.
Objetivo 5	Fomentar o desenvolvimento econômico local no contexto da transformação digital.
Objetivo 6	Estimular modelos e instrumentos de financiamento do desenvolvimento urbano sustentável no contexto da transformação digital.
Objetivo 7	Fomentar um movimento massivo e inovador de educação e comunicação públicas para maior engajamento da sociedade no processo de transformação digital e de desenvolvimento urbanos sustentáveis
Objetivo 8	Construir meios para compreender e avaliar, de forma contínua e sistêmica, os impactos da transformação digital nas cidades

A.2. Normas Técnicas

Normas técnicas são procedimentos estabelecidos por consenso entre as partes interessadas. Possibilitam a criação de uma linguagem comum, reduzem a variabilidade de interpretações e sistematizam a formulação e aplicação de regras.

Há vários tipos de normas, cada qual com sua finalidade, como por exemplo, as de terminologia, de processos e de serviços, entre várias.

No Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que tem a missão de prover a sociedade brasileira com documentos normativos. Para a elaboração das normas ela conta com Comitês Técnicos, que coordenam, planejam e executam as atividades de normalização relacionadas ao seu âmbito de atuação. As normas ABNT são consideradas normas brasileiras, por isso são codificadas como ABNT NBR e são escritas como indicado abaixo.



A ABNT dispõe de um catálogo de normas, por meio do qual elas podem ser adquiridas. O número da norma não muda, mas elas passam por revisões, portanto é importante ao usar uma norma verificar se ela se refere à última edição.

As normas não têm obrigatoriedade de atendimento, exceto quando são citadas em documentos legais como acontece, por exemplo, na Lei Federal N°8.078 de 11 de setembro de 1990 (Código de Defesa do Consumidor). Por outro lado, na falta de documentos legais as normas brasileiras (ABNT NBR) frequentemente são usadas como tal.

As normas também têm alcances diferentes, podendo ser: internacionais, por exemplo, as normas da *Internationla Organization for Standardization* (ISO); regionais, por exemplo, as normas do Comitê Europeu (EU); sub-regionais, por exemplo, as normas MERCOSUL; nacionais, que são referentes a um país, como por exemplo, as normas da ABNT NBR.

A ABNT é membro fundador da ISO e sempre que internaliza norma desta instituição deve colocar a sigla ISO no prefixo da norma, que passa a ser ABNR NBR ISO.

Normas Técnicas de Aplicação Geral

Dentre as normas técnicas de aplicação geral merecem destaques as que seguem, que podem ser adquiridas por meio do Catálogo de Normas ABNT[2].

- ABNT NBR ISO 37101:2017. Versão corrigida 2021. Emenda 1:2024 – Desenvolvimento sustentável de comunidades- Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável - Requisitos com orientação para uso.

  Esta norma estabelece requisitos para um sistema de gestão para desenvolvimento sustentável em comunidades, incluindo cidades, utilizando uma abordagem holística, visando assegurar a coerência com a política para desenvolvimento sustentável de comunidades.

- ABNT NBR ISO 37104:2024. - Cidades de comunidades sustentáveis. Transformando nossas cidades – Recomendações para a implementação prática da ABNT NBR ISO 37101 no âmbito local.

  Este documento fornece orientações sobre como implementar e manter um sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável com base nos princípios da ABNT NBR ISO 37101, especificamente no contexto das cidades, mas aplicável a outras formas de assentamento. Estabelece uma estrutura metodológica para avaliação sistemática as iniciativas e resultados para o desenvolvimento sustentável na cidade ou em outros assentamentos, cm base na análise cruzada dos seis propósitos de sustentabilidade e das 12 áreas de ação da ABNT NBR ISO 37101.

- ABNT NBR ISO 37120:2021 - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida

  Esta norma define e estabelece metodologias para um conjunto de indicadores, a fim de orientar e medir o desempenho de serviços urbanos e qualidade de vida. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização.

  Os indicadores contidos nesta norma podem ser utilizados para rastrear e monitorar o progresso do desempenho da cidade e assim avaliar a gestão de seus serviços urbanos e de sua prestação de serviços.

- ABNT NBR ISO 37122:2020. Versão corrigida 2021. Errata 1:2021. - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades inteligentes

  Esta norma especifica e estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores de cidades inteligentes. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização. Ela, juntamente coma ABNT NBR ISO 37120, se destina a fornecer um conjunto completo de indicadores para medir o progresso em direção a uma cidade inteligente.

- ABNT NBR ISO 37123:2021 - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades resilientes

  Esta norma especifica e estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores de cidades resilientes. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização. Ela, juntamente coma ABNT NBR ISO 37120, se destina a fornecer um conjunto completo de indicadores para medir o progresso em direção a uma cidade resiliente.

Referências Bibliográficas

1. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Carta Brasileira Cidades Inteligentes. Disponível em https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso--a-informacao/acoes-e-programas/desenvolvimento-urbano-e-metropolitano/projeto-andus/carta-brasileira-para-cidades--inteligentes. Acesso em: 8 abr. 2025.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Consulta ao catálogo. Rio de Janeiro, ABNT, 2025. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/. Acesso em: 09 mar. 2025

ANEXO B

Inteligência Artificial: Conceitos e Desafios

B.1 Introdução

Até pouco tempo atrás, a Inteligência Artificial (IA) era algo presente somente em laboratórios de pesquisas científicas. Para o público em geral, era conhecida apenas em filmes de ficção científica. Atualmente, essa realidade mudou completamente, o tema tem se difundido por todas as mídias e já se pode observar o uso de IA no dia a dia das pessoas. Isso está acontecendo diante dos grandes avanços recentes nesse campo, que permitiram o desenvolvimento de aplicações práticas que estão revolucionando as mais diversas áreas de atuação humana[1].

Os primeiros estudos formais de IA surgiram nos anos 1950, com pesquisadores como Allen Newell e Herbert Simon nos EUA, mas o campo evoluiu enormemente desde então. No século XXI, a IA ganhou protagonismo graças ao aumento do poder computacional, do volume de dados disponíveis e de avanços em algoritmos de *machine learning* (aprendizado de máquina), *deep learning* (aprendizado profundo) e outras subáreas[2].

De forma simplificada, podemos dizer que a Inteligência Artificial (IA) consiste em simular mecanismos de raciocínio humano por meio da computação, com algoritmos que podem analisar grandes quantidades de dados[3], tomar decisões com base em regras ou padrões aprendidos e "acumular conhecimento" durante o processo[1]. A importância da utilização da IA na administração pública cresce à medida que as cidades enfrentam problemas cada vez mais complexos e lidam com volumes massivos de dados[4]. O conceito de cidades inteligentes surgiu nesse contexto, exatamente para destacar o uso efetivo de tecnologias digitais na gestão urbana. IA pode ser peça-chave ao ser adotada por prefeituras e órgãos públicos, abrindo novas possibilidades para o planejamento urbano, a prestação de serviços e o atendimento às demandas da população de forma mais ágil, personalizada e com menor custo[4].

Em vez de decisões baseadas apenas na intuição, os gestores passam a dispor de ferramentas que permitem extrair informações relevantes de grandes volumes de dados digitais, gerando maior eficiência no uso de recursos públicos e uma nova forma de tomar decisões, orientada por evidências. Isso significa que as informações obtidas com o uso de tecnologias digitais e IA permitem que se tenha uma espécie de camada invisível sobre o mapa de uma cidade, que auxilia a mensurar muitos fatores antes imensuráveis.

Entre as principais aplicações da Inteligência Artificial (IA) na gestão pública destacam-se as indicadas na Figura B.1.1

Figura B.1.1. – Principais aplicações da IA na gestão pública [5, 6, 7].

Previsão	Utiliza informações históricas para antecipar situações futuras e apoiar decisões mais seguras e planejadas.
Reconhecimento de padrões	Analisa grandes volumes de dados para detectar tendências e comportamentos, permitindo respostas rápidas e eficazes.
Reconhecimento de imagens e vídeos	Facilita o monitoramento automático de situações ou problemas, aumentando a eficiência na gestão.
Processamento de linguagem natural	Possibilita que sistemas compreendam e processem textos e diálogos humanos, automatizando atendimentos e interpretando demandas.
Reconhecimento de voz e análise de sentimentos	Identifica rapidamente situações críticas e avalia automaticamente o nível de satisfação das pessoas com os serviços oferecidos.
Sistemas de recomendação	Analisam dados passados para oferecer serviços adaptados às necessidades específicas dos cidadãos.
Gêmeos digitais	Criam modelos digitais da cidade, permitindo testar virtualmente ações e projetos antes de realizá-los na prática, reduzindo riscos e custos.
Sistema de otimização	Ajudam a definir a melhor forma de usar recursos disponíveis, promovendo economia e sustentabilidade.

Essas aplicações, combinadas, capacitam as administrações públicas a atuar de forma mais proativa, inteligente e eficaz, potencializando os esforços governamentais em cumprir seu papel e melhorar a qualidade de vida das pessoas nas cidades.

B.2 Vantagens e Limitações do Uso de IA em Cidades Inteligentes

Vários benefícios do uso da Inteligência Artificial podem ser destacados. A Figura B.2.1 apresenta alguns.

Figura B.2.1. –Benefícios do uso da Inteligência Artificial

Maior eficiência de custos operacionais

Tarefas repetitivas ou análises complexas que tomariam horas dos servidores podem ser automatizadas, liberando a equipe para atividades de maior valor estratégico. Processos internos tornam-se mais ágeis e há economia de recursos no médio prazo.

Decisões mais embasadas e proatividade

Com a IA identificando padrões ocultos em bases de dados extensas, prefeituras conseguem prever eventos futuros ou necessidades, por exemplo antecipar demanda por certos serviços ou risco de ocorrências e planejar ações preventivas. A tomada de decisão torna-se mais científica, orientada por dados ao invés de intuições.

Melhoria nos serviços ao cidadão

Os moradores percebem a cidade "funcionando melhor". Isso aumenta a confiança do público na administração. Ferramentas como assistentes virtuais também ampliam a disponibilidade de atendimento (24/7) e a conveniência para o usuário, elevando a satisfação.

Transparência e controle

Muitos sistemas de IA vêm acompanhados de dashboards e indicadores em tempo real. Isso permite aos gestores acompanhar de perto a performance de serviços públicos e medir resultados de políticas quase que instantaneamente. Também pode-se disponibilizar parte desses dados para a população, aumentando a transparência das ações do governo local.

Apesar dos benefícios é preciso atentar aos obstáculos e cuidados ao introduzir IA na esfera municipal. A seguir são indicados alguns desafios.

Qualidade e disponibilidade dos dados

A eficácia de qualquer modelo de IA depende diretamente da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para treiná-lo. Muitas prefeituras ainda enfrentam bases de dados fragmentadas entre secretarias, informações desatualizadas ou inconsistentes. É necessário investir em governança de dados, integrando bancos de dados das diversas áreas do município e garantindo que estejam limpos, atualizados e anonimizados quando contêm dados pessoais. Sem dados confiáveis, a IA pode gerar resultados imprecisos.

Infraestrutura tecnológica insuficiente

Algoritmos avançados demandam infraestrutura de TI adequada – conexões de internet rápidas, servidores ou serviços de nuvem com poder de processamento e armazenamento, e dispositivos IoT (sensores, câmeras) espalhados pela cidade para coletar informações. No Brasil, ainda há uma lacuna de conectividade, pois poucos municípios contam com cobertura 5G, recurso cada vez mais essencial para suportar aplicações urbanas inteligentes.

Capacitação técnica e recursos humanos

A presença de profissionais qualificados em ciência de dados, análise de dados e desenvolvimento de IA no quadro das prefeituras é necessária. O mercado de TI já demanda mais especialistas em IA do que as universidades conseguem formar, e o setor público compete com o privado por esse talento escasso. Assim, governos locais precisam investir na capacitação de suas equipes e/ou buscar parcerias para suprir essa expertise. Além disso, é importante promover uma cultura organizacional aberta à inovação, treinando também servidores não técnicos a interagir com as novas ferramentas.

Custos iniciais e sustentabilidade

Implementar IA pode exigir investimentos significativos na fase inicial – compra de equipamentos, contratação de sistemas ou consultorias, treinamento de pessoal. Para prefeituras com orçamento limitado, justificar esses gastos requer planejamento e talvez adoção gradual (projetos-piloto). Além disso, é preciso prever os custos de manutenção dessas soluções a longo prazo (atualizações, suporte técnico, renovação de licenças), evitando que projetos morram após o entusiasmo inicial por falta de recursos continuados.

Questões éticas, legais e de privacidade

O uso de IA na gestão pública traz responsabilidade de respeitar a privacidade dos cidadãos e evitar vieses discriminatórios. Sistemas de reconhecimento facial, por exemplo, levantam preocupações legais (conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD) e éticas (possibilidade de identificar erroneamente alguém inocente). Decisões automatizadas precisam de transparência e supervisão humana, principalmente em áreas sensíveis como segurança e assistência social, para garantir que direitos individuais não sejam violados. As prefeituras devem implementar IA de forma responsável, com algoritmos auditáveis e adoção de diretrizes para evitar preconceitos embutidos nos modelos.

Em suma, a incorporação da Inteligência Artificial na gestão municipal deve ser feita com planejamento e cautela. Não se trata de uma solução mágica, mas sim de uma ferramenta poderosa que requer dados de qualidade, infraestrutura, pessoas capacitadas e bom senso na aplicação. Uma visão clara dos problemas a serem resolvidos e do objetivo almejado com a IA é fundamental para que a tecnologia gere valor público efetivo e não se torne um investimento subutilizado.

B.3 Modelo de Maturidade para Implantação de IA nas Cidades

Cada cidade está em um estágio diferente de prontidão para adotar soluções de gestão de dados e IA. Enquanto algumas cidades já possuem infraestrutura avançada e equipes dedicadas à análise de dados, muitos municípios, especialmente os menores, estão apenas começando a digitalizar seus processos básicos[8].

Para orientar a evolução tecnológica das cidades, é fundamental utilizar um Modelo de Maturidade[9]. Esse modelo consiste em uma estrutura de níveis ou estágios que permite verificar o quão preparada uma cidade está para se tornar mais inteligente e capaz de implantar IA de forma eficaz, bem como quais passos deve seguir para alcançar esse objetivo.

No contexto brasileiro, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) lançou recentemente a plataforma Inteligente[10], que oferece um diagnóstico de maturidade para Cidades Inteligentes

e Sustentáveis. Esse diagnóstico foi construído com base em um modelo internacional da União Internacional de Telecomunicações (UIT/ITU) adaptado à realidade dos municípios brasileiros. Nele, a maturidade da cidade é avaliada em quatro dimensões principais – econômica, ambiental, sociocultural e capacidades institucionais – e cada dimensão possui indicadores que posicionam o município em um determinado nível de desenvolvimento tecnológico/digital.

São definidos sete níveis de maturidade (Figura B.3.1) no modelo da UIT, que vão desde estágios iniciais (onde a cidade tem infraestrutura muito básica e quase nenhum serviço digitalizado) até estágios avançados (cidade altamente integrada digitalmente, com uso extensivo de tecnologias de análise de dados e IA em serviços e processos). Ferramentas como essa permitem às prefeituras identificar em que patamar estão e traçar um plano de evolução, alinhado a padrões internacionais, para avançar na escala de cidades inteligentes.

Figura B.3.1 – Os sete níveis de maturidade do modelo UIT

Adesão	A cidade reconhece desafios, mas ainda não possui um plano de transformação digital. Há baixa digitalização, infraestrutura desigual e falta de integração entre setores.
Engajamento	Início da articulação para modernização, com identificação de áreas prioritárias, investimentos em infraestrutura básica e digitalização inicial dos serviços públicos.
Planejamento	Definição de estratégias e políticas de dados, com acompanhamento por indicadores. Há interoperabilidade entre setores e identificação de áreas prioritárias para gestão e monitoramento.
Alinhamento	Implementação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) para melhorar serviços e soluções. A cidade inicia ações de inclusão digital, monitoramento contínuo e pesquisas de satisfação.
Desenvolvimento	Expansão da tecnologia para aprimorar a gestão pública. Os serviços atendem a maior parte da população de forma integrada, com participação ativa da sociedade.
Integração	Consolidação da estratégia digital, integração territorial com outros municípios e uso de TICs avançadas para suporte a serviços em tempo real. Governança pública com forte participação social.
Otimização	Cidade inteligente consolidada, sustentável e inclusiva. Infraestrutura totalmente digitalizada, automatização avançada e uso de grandes volumes de dados para previsão e aprimoramento contínuo dos serviços públicos.

Para avaliar a prontidão e planejar a implantação de análise de dados e IA, alguns critérios de maturidade são particularmente importantes, como a disponibilidade de dados, infraestrutura e capacitação de equipes, como destacado a seguir.

Disponibilidade e Qualidade de Dados

É possivelmente o critério mais importante[11]. Uma cidade madura para efetuar análises avançadas de dados e uso de IA precisa ter dados abundantes, acessíveis e confiáveis sobre seus diversos setores. Isso envolve desde manter bases cadastrais atualizadas (de cidadãos, imóveis, empresas) até coletar dados operacionais contínuos (sensores de trânsito, registros de atendimento, indicadores de saúde e outros).

Além da existência dos dados, é necessário que eles possuam boa qualidade e sejam integrados entre os setores interessados. Cidades mais avançadas no caminho de se tornarem inteligentes já implementam *data warehouses* ou *data lakes* centralizados, onde diferentes bancos de dados municipais se conectam, possibilitando correlações e análises intersetoriais.

Em uma avaliação de maturidade as perguntas efetuadas sobre dados visarão identificar: q*ue dados a cidade tem? Em que formato? Com que frequência são coletados e atualizados? Eles estão prontos para alimentar algoritmos de IA*. Quanto mais respostas positivas para perguntas como essas, maior o nível de maturidade da cidade.

Infraestrutura tecnológica[12]

Refere-se aos meios físicos e digitais disponíveis para suportar soluções de IA. Isso inclui conectividade (redes de internet rápidas, Wi-Fi público, cobertura móvel 4G/5G), equipamentos (servidores, computadores, câmeras, sensores IoT nas ruas) e plataformas de software adequadas (sistemas em nuvem, ferramentas de big data e outros).

Uma cidade com baixa maturidade talvez não tenha computadores suficientes ou internet estável nas repartições públicas, enquanto uma cidade com alta maturidade investe em centros de dados robustos e pode ter infraestrutura mais robusta, como redes 5G e computação em nuvem híbrida. A diferença entre esses casos é muito significativa: municípios com tecnologia deficiente terão dificuldade em rodar algoritmos complexos ou coletar dados em tempo real, ao passo que cidades bem equipadas conseguem implementar projetos mais avançados em tecnologias digitais, como semáforos inteligentes, vigilância com IA, aplicativos móveis integrados, dentre outros.

Ao avaliar maturidade, verifica-se o nível de informatização da gestão, a presença de sensores e automação na cidade (por exemplo, iluminação pública telecontrolada, semáforos conectados) e a capacidade de armazenar e processar dados em larga escala (localmente ou via cloud). A existência de uma boa infraestrutura denota que a cidade pode não só implantar como também escalar soluções de IA.

Capacitação de equipes

Um critério fundamental para a transformação das cidades em inteligentes é avaliar o capital humano e a cultura institucional da prefeitura para lidar com dados e IA. Cidades mais avançadas possuem em seu quadro (ou ao alcance por meio de parceiros) especialista como cientistas de dados, analistas de TI, engenheiros de software e gestores de inovação. Por outro lado, cidades iniciantes no assunto, geralmente não dispõe de uma equipe de TI própria estruturada.

É importante destacar que evoluir em maturidade é um processo contínuo. Uma boa prática é começar com projetos piloto de análise de dados e IA em áreas estratégicas e, aprender com eles, e expandir o conhecimento adquirido a outros setores. Paralelamente, investir em melhorar a infraestrutura de dados e capacitar pessoas garante que, ao longo do tempo, a prefeitura suba os degraus da maturidade.

O modelo de maturidade serve como um mapa para a cidade se orientar na jornada da transformação digital. Ele mostra onde a cidade está, onde pode chegar, e quais lacunas precisa preencher – seja melhorar sua base de dados, modernizar equipamentos ou treinar sua equipe – para implantar a Inteligência Artificial de forma bem-sucedida e colher todos os benefícios das tecnologias emergentes.

B.4 Salas de Situação e Compartilhamento de Dados

Salas de Situação

Uma sala de situação é um espaço físico (ou virtual) onde informações de múltiplas fontes são reunidas e analisadas em conjunto por uma equipe multidisciplinar, para o monitoramento e a coordenação das ações da cidade. Representa a materialização prática do conceito de gestão orientada por dados (*data-driven*). Ela cria um ambiente onde a IA, os sistemas de monitoramento e as equipes humanas trabalham em sintonia, resultando em uma administração municipal mais conectada, informada e preparada para otimizar serviços no dia a dia quanto para enfrentar crises quando necessário.

Uma sala de situação moderna assemelha-se a um centro de controle, onde telões exibem mapas da cidade, imagens de câmeras espalhadas pelo município e gráficos de indicadores atualizados a cada minuto. Em torno dessas telas, ficam posicionados profissionais de várias secretarias e analistas de dados, todos acompanhando as informações e trabalhando de forma coordenada.

Um ponto fundamental de salas de situação é a integração de dados entre diferentes níveis de governo e setores. Muitos problemas urbanos atravessam as fronteiras departamentais – ou até mesmo as fronteiras municipais – e requerem cooperação. Por isso, essas salas costumam ser alimentadas não só por dados da própria prefeitura, mas também por informações de órgãos estaduais e federais e de entidades privadas parceiras. Isso significa que, ao detectar pela câmara um veículo roubado, por exemplo, o alerta chega simultaneamente à guarda municipal na sala e polícia militar, que pode interceptar o carro. Ou, no caso de um incêndio em um prédio, os Bombeiros são acionados imediatamente e podem coordenar a resposta junto com a Defesa Civil municipal.

Em resumo, a sala de situação traz consciência situacional para a administração municipal: uma visão unificada e em tempo real de tudo o que importa na cidade, facilitando decisões baseadas em dados e a atuação conjunta das áreas envolvidas.

Compartilhamento de Dados (Portais de Dados Abertos)

Enquanto na sala de situação o foco é o uso interno das informações pelos gestores públicos para operação e planejamento em tempo real os portais de dados abertos são aqueles que disponibilizam publicamente dados governamentais em formato acessíveis e licenciados para reutilização, permitindo que qualquer pessoa (cidadãos, pesquisadores, empresas) os análise e crie aplicações a partir deles. No Brasil, a Lei de Acesso à Informação e a Política de Dados Abertos incentiva os órgãos públicos a publicar suas bases de dados não sigilosos.

Uma boa integração de dados (interna e entre entes federativos) que alimenta a sala de situação também facilita a publicação de dados abertos padronizados, e vice-versa. Em ambos os casos, a interoperabilidade e a atualização contínua dos dados são vitais.

É fundamental que os dados abertos sejam anonimizados e tratados para não expor informações pessoais sensíveis. A prefeitura deve remover identificadores pessoais (como nome, CPF, endereço específico) e agregar dados quando necessário, para cumprir a LGPD e garantir a privacidade. Feito isso, a maioria das bases – especialmente dados estatísticos ou geográficos – pode ser liberada sem receios. Outro ponto é fornecer os dados em formatos padronizados e fáceis de consumir (CSV, JSON, APIs abertas), para atrair a comunidade de desenvolvedores.

Referências Bibliográficas

1. LEE, K.; BARBAO, M. **Inteligência Artificial.** Rio de Janeiro: Globo Livros, 2019. 292 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=cNYfywEACAAJ. Acesso em: 02 maio 2025.

2. RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. Hoboken, NJ: Pearson Education, 2016.

3. MARTIAN, N. **Smart cities and urban innovation:** a simplified guide for everyone. [*S. l.: s. n.*], 2025. 232 p.

4. ADJE, K. D.; LETAIFA, A. B.; HADDAD, M.; HABACHI, O. Smart city based on open data: a survey. **IEEE Access**, v. 11, p. 56726–56748, 2023. Doi:10.1109/access.2023.3283436

5. COZMAN, F. G.; PLONKI, G. A.; NERI, H.G. A. **Inteligência artificial**: avanços e tendências. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, 2021. 414 p. Doi:10.11606/9786587773131

6. INÁCIO, A. D.; LEAL, A. G.; GAVA, V. L.; SANTOS, A. S. Salas de Situação: Implantação de monitoramento inteligente como suporte às Políticas Públicas. *In:* WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA EM GOVERNO ELETRÔNICO, 2021, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 283–290. Doi:10.5753/wcge.2021.15997

7. BHATIA, V.; JAGLAN, V. Integrating Artificial Intelligence and IoT for Smart Cities. In: DALAL, S. et al. Reshaping Intelligent Business and Industry: Convergence of AI and IoT at the Cutting Edge. Hoboken, NJ: Wiley, 2024. Cap. 17**.**

8. ALJOWDER, T.; ALI, M.; KURNIA, S. Systematic literature review of the smart city maturity model. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATION AND INTELLIGENCE FOR INFORMATICS, COMPUTING, AND TECHNOLOGIES (3ICT), 2019, Bahrain. **Proceedings [...].** Piscataway: IEEE, 2019. p. 1–9. Doi:10.1109/3ict.2019.8910321

9. KLAR, R.; ARVIDSSON, N.; ANGELAKIS, V. Digital Twins' Maturity: The Need for Interoperability. **IEEE Systems Journal,** v. 18, n. 1, p. 713–724, 2024. Doi:10.1109/jsyst.2023.3340422

10. PASETO, L.; GONTIJO, J. G.; DE AZAMBUJA, E. E.; VIDAL, K. D.; ALVES, A. M.; MUNIZ, C. R.; CORSO, M. R. inteli.gente Platform: Tool for Diagnosing Maturity in Brazilian Sustainable Smart Cities. *In:* INTERNATIONAL SMART CITIES CONFERENCE (ISC2), 2021. **Proceedings [...].** Piscataway: IEEE, 2021. p. 1-6. Doi:10.1109/isc253183.2021.9562934

11. GUPTA, S.; KUMAR, A.; MAITI, J. A critical review on system architecture, techniques, trends and challenges in intelligent predictive maintenance. **Safety Science**, v. 177, art. 106590, Sept. 2024. Doi:10.1016/j.ssci.2024.106590

12. SILVA, L. C.; RIEDO, I. G.; MENDONÇA, J. C.; NOBRE, L. B.; MAIOLI, S. F. Understanding smart cities: a systematic review. **Revista de Administração da UFSM**, v. 17, n. 1, e7, 2024. Doi:10.5902/1983465973468

ANEXO C

Indicadores para Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

C.1 Relação entre Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

As palavras inteligente, resiliente e sustentável, quando presentes após o nome *cidade*, são adjetivos de caráter geral e que envolvem ações de certa forma interligadas entre si. Assim, a inter-relação entre **cidades inteligentes**, **resilientes** e **sustentáveis** está no fato de que esses três conceitos, embora distintos, se complementam e se fortalecem mutuamente quando aplicados em conjunto no planejamento e desenvolvimento urbano.

De modo resumido pode-se dizer que: cidades inteligentes usam a tecnologia de dados para melhorar a eficiência dos serviços urbanos, a qualidade de vida dos cidadãos e a gestão dos recursos; cidades resilientes são capazes de resistir, se adaptar e se recuperar de crises e desastres naturais ou humanos; cidades sustentáveis têm como objetivo o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, promovendo justiça social e bem-estar das futuras gerações.

Uma cidade inteligente usa a tecnologia para ser mais eficiente, mas ela precisa ser sustentável para durar e resiliente para enfrentar desafios. Esses três pilares são essenciais para construir um futuro urbano equilibrado, onde a tecnologia serve às pessoas, respeita o planeta e garante segurança diante das incertezas (Figura C.1.1).

Figura C.1.1 – Pilares para um futuro urbano equilibrado

C.2 Indicadores para Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

As cidades apresentam inúmeras diferenças entre si. Essas variações podem ser observadas em diversos aspectos, como infraestrutura, cultura, economia, clima, tamanho populacional, acesso a serviços públicos e qualidade de vida, entre outros.

Apesar das diferenças, as cidades possuem um objetivo comum, que pode ser resumido em promover o bem-estar da população por meio do desenvolvimento sustentável, da inclusão social, do crescimento econômico e da valorização cultural. Para tal ela se apoia em um Planejamento Urbano elaborado de acordo com o perfil da cidade. Porém, é essencial que ela verifique se a implantação desse planejamento está tendo os resultados e evoluções desejáveis. Isto pode ser feito por meio de indicadores de desempenho, que podem ser medidas quantitativas, qualitativas ou descritivas.

Definir um conjunto de indicadores para uma cidade não consiste de tarefa fácil. Cidades são complexas, com seus elementos sociais, políticos, econômicos e culturais interagindo e reagindo com a espacialidade e o ambiente construído da cidade. Qualquer conjunto de indicadores, não será capaz de refletir plenamente a complexidade urbana e as muitas escalas em que os impactos urbanos são sentidos[1]. Apesar dessa restrição, os indicadores são necessários e atendem a múltiplos propósitos. Por exemplo, podem se tornar parte da avaliação e comparação de condições e tendências no espaço e no tempo, monitorando o progresso em direção a metas e objetivos, informando o planejamento e a tomada de decisões, aumentando a conscientização, encorajando mudanças políticas e comportamentais, promovendo a participação pública e melhorando a comunicação[1].

A Figura C.2.1 traz exemplos de indicadores, com o objetivo apenas de dar uma visão geral de cada caso específico de cidade. Seria fácil se os indicadores se restringissem a esses exemplos, mas gestores municipais enfrentam o desafio de selecionar indicadores para monitoramento sistemático de suas cidades. Essa escolha é muito importante, pois afeta diretamente a gestão e a tomada de decisões da cidade, sendo que os gestores devem estar atentos para não se perderem na quantidade de dados urbanos complexos[2].

Figura C.2.1 – Exemplos de indicadores

Exemplos de indicadores para cidades sustentáveis

- Emissões de CO2 (tonelada habitante/ano)
- Qualidade do ar
- Áreas verdes (metro quadrado/habitante)
- Reciclagem de resíduos sólidos urbanos (porcentagem do total gerado)
- Consumo de energia renovável (porcentagem da matriz energética)
- Transporte sustentável (porcentagem da população)

Exemplos de indicadores para cidades inteligentes

- Acesso à internet de alta velocidade (porcentagem da população)
- Serviços públicos digitalizados (porcentagem dos serviços)
- Aplicativos de mobilidade urbana (quantidade)
- Sistema inteligente de transporte (existe ou não)
- Plataformas online (número de interações/ano)

Exemplos de indicadores para cidades resilientes

- Plano de gestão de riscos e desastres atualizados (existe ou não)
- Tempo médio de resposta a emergências (minutos)
- População em área de risco com monitoramento ativo (porcentagem da população)
- Infraestruturas adaptadas a eventos extremos (porcentagem adaptada)
- Simulados de treinamento de emergência (número por ano)

Existem centenas de indicadores disponíveis, cada qual com uma finalidade específica. Cabe à cidade definir quais são os melhores indicadores de desempenho para o seu caso e criar um banco de dados[3], que integrado são capazes de fornecer uma base para tomada de decisão pelos gestores municipais. A definição de que indicadores devem ser usados e quando, pode requerer conhecimento especializado, para compreender a utilidade e as fragilidades dos sistemas de indicadores que se pretende implantar em uma cidade[2].

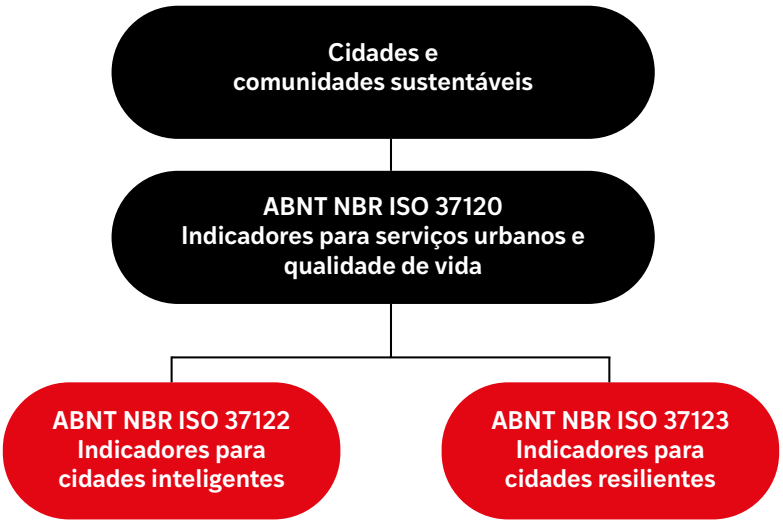
Organismos internacionais têm trabalhado na questão da padronização de indicadores para cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes. Essa padronização é importante porque proporciona harmonização, confiabilidade, transparência nos métodos de cálculo e comparabilidade dos resultados.

A ISO (*International Organization for Standardization*) desenvolveu algumas normas, que trazem indicadores e como eles se relacionam entre si. Estas normas foram internalizadas no Brasil como normas ABNT NBR ISO.

C.3 Indicadores ISO

No conjunto de normas ABNT NBR ISO os indicadores de cidades inteligentes e resilientes estão atrelados a uma hierarquia de indicadores que se complementam (Figura C.3.1).

Figura C.3.1 – Relação entre família de normas para indicadores da cidade



ABNT NBR ISO 37120 - Indicadores para Serviços Urbanos e Qualidade de Vida.

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida*[4], classifica os indicadores em três tipos:

- **Indicadores essenciais:** que são requeridos para demonstrar o desempenho da prestação de serviços urbanos e qualidade de vida;
- **Indicadores de apoio:** que são recomendados para demonstrar o desempenho da prestação de serviços urbanos e qualidade de vida. Estes indicadores podem ser selecionados de acordo com os objetivos da cidade;
- **Indicadores de perfil:** que são recomendados para fornecer estatísticas básicas e informações do contexto para auxiliar as cidades a realizar comparações entre pares. Indicadores de perfil são utilizados como uma referência informativa.

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021* trata de vários temas, sendo que cada tema corresponde a uma seção (Quadro C.3.1).

Quadro C.3.1 – Temas tratados pela ANBT NBR 37120 e suas seções[4]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura urbana/local e segurança alimentar	20
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021* traz para cada tema os indicadores essenciais, os indicadores de apoio e os indicadores de perfil e, também, aponta como devem ser obtidos. A título de ilustração, o Quadro C.3.2 apresenta esses indicadores para o tema Economia.

Quadro C.3.2 – Indicadores essenciais de apoio e de perfil para o tema economia[4]

Tema	Indicador essencial	Indicadores de apoio	Indicador de perfil
Economia	Taxa de desemprego da cidade	Valor de avaliação de propriedades comerciais e industriais como porcentagem do valor de avaliação total de todas as propriedades Porcentagem da população com emprego em tempo integral Taxa de desemprego de jovens Número de empresas por cem mil habitantes Número anual de estadias (pernoites) de visitantes por cem mil habitantes Conectividade aérea (número de partidas de voos comerciais sem escala)	Renda familiar média (US$) Taxa anual de inflação baseada na média dos últimos cinco anos Produto da cidade per capita (US$)

ABNT NBR ISO 37122 - Indicadores para Cidades Inteligentes

A norma *ABNT NBR ISO 37122:2020 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para cidades inteligente*[5] complementa a norma ABNT NBR ISO 37120, pois houve a necessidade de indicadores adicionais para cidades inteligentes. Ainda, estabelece indicadores com definições e metodologias para medir, considerando aspectos e práticos.

Essa norma trata de vários temas, sendo que cada tema corresponde a uma seção da norma, conforme apresentado no Quadro C.3.3.

Quadro C.3.3 – Temas tratados pela ANBT NBR 37122 e suas seções[5]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura local/urbana e segurança alimentar	20
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23
Relatório e manutenção de registros	24

A norma *ABNT NBR ISO 37122:2020* também traz os indicadores de cada tema e aponta como devem ser obtidos. A título de ilustração o Quadro C.3.4 apresenta os indicadores do tema Telecomunicações.

Quadro C.3.4 – Indicadores para o tema Telecomunicações da norma ABNT NBR ISO 37122[5]

Tema	Indicadores (subitem da seção)
Telecomunicações (item 18)	Porcentagem da população da cidade com acesso á banda larga suficientemente rápida (18.1)
	Porcentagem da área da cidade sob zona branca/ponto morto/não coberta por conectividade de telecomunicações. (18.2)
	Porcentagem da área da cidade coberta por conectividade à Internet fornecida pelo município (18.3)

A norma *ABNT NBR ISO 37122:2020* traz, em seu Anexo B, um mapeamento dos seus indicadores para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS). Para cada um dos 17 ODS são apresentados os indicadores correspondentes, varrendo todos os temas da norma.

ABNT NBR ISO 37123 - Indicadores para Cidades Resilientes

A norma *ABNT NBR ISO 3713:2021 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para cidades resilientes*[6] complementa a norma ABNT NBR IS 37120, pois embora esta, como primeira norma da série, contenha indicadores importantes para o planejamento resiliente e avaliação de uma cidade, foi identificada a necessidade de mais indicadores para cidades resilientes, que constam na norma ABNT NBR ISO 37123 e ajudam as cidades a: se prepararem, se recuperarem e se adaptarem para quando ocorrerem choques e tensões; e aprenderem umas com as outras pela comparação entre uma vasta gama de medidas de desempenho e compartilhamento de boas práticas.

A norma *ABNT NBR ISO 3713:2021* trata de temas divididos em seções, conforme apresentado no Quadro C.3.5.

Quadro C.3.5– Temas tratados pela ANBT NBR 37123 e suas seções[6]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura urbana/local e segurança alimentar	20

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23
Relatório e manutenção de registros	24

A norma ABNT NBR ISO 37123:2021 traz os indicadores referentes a cada tema, com definições e metodologias para medir. Também traz informações de utilidade em seus anexos, a seguir indicados:

- Anexo A, apresenta uma tipologia de ameaças enfrentadas por cidades, como caráter informativo;
- Anexo B, apresenta como os indicadores constantes na norma se relacionam com as principais etapas do processo de gerenciamento de risco (contexto do risco, avaliação de riscos, tratamento do risco, cooperação e consulta, monitoramento e revisão);
- Anexo C, apresenta como os indicadores constantes na norma estão relacionados aos principais elementos do processo de gerenciamento de desastres (minimização, preparação, resposta, recuperação/reconstrução);
- Anexo D, apresenta um mapeamento dos indicadores da norma para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS).

C.4 Considerações

Os indicadores de desempenho são inúmeros e a escolha de quais usar é um grande desafio para os gestores municipais, que têm à sua frente um leque diversificado, advindo de referências normativas, de artigos técnicos e de práticas empregadas.

Os gestores municipais não devem se impressionar com a quantidade de indicadores. Ter muitos indicadores implantados não necessariamente significa ter dados de utilidade. Melhor procurar aqueles que trarão repostas confiáveis e consistentes, que possam ser utilizadas ao longo do tempo para, de fato, acompanhar a evolução da cidade.

Referências Bibliográficas

1. KLOPPA, J. M; PETRETTAB, D. The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. **Cities,** v. 63, p. 92–97, Mar. 2017.

2. HUOVILA, A.; BOSCH, P.; AIRAKSINEN, M. Comparative analysis of standardized indicators for smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? **Cities,** v. 89, p. 141-153, June 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275118309120. Acesso em: 19 abr. 2025.

3. KHATIBI, H.; WILKINSON, S.; DIANAT, H.; BAGHERSAD, M.; GHAEDI, K.; JAVANMARDI, A. Indicators bank for smart and resilient cities: design of excellence. **Built Environment Project and Asset Management,** v. 12, n. 1, p. 5-19, 2022. Doi: https://doi.org/10.1108/BEPAM-07-2020-0122

4. ABNT. **NBR ISO 37120:2021:** Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

5. ABNT. **NBR ISO 37122:2020. Versão corrigida 2021**. Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

6. ABNT. **NBR ISO 37123:2021:** Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para cidades resilientes. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

Secretaria de
Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS