



Produto 7A: Aprofundamento de Verticais – Cidades

2017

Sumário

1	CONTEXTO DO ESTUDO DE IOT	4
2	INTRODUÇÃO À IOT NO AMBIENTE DE CIDADES	5
3	O PLANO DE AÇÃO APOIA MUNICÍPIOS NO PLANEJAMENTO E APLICAÇÃO DE IOT	6
3.1	HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES, SISTEMA DE GOVERNANÇA E DISPARIDADES ENTRE MUNICÍPIOS FORMAM AS CONDIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES	6
3.1.1	<i>O Brasil e a herança de um desenvolvimento rápido e desordenado</i>	6
3.1.2	<i>Responsabilidade dos municípios e concentração de recursos em outras esferas</i>	7
3.1.3	<i>Diferenças nas capacidades fiscais, técnicas e em TIC dos municípios</i>	8
3.2	DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE CIDADES BRASILEIRAS	9
3.2.1	<i>Mobilidade</i>	11
3.2.2	<i>Segurança pública</i>	12
3.2.3	<i>Eficiência energética e saneamento</i>	13
3.3	INICIATIVAS BRASILEIRAS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE IOT PARA SUPERAÇÃO DE DESAFIOS URBANOS	14
3.3.1	<i>Fortaleza: 6ª cidade com melhor mobilidade urbana do Brasil</i>	17
3.3.2	<i>Águas de São Pedro: investimentos do setor privado em IoT</i>	17
3.3.3	<i>Aparecida do Norte: programa piloto da iniciativa privada em smart grid</i>	17
3.3.4	<i>O Rio de Janeiro: revitalização de bairro para utilização de IoT</i>	18
3.3.5	<i>Região metropolitana de Porto Alegre: implementação de IoT em bairro piloto aumenta segurança</i>	19
3.3.6	<i>Paulínia: implementação de piloto em resíduos sólidos com instalação de lixeiras inteligentes</i>	19
3.3.7	<i>Minas Gerais e Ceará: novos bairros inteligentes construídos para utilização de IoT</i>	19
3.3.8	<i>Belo Horizonte: modelo de iluminação pública inteligente através de Parceria Público-Privada (PPP)</i>	20
3.3.9	<i>Caraguatatuba: substituição de 100% da iluminação pública com aplicação de IoT e PPP e</i>	20
3.3.10	<i>São José dos Campos: implementação de soluções de IoT</i>	20
3.3.11	<i>Itu: utilização de PPP para projeto de 3.300 lixeiras inteligentes</i>	21
3.4	APLICAÇÃO EM LARGA ESCALA DE IOT EM CIDADES E SEU IMPACTO ECONÔMICO	22
3.5	COMPETÊNCIAS TECNOLÓGICAS ESSENCIAIS PARA DESENVOLVER IOT EM CIDADES.....	25
3.6	DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA CAPACIDADE LOCAL	31
3.7	O BRASIL E AS OFERTAS DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DE IOT PARA CIDADES	33
3.8	VISÃO AMBICIOSA ESTABELECIDADA NO PLANO DE AÇÃO DE IOT	36
3.9	ASPIRAÇÃO: RESOLUÇÃO DE BARREIRAS ESPECÍFICAS DAS CIDADES BRASILEIRAS QUE PRECISAM SER ENDEREÇADAS	39
3.10	SUPERAÇÃO DE BARREIRAS: CRIAÇÃO DE SMART CITIES E APLICAÇÃO DE PILOTOS EM CIDADES	40
3.10.1	<i>Índia: transformação de 100 cidades em smart cities</i>	40
3.10.2	<i>Estados Unidos: desafios de mobilidade nas cidades</i>	42
3.10.3	<i>Práticas de planejamento e seleção de cidades: 4 fatores principais</i>	43
3.11	BRASIL: E INICIATIVAS ESTRUTURANTES PARA TRANSFORMAÇÃO EM LARGA ESCALA DE CIDADES INTELIGENTES	43
3.11.1	<i>Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas</i>	44
3.11.2	<i>Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas</i>	45
3.11.3	<i>Ambiente de demonstração de tecnologias para cidades inteligentes</i>	45
3.11.4	<i>Grupo de Trabalho Governamental para o Desenvolvimento de Cidades Inteligentes</i>	46
3.11.5	<i>Programa Minha Cidade Inteligente</i>	46
4	ANEXO – COMPETÊNCIAS TECNOLÓGICAS	47
4.1	CONTROLE DE TRÁFEGO CENTRALIZADO E ADAPTÁVEL	51
4.1.1	<i>Descrição da solução</i>	51
4.1.2	<i>Dispositivo</i>	52
4.1.3	<i>Conectividade</i>	54
4.1.4	<i>Suporte à aplicação</i>	54
4.2	MONITORAMENTO DE CRIMES POR SENSORES	55
4.2.1	<i>Descrição da solução</i>	55
4.2.2	<i>Dispositivo</i>	56
4.2.3	<i>Conectividade</i>	57

4.2.4	<i>Suporte à aplicação</i>	58
4.3	MONITORAMENTO POR VÍDEO (SEGURANÇA E MOBILIDADE)	58
4.3.1	<i>Descrição da solução</i>	58
4.3.2	<i>Dispositivo</i>	59
4.3.3	<i>Conectividade</i>	60
4.3.4	<i>Suporte à aplicação</i>	60
4.4	MEDIDORES INTELIGENTES E GESTÃO DA DEMANDA DE ENERGIA	61
4.4.1	<i>Descrição da solução</i>	61
4.4.2	<i>Dispositivo</i>	62
4.4.3	<i>Conectividade</i>	64
4.4.4	<i>Suporte à aplicação</i>	64
4.5	ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE	65
4.5.1	<i>Descrição da solução</i>	65
4.5.2	<i>Dispositivo</i>	67
4.5.3	<i>Conectividade</i>	68
4.5.4	<i>Suporte à aplicação</i>	68

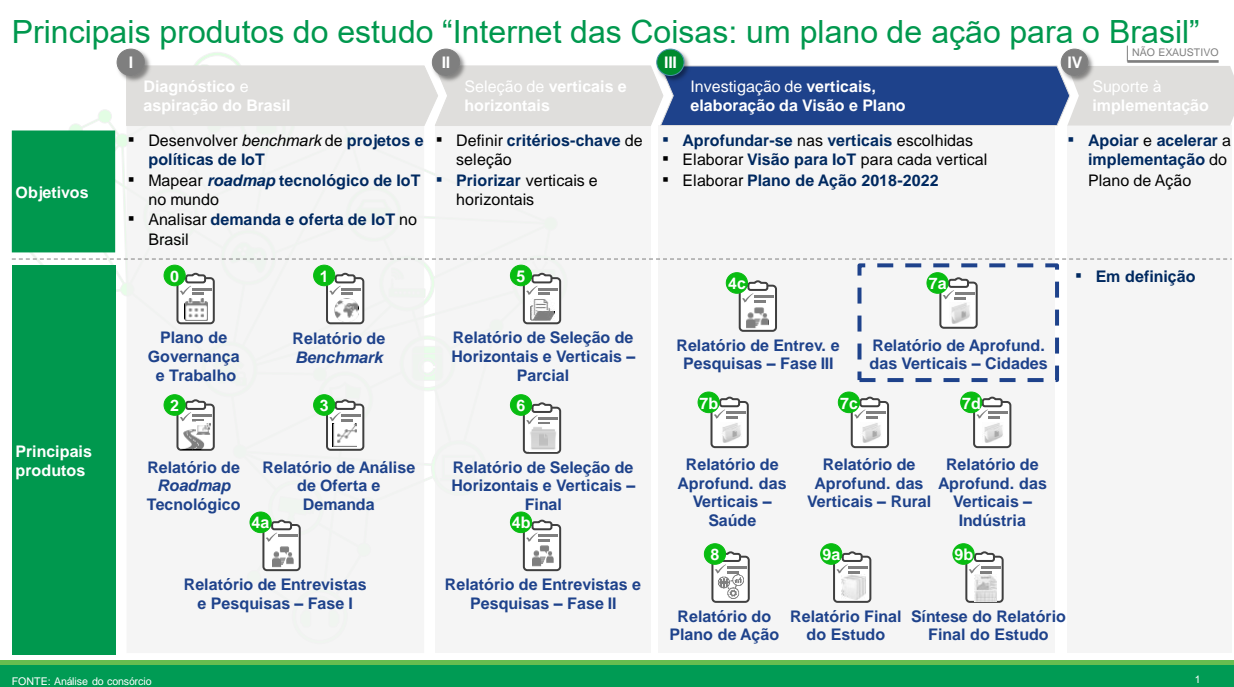
1 Contexto do estudo de IoT

O “Relatório de aprofundamento das Verticais – ambiente de cidades” é um dos capítulos do estudo *Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil*, liderado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). O objetivo do estudo é propor um plano de ação estratégico para o país em Internet das Coisas (em inglês, *Internet of Things – IoT*), e está dividido em quatro grandes fases:

- **Diagnóstico geral e aspiração para o Brasil:** obtenção de uma visão geral do impacto de IoT no Brasil, entendimento das competências de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e definição de aspirações iniciais para IoT no país.
- **Seleção de verticais e horizontais:** definição de critérios-chave para seleção e priorização de verticais e horizontais.
- **Aprofundamento e elaboração de Plano de Ação (2018-2022):** aprofundamento nas verticais escolhidas, elaboração de visão para IoT para cada vertical e do Plano de Ação 2018-2022.
- **Suporte à implementação:** apoio à execução do Plano de Ação 2018-2022.

As três primeiras fases são compostas de nove produtos principais. Este documento representa o capítulo referente ao aprofundamento das verticais priorizadas na Fase II, que é parte integrante do produto sete, inserido na Fase III do estudo, como descrito no Quadro 1:

QUADRO 1



2 Introdução à IoT no ambiente de cidades

A aplicação de Internet das Coisas (IoT) em cidades pode trazer inúmeros benefícios aos cidadãos, seja na área de transporte, segurança seja na eficiência energética, entre outras. A IoT pode, por exemplo, viabilizar importantes ganhos para os municípios, decorrentes do monitoramento em tempo real, o que permite fundamentar de maneira mais concreta o desenvolvimento de políticas públicas, com base em maior quantidade de dados.

No mundo, o ganho econômico potencial máximo que a Internet das Coisas pode trazer ao ambiente de cidades é de cerca de US\$ 1,6 trilhão em 2025¹. Apenas no Brasil, esse ganho econômico potencial é calculado em US\$ 27 bilhões. Economias com iluminação pública, monitoramento do tráfego em tempo real e redução da mortalidade causada pela violência são exemplos de áreas nas quais IoT pode trazer ganhos aos municípios.

No Brasil já existem experiências com IoT. Pilotos implementados, principalmente, em cidades pequenas e médias aparecem em número razoável, liderados, em muitos casos, por empresas do setor privado em projetos experimentais. O governo brasileiro iniciou esforços para programas estruturantes, com foco na construção de infraestrutura de conectividade robusta e também na melhoria de apoio a propostas fim nos serviços para os cidadãos.

Para ocorrer uma transformação dos municípios, fundamentada nos benefícios de IoT, o país enfrentará barreiras relacionadas com a capacitação de servidores públicos, o levantamento de recursos para investimentos em momentos de crise econômica, os desafios na contratação pública², o tratamento de dados dos cidadãos e a cooperação entre municípios, entre outras.

Este estudo apresenta os fundamentos de modelos de apoio a cidades, desde os elementos básicos para implementação de IoT até o suporte a pilotos específicos, por meio de iniciativas relevantes que abordam as barreiras mencionadas.

O objetivo deste documento é (1) entender as condições de contorno e o cenário atual brasileiro na aplicação de IoT em cidades, (2) observar programas estruturantes internacionais de referência para aplicação de pilotos de IoT em larga escala nas cidades e (3) propor iniciativas para transformação do cenário nacional de IoT em cidades, com base nos casos existentes e nas barreiras para sua implementação. Está estruturado da seguinte forma:

- Breve histórico do desenvolvimento e das dificuldades estruturais das cidades no Brasil.

¹ “Unlocking the potential of the Internet of Things”, McKinsey Global Institute, 2015

² Por exemplo, a lei nº 8.666/93

- Macrodesafios das cidades brasileiras.
- Iniciativas de utilização de IoT existentes em cidades brasileiras.
- Potencial e detalhamento das principais aplicações de IoT em cidades.
- Oferta de soluções de IoT para cidades.
- Visão e metas de IoT em cidades.
- Barreiras existentes à aplicação de IoT em cidades.
- Estudo de casos de estratégias nacionais para *smart cities*.
- A transformação do Brasil rumo às *smart cities*.

3 O Plano de Ação apoia municípios no planejamento e aplicação de IoT

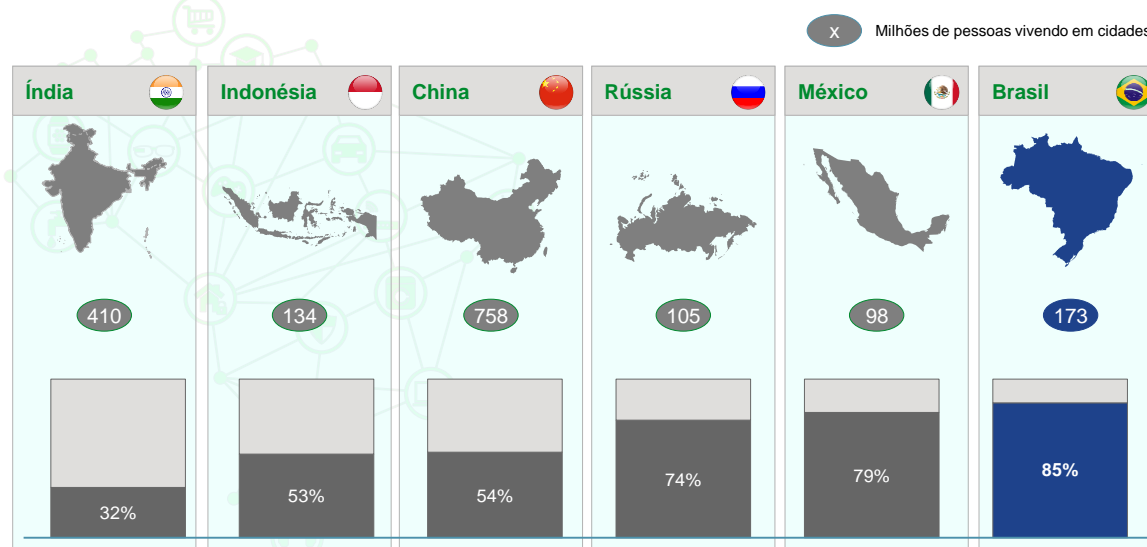
3.1 Histórico de desenvolvimento das cidades, sistema de governança e disparidades entre municípios formam as condições para o desenvolvimento das cidades

3.1.1 O Brasil e a herança de um desenvolvimento rápido e desordenado

O ambiente de cidades é central para o desenvolvimento do Brasil. Com 85% da população morando em zonas urbanas, o país possui um percentual consideravelmente maior que seus pares emergentes, como mostra o QUADRO 2.

QUADRO 2

Percentual da população de países emergentes vivendo em cidades



FONTE: IBGE – Censo e PNAD (2015); "Reforms to Accelerate the Development of India's Smart Cities Shaping the Future of Urban Development & Services", World Economic Forum 2016.

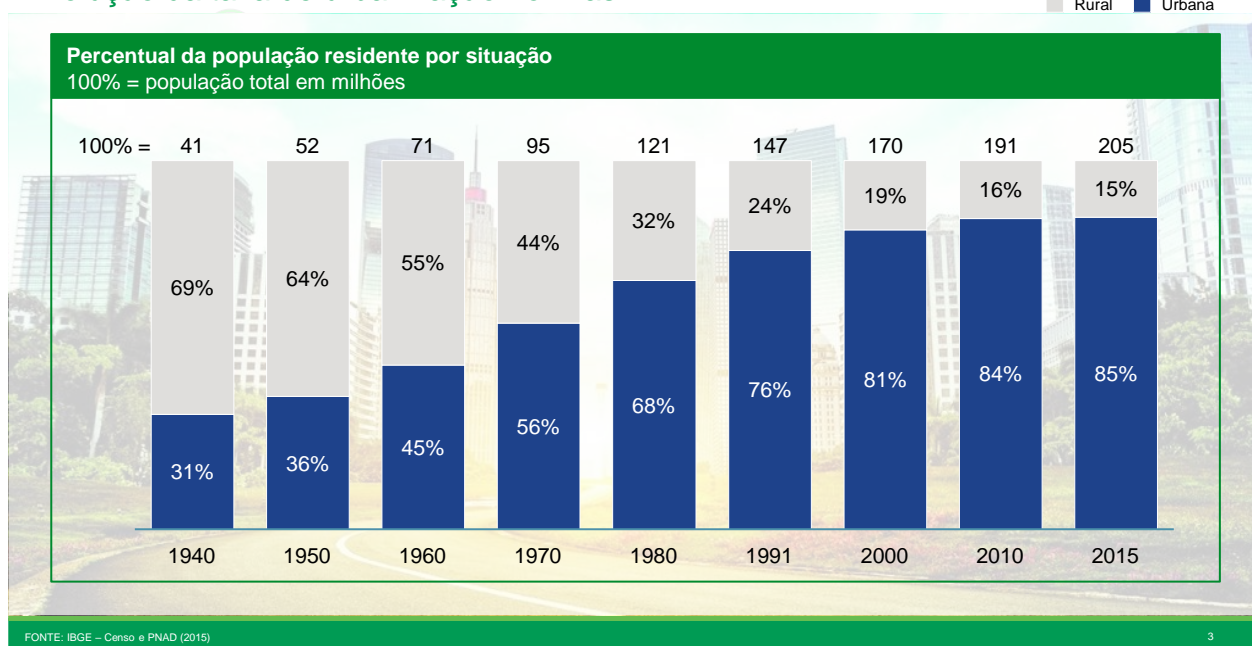
2

Com mais de 170 milhões de brasileiros vivendo em ambiente urbano, o país possui 10 das 20 maiores regiões metropolitanas da América Latina, com destaque para o Rio de Janeiro e São Paulo, ambas com população acima de 10 milhões de habitantes, o que as torna megacidades globais³.

Hoje, embora densamente urbanizado, o Brasil passou por processo acelerado de transição do campo para as cidades entre as décadas de 1950 e 1980. O crescimento acelerado da população urbana não foi acompanhado de um planejamento urbano eficaz e trouxe grandes desafios para os seus habitantes. A infraestrutura local não conseguiu absorver a crescente demanda por produtos, serviços e espaços de locomoção (Quadro 3).

QUADRO 3

Evolução da taxa de urbanização no Brasil



Além do contexto histórico de urbanização do Brasil, determinados fatores estruturais de distribuição de responsabilidades e de recursos entre as esferas de governo também precisam ser entendidos para uma discussão da Internet das Coisas em cidades.

3.1.2 Responsabilidade dos municípios e concentração de recursos em outras esferas

Apesar de os municípios e estados brasileiros possuírem responsabilidade em determinadas áreas, a União ainda é responsável pela parcela mais significativa dos recursos arrecadados: dos cerca de R\$ 2 trilhões arrecadados em impostos em 2015 no país,

³ “World Cities Report”, UN Habitat, 2016

68% vão para a União, enquanto 25% são repassados aos estados e 6% aos municípios⁴. Os recursos disponíveis por esfera, que incluem as transferências intragovernamentais, mudam pouco esse panorama: União com 55%, estados com 25% e municípios com cerca de 20%⁵.

Os municípios brasileiros possuem altas responsabilidades, como prover parcialmente os serviços de educação, saúde, segurança e habitação, e, quase exclusivamente, transporte, coleta de lixo, iluminação pública e manutenção de vias públicas.

Esses fatores contribuem para a criação de um cenário desafiador para os gestores municipais: 86% dos municípios brasileiros se encontram em situação fiscal difícil ou crítica⁶.

3.1.3 Diferenças nas capacidades fiscais, técnicas e em TIC dos municípios

Nos municípios brasileiros, observa-se uma disparidade grande entre eficiência na gestão e na utilização de TIC. As prefeituras não oferecem o mesmo nível de serviços básicos à população nem possuem mesmo nível de capacidade na gestão dos recursos financeiros e de TIC.

No “*Ranking de eficiência dos municípios*”, publicado em 2016 pela *Folha de S. Paulo*, realizado com 5.281 municípios (ou 95% do total de municípios do país), constatou-se que diferença entre as cidades é significativa. Com indicador combinado que avalia educação, saúde e saneamento, as cidades consideradas mais eficientes, com indicador na faixa de 0,65, estão distantes daquelas no extremo inferior do *ranking*, com indicador na faixa de 0,1. As regiões Sudeste e Nordeste concentram os municípios mais eficientes, enquanto a região Norte possui a maior lacuna de eficiência.

Da mesma forma, as prefeituras apresentam diferentes estágios de evolução no uso de plataformas de governo eletrônico. Nos municípios com mais de 500 mil habitantes, 100% possuem área ou departamento de tecnologia da informação (TI), enquanto nos municípios com menos de 100 mil habitantes sequer a metade possui área ou departamento de TI. Essas discrepâncias se refletem na oferta de serviços digitais ao cidadão: enquanto na região Sul 99% dos municípios possuem *site* na internet, no Nordeste esse número cai para 76%⁷.

Esses e outros desafios municipais conformam o contexto para a discussão acerca do desenvolvimento de IoT no Brasil e do bem-estar de sua população. A modernização da administração pública, a melhoria da eficiência tributária, do gasto público, e da infraestrutura de conectividade, bem como a integração do planejamento e dos sistemas

⁴ “Carga tributária no Brasil 2015”, Receita Federal, 2016.

⁵ “Relatório multi cidades 2017”, Frente Nacional de Prefeitos, 2017.

⁶ “ÍNDICE FIRJAN DE GESTÃO FISCAL 2017”, FIRJAN, 2017.

⁷ “TIC – Governo eletrônico 2015”, CETIC e CGI, 2016.

são pontos fundamentais na agenda de desenvolvimento de IoT, que são afetados pelo cenário mencionado. As dimensões específicas que compõem os desafios urbanos brasileiros serão analisadas mais de perto com base em evidências concretas, exploradas a seguir.

3.2 Desafios e oportunidades de cidades brasileiras

As cidades brasileiras apresentam vários desafios do ponto de vista do cidadão, que tocam em temas diversos, desde educação e formação humana até atividade econômica. Neste estudo, foram identificados dez eixos de oportunidades e desafios nos municípios. Embora todos sejam relevantes e contribuam para determinar a qualidade de vida dos cidadãos, identificou-se que a Internet das Coisas, através de suas aplicações, tem impacto significativo em quatro eixos: mobilidade, segurança pública, eficiência energética e saneamento, e saúde.

Os eixos **mobilidade, segurança pública, eficiência energética e saneamento** são o foco deste relatório. Como o tema **saúde** extrapola o âmbito de cidades, será abordado detalhadamente em documento específico do estudo, conforme indicado no QUADRO 4.

Cidades brasileiras: 10 eixos – e os 4 mais relevantes

Eixos	Exemplos de desafios	Potenciais aplicações de IoT ¹
 Mobilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transporte público: 3 das 50 cidades mais congestionadas do mundo são brasileiras. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temporização automática de semáforos com base nas condições do trânsito
 Segurança pública	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incidentes: o Brasil é 10º país mais violento do mundo, em termos relativos, e sua taxa de homicídios vem crescendo 4% ao ano. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensores de detecção de sons de ocorrências ▪ Identificação de ocorrências por câmeras
 Eficiência energética e saneamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestão e distribuição de recursos básicos: iluminação pública consome cerca de 4% da energia elétrica do país, com um potencial de ganho de eficiência de 40%. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iluminação pública inteligente ▪ Medidores elétricos inteligentes
 Empreendedorismo e inovação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abertura e funcionamento de negócios: empresas brasileiras gastam seis vezes mais horas para pagar impostos do que empresas do Chile e Colômbia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ —
 Urbanismo e moradia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilidade de moradia: o Brasil tem o maior déficit habitacional da América Latina, com mais de 6 milhões de famílias sem domicílio adequado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento estrutural (iluminação de ruas e pontes)
 Saúde pública	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acesso à saúde: o Brasil possui 1,9 médicos por mil habitantes, abaixo da média da OCDE (3,2) e de países como o México (2,2). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento de condições dos pacientes
 Qualidade de vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acesso à cultura: dos 39 municípios brasileiros com mais de 500 mil habitantes, apenas 33% possuem um plano municipal de cultura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ —
 Educação e formação humana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acessibilidade e qualidade da educação: no PISA, o Brasil é o 65º colocado em matemática e o 63º em ciências, de um total de 70 países. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ —
 Governança e instituições	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transparência: o Brasil se encontra no 79º lugar no <i>ranking</i> internacional de transparência e corrupção, atrás de países como África do Sul (64º) e Uruguai (21º). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ —
 Atividade econômica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empregos: em 2016, a taxa de desemprego no Brasil foi a 7ª maior do mundo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anúncios geolocalizados no transporte público

Mobilidade, segurança, eficiência energética e saneamento são as três aplicações com maior impacto de IoT

Saúde possui alto impacto e será detalhada na vertical dedicada ao tema

1 Não exaustivo

FONTE: Austing Rating, 2016; Banco Mundial "Facilidade em fazer negócios", 2017; "Déficit habitacional no Brasil | 2013-2014", Fundação João Pinheiro – 2016; "OCDE – Programme for International Assessment (PISA), 2015; "Unmask the Corrupt" Transparência Internacional, 2016; Estudo Trata Brasil "Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica, 2015"; Pesquisa ANTP 2014; IBGE – PIBM 2014; Análise do consórcio

3.2.1 Mobilidade

Entre os desafios em mobilidade urbana, destacam-se o **tempo de deslocamento e experiência no trânsito**; a **gestão do transporte público** e **formas alternativas de deslocamento**. Cada uma dessas dimensões será detalhada a seguir:

- **Tempo de deslocamento e experiência no trânsito:** o usuário do transporte particular nas cidades enfrenta desafios no dia a dia. Nos últimos 10 anos, o número de automóveis no país cresceu mais de 180%⁸. Esse fato, somado à taxa de ocupação média de 1,3 passageiro por veículo⁹, acabou impondo um cenário desafiador para o transporte, provocando congestionamento nas cidades brasileiras, que estão entre aquelas com maior índice de lentidão no trânsito do mundo – o país possui 3 das 50 cidades mais congestionadas do mundo¹⁰. Além disso, estima-se que, anualmente, o Brasil tenha prejuízos de cerca de R\$ 62 bilhões devido ao tempo perdido no trânsito das grandes cidades¹¹.
- **Gestão do transporte público:** considerando que cerca de 25% da população brasileira utiliza transporte público como principal meio de locomoção¹², o país tem oportunidades para melhorar sua rede através do aumento da eficiência, qualidade e segurança e melhoria de fatores de governança (por exemplo, transporte intermetropolitano).

Quanto à eficiência, os cidadãos de diversas cidades se encontram insatisfeitos. Em uma das três maiores cidades do país, apenas 34% dos cidadãos consideram o transporte de ônibus bom ou excelente¹³. Da mesma forma, em uma das três cidades mais populosas do Brasil, as queixas referentes aos ônibus mais que dobraram de 2012 a 2014¹⁴.

Com relação à qualidade e segurança do transporte, novamente as grandes cidades apresentam desafios. Segundo pesquisa de agência de transportes de uma metrópole brasileira, a principal crítica das mais de 120 mil reclamações recebidas em 2013 é o tempo de espera pelos ônibus de determinadas linhas, o que motivou cerca de 30% das reclamações. Em seguida, são os casos em que os motoristas não atenderam ao pedido de embarque e desembarque de passageiros, representando cerca de 20% das queixas. Motoristas que dirigem de forma perigosa ou apresentam diferentes tipos de conduta inadequada completam a lista de insatisfações.

⁸ DENATRAN – Relatórios estatísticos – frota de veículos (consulta em julho de 2017).

⁹ Taxa de ocupação média de uma das três maiores metrópoles brasileiras, segundo entrevista realizada pelo estudo.

¹⁰ TOMTOM Traffic Index (consulta em julho de 2017).

¹¹ “Mobilidade Urbana: Desafios e Perspectivas para as Cidades Brasileiras, 2015”.

¹² “Retratos da Sociedade Brasileira”, setembro de 2015, CNI.

¹³ Pesquisa da ANTP, 2014.

¹⁴ Rio Como Vamos/teleatendimento 1746.

Por fim, muitas vezes o deslocamento dos cidadãos ocorre entre municípios, como é o caso de áreas metropolitanas, ou justapõe serviços de diferentes jurisdições (por exemplo, trens e metrô estaduais, e ônibus urbanos).

- **Formas alternativas de deslocamento (por exemplo, bicicletas):** metrópoles mundiais apresentam maior quantidade de rotas de bicicletas em comparação com metrópoles brasileiras. Enquanto uma das duas maiores metrópoles brasileiras possui 3,9 km de ciclovias para cada 100 mil habitantes¹⁵, Buenos Aires possui 4,4 km para cada 100 mil habitantes. Fora da América Latina, as diferenças são ainda maiores: Londres conta com 5,9 km/100 mil habitantes, Toronto tem 18,5 km/100 mil habitantes e Melbourne, eleita a melhor cidade do mundo para se viver¹⁶, 98,5 km/100 mil habitantes¹⁷.

3.2.2 Segurança pública

A análise dos desafios de segurança nas cidades passa pelo entendimento das origens da violência, dos incidentes e da responsividade. É fundamental também ter clareza sobre o papel e as alavancas de atuação de cada esfera de governo. Além de eventualmente dispor de guarda municipal para a proteção do patrimônio público, o município pode desempenhar papel determinante por meio da melhoria de espaços urbanos (como iluminação pública, requalificação de espaços públicos) e da geração de inteligência a partir de dados de políticas de assistência social, educação e saúde. Por isso, deve atuar de forma coordenada com forças policiais estaduais.

- **Conjuntura e contexto da violência:** o Brasil, apesar de atuar no combate ao crime, poderia ser mais ativo na sua prevenção. Segundo especialistas, iniciativas para aumentar a segurança nas cidades deveriam se concentrar mais em alterar o fluxo de indivíduos em situação de risco, mas, atualmente, grande parte do esforço é direcionada ao chamado “estoque”, isto é, indivíduos que já praticam a violência. Os conceitos de segurança primária (foco no ambiente físico ou social), secundária (foco em indivíduos em situação de risco) e terciária (foco em indivíduos que cometeram delitos) geram diferentes implicações para as políticas públicas. Sendo assim, o melhor entendimento desses conceitos nas diferentes esferas do governo pode beneficiar a atuação nas respectivas atribuições.
- **Incidentes:** o Brasil ocupa o 1º lugar em número de homicídios absolutos e o 10º em violência no mundo¹⁸ em termos relativos, com crescimento na taxa de homicídios em 4% ao ano¹⁹, ou quatro vezes a taxa de crescimento populacional no mesmo

¹⁵ Dados da CET e do IBGE.

¹⁶ Segundo ranking “World’s most liveable cities, 2016”, *The Economist*.

¹⁷ Dados das bases “World Council on City Data” e “Data for Cities, 2014/2015”.

¹⁸ Dados do Banco Mundial.

¹⁹ Anuário brasileiro de segurança pública, 2016.

período (2011 a 2015). Como resultado, 19 das 50 cidades mais violentas do mundo estão no Brasil²⁰. Apesar de intensa, a violência é concentrada: 98% dos homicídios acontecem em apenas 2% dos endereços²¹.

- **Responsividade:** no Brasil, a resposta a ocorrências apresenta importantes oportunidades de melhoria. A taxa de elucidação de crimes no país, por exemplo, encontra-se distante de países de referência: somente 5%-10% dos homicídios são elucidados. Apesar de a taxa brasileira ser maior que a do México (2%), ela ainda está longe da dos Estados Unidos (60%) e do Canadá (75%)²². Entre as possíveis causas, destacam-se a baixa integração entre polícias e as oportunidades de melhoria na gestão dessas forças policiais.
- **Outros desafios (por exemplo, sentimento de segurança e terrorismo):** a confiança da população brasileira nas instituições de segurança é extremamente baixa: 57% dos brasileiros avaliam a segurança no país de forma geral como “péssima”, enquanto 26% a avaliam como “ruim”. No entanto, existe uma oportunidade de melhoria nesta questão.

3.2.3 Eficiência energética e saneamento

A qualidade do ambiente onde o cidadão vive é um importante indicador de sua condição de vida, podendo tornar-se um fator de risco para o desenvolvimento de doenças. Com relação aos recursos de energia e saneamento, a gestão e a distribuição dos serviços básicos exercem importante influência na saúde e bem-estar da população. A seguir, descrevemos os desafios e as oportunidades desses fatores no contexto brasileiro.

- **Qualidade do ar e da água:** as metrópoles brasileiras enfrentam desafios para manter um ambiente saudável para seus cidadãos. Uma das maiores cidades do país, por exemplo, apresenta concentrações de poluentes (NO₂ e O₃) 5 a 7 vezes maiores que outras metrópoles mundiais, como Londres, Buenos Aires, Bogotá e Melbourne. Quanto à qualidade da água, 44% dos pontos de monitoramento de água urbana no Brasil apresentam qualidade “ruim” ou “péssima”, sendo o recurso considerado impróprio para consumo²³.
- **Gestão e distribuição de água, energia e outros (por exemplo, resíduos sólidos):** há enormes disparidades entre as capitais quanto à gestão de recursos básicos: enquanto São Paulo possui 6,2% dos domicílios sem saneamento adequado, o Rio de Janeiro possui 14,1% e Belém 88,4%. Em Bogotá, por exemplo, apenas 1,6% dos domicílios

²⁰ Conselho Cidadão pela Seguridade Social Pública e Justiça Penal (México), 2017.

²¹ Índice obtido através de entrevistas com especialistas em segurança, no âmbito do estudo.

²² Statcan, Murderdata, Conselho Nacional do Ministério Público, INEGI, Jeong-Yong Byun & Aziz Nasridinov (2014), Dlodlo et al. (2013).

²³ “Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2013”, Agência Nacional de Águas.

não tem saneamento adequado²⁴. Com relação aos resíduos sólidos, um percentual representativo do lixo encontra destino inadequado: 41,3% de todo lixo gerado no país (o equivalente a mais de 82 mil toneladas por dia) são depositados em lixões ou aterros controlados e não em aterros sanitários²⁵. Mesmo entre os recursos distribuídos, existem desafios: em média, 37% da água tratada em todo país é perdida nos sistemas de distribuição por falta de manutenção e acompanhamento²⁶, número que pode chegar a 60% em alguns estados²⁷.

A iluminação pública também apresenta oportunidades de melhoria. O maior programa de economia de energia de uma das principais empresas do segmento no Brasil economizou, sozinho, mais de 15 bilhões de kWh somente em 2015²⁸. Como cerca de 4% da demanda por energia é em iluminação pública²⁹, a eficiência na iluminação pode representar importantes ganhos para o país.

A amplitude e complexidade dos desafios das cidades brasileiras são grandes e requerem soluções conjuntas. A Internet das Coisas pode contribuir para a superação desses desafios, em especial nas áreas descritas anteriormente. Para superá-los, iniciativas bem-sucedidas de aplicação de IoT em cidades brasileiras têm caminhado na direção de desenvolver soluções inteligentes para a população, como pode ser visto nas próximas seções.

Governança inteligente

Apesar de a IoT não gerar impacto relevante na solução de desafios de governança das instituições, sua aplicação nas cidades depende fortemente de uma articulação inteligente entre as esferas pública e privada, e a sociedade. Mais detalhes sobre esse assunto podem ser encontrados no relatório do Plano de Ação.

3.3 Iniciativas brasileiras com a implementação de IoT para superação de desafios urbanos

A Internet das Coisas já é realidade em diversas cidades, com geração de benefícios significativos e demonstração de potencial de avanço. O exame dos casos permite

²⁴ IBGE, PNAD 2015; World Council on City Data - Data for Cities 2014/2015

²⁵ "Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015" - ABRELPE

²⁶ Estudo Trata Brasil "Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica - 2015"

²⁷ Índice obtido através de entrevistas com especialistas em saneamento, no âmbito do estudo.

²⁸ "Resultados PROCEL 2017", Eletrobrás

²⁹ PROCEL RELUZ, Eletrobrás.

compreender os fatores-chave para adoção e perceber as barreiras e riscos do atual cenário.

As principais características dos projetos de IoT existentes no Brasil são:

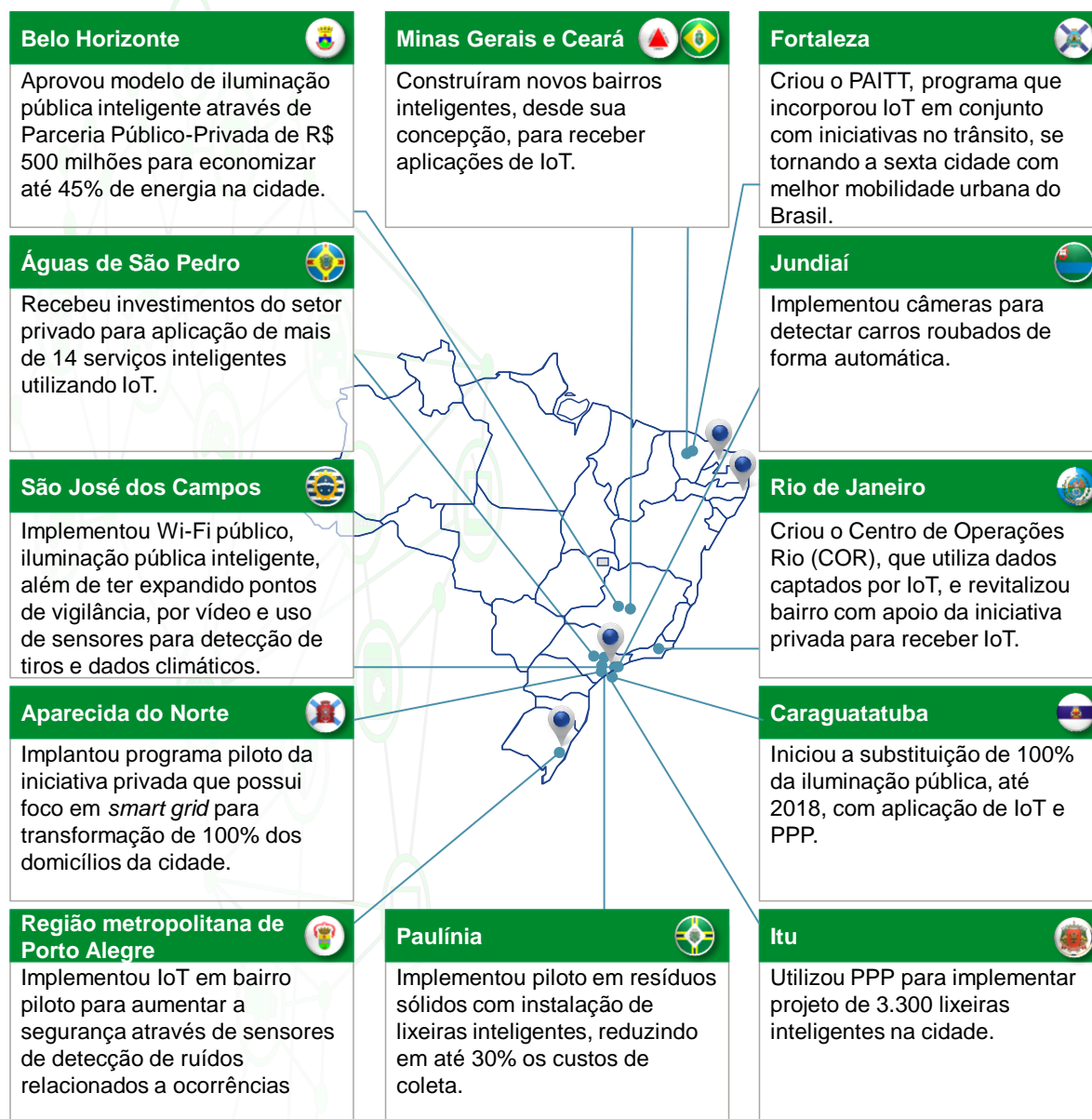
- **Adoção de projetos piloto de concessionárias ou operadoras de telefonia com recursos de P&D**, sem objetivos imediatos de escalar soluções para o universo de suas áreas de atuação. Na maioria dos casos, a responsabilidade pelo planejamento, implantação e uso dos dados é das empresas.
- **Capacidade técnica e de gestão significativamente maior do que a média nacional nos municípios que tiveram papel ativo na adoção de serviços IoT**. Essa capacidade mostra-se determinante para a extração de maiores benefícios das tecnologias (gestão própria dos dados, compartilhamento dos benefícios gerados com a população, flexibilidade das infraestruturas para integração ou adaptação a futuras soluções). Sem o fortalecimento da capacidade técnica local, a possibilidade de multiplicação desses casos é limitada.
- **Grande presença de aplicações em energia, com o novo cenário de iluminação pública**, marcado pela transferência da titularidade do serviço para municípios e pela viabilidade do modelo de negócios baseado em parcerias público-privada (PPPs). Apesar de o novo modelo indicar elevados ganhos de eficiência e redução de custos, as administrações municipais precisam estar fortalecidas para implementação de contratos que viabilizem o justo compartilhamento dos ganhos, mantenham manter flexibilidade para a incorporação de novos sensores e contenham indicadores claros para acompanhamento da qualidade do serviço prestado. Mais do que a simples substituição de lâmpadas pela tecnologia LED (*Light Emitting Diode*)³⁰, os projetos de referência de IoT em iluminação pública utilizam inteligência na rede e tecnologias de sensoriamento no poste, dimerização e acionamento por movimentação e presença.

Além das cidades que aplicaram IoT, centros de pesquisa especializados no tema de *smart cities* também representam importantes exemplos de mobilização desse assunto no país.

³⁰ *Light Emitting Diode*, ou “diodo emissor de luz”, que permite reduzir a energia gasta com iluminação.

QUADRO 5

Uso de IoT em cidades e centros de pesquisa



Centros de pesquisa em *smart cities*

NÃO EXAUSTIVO



- **Living Labs (Natal)**: Projeto *Smart City* promovido pela IEEE e BID.
- **Porto Digital (Recife)**: Laboratório de Objetos Urbanos Conectados (L.O.U.Co).
- **Tecnopuc (Porto Alegre)**: Centro de referência em *Smart City*, da PUCRS.
- **Facens (Sorocaba)**: *Smart Campus* de cidades inteligentes.

FONTE: websites de prefeituras, press clippings

2

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos recentes casos de adoção de IoT em cidades brasileiras.

3.3.1 Fortaleza: 6ª cidade com melhor mobilidade urbana do Brasil

Lançado em 2013, o Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito de Fortaleza (PAITT) é um programa para melhorar a fluidez e velocidade do trânsito em Fortaleza. Segundo o prefeito responsável pelo programa, “[...] o PAITT envolve o uso do conhecimento, tecnologia e fiscalização para resolver problemas de trânsito”. Ele inclui duas iniciativas relacionadas com IoT: implementação de GPS em ônibus para permitir maior previsibilidade no itinerário das linhas e um projeto piloto de compartilhamento de carros elétricos com recursos de IoT.

O programa alcançou impactos importantes na cidade. A velocidade média em vias consideradas fundamentais no programa teve aumento de até 54%, e o tempo de viagem nessas mesmas vias caiu até 36%.

3.3.2 Águas de São Pedro: investimentos do setor privado em IoT

A pequena cidade de Águas de São Pedro, localizada no estado de São Paulo, tornou-se referência em cidades inteligentes após um projeto financiado por uma grande operadora de telecomunicações em parceria com multinacionais de equipamentos de telecomunicação, *startups* de tecnologia e fundações.

Iniciado em 2013, o projeto envolveu 14 serviços inteligentes, com destaque para a implementação de:

- Vagas de estacionamento com sensores que ajudam a mapear onde é possível estacionar.
- Lâmpadas com sensores que monitoram sua vida útil e indicam quando estão prestes a queimar, além de sensores de presença que as ligam de forma autônoma.
- Câmeras com sensores que identificam veículos circulando em contramão.

Como consequência do projeto, houve uma redução de 35% no consumo de energia na área piloto implantada e aumento da velocidade de conexão de internet em 150%.

3.3.3 Aparecida do Norte: programa piloto da iniciativa privada em *smart grid*

Criado em 2011 pela concessionária de energia da cidade, em parceria com a Secretaria de Energia de São Paulo e a Prefeitura de Aparecida, o projeto prevê a instalação de medidores inteligentes em torno de seus 15 mil domicílios. O projeto também planeja implementar pilotos de eficiência energética, mobilidade elétrica (com instalação de cinco pontos de recarga de veículos elétricos) e iluminação pública eficiente (substituição de mais de 200 luminárias públicas com redução prevista de mais de 40% do consumo de energia).

3.3.4 O Rio de Janeiro: revitalização de bairro para utilização de IoT

Fundado em 2010, o Centro de Operações Rio (COR) integra cerca de 30 agências da cidade que acessam dados de câmeras e sensores com objetivo de melhorar o trânsito e a gestão de emergências na cidade. Referência na América Latina em cidades inteligentes, o COR monitora dados de ativos fixos, semidinâmicos e em tempo real, para informar a população e os gestores públicos de forma ágil.

Também no Rio de Janeiro, a região da Praça Mauá foi escolhida para as transformações do Programa de Inovação Social e Urbana de empresa multinacional de conectividade. Ele apresenta 15 soluções inteligentes desenvolvidas pela empresa e *startups* de tecnologia, e suas principais soluções em IoT incluem:

- **Monitoramento da qualidade do ar:** sete estações ambientais, integradas à plataforma de IoT capturam informações climáticas em tempo real para analisar as tendências da cidade.
- **Monitoramento e gerenciamento de bueiros:** sistema monitora e gerencia o lixo sólido acumulado nos 28 bueiros da região com sensores volumétricos e coletores removíveis conectados, que avisam automaticamente quando estão obstruídos.
- **Sensores de ruído:** sistema programado para detectar ruídos incomuns na área, como tiros e explosões, e informar automaticamente a central de controle.

3.3.5 Região metropolitana de Porto Alegre: implementação de IoT em bairro piloto aumenta segurança

Primeira na América Latina a implementar a tecnologia, Canoas, cidade da região metropolitana de Porto Alegre, conta com mais de 30 sensores para detectar ruídos de alerta, como disparos de armas de fogo, que avisam automaticamente a Central Integrada de Monitoramento do Gabinete de Gestão Integrada Municipal. O bairro escolhido para o piloto, Guajuviras, sofria com altos índices de homicídio, que foram reduzidos em 38% com a adoção de ações de segurança, por meio da instalação dos equipamentos.

3.3.6 Paulínia: implementação de piloto em resíduos sólidos com instalação de lixeiras inteligentes

Uma das pioneiras a usar o sistema de lixeiras inteligentes na América Latina, Paulínia instalou cerca de 25 estações de coleta de lixo na cidade, reduzindo em até 30% os custos desse serviço. Além de o sistema informar automaticamente quando está cheio, evita enchentes, por ser subterrâneo, e otimiza a mão de obra utilizada na coleta dos resíduos.

3.3.7 Minas Gerais e Ceará: novos bairros inteligentes construídos para utilização de IoT

O bairro da Granja Marileusa, em Uberlândia (MG), foi criado pela iniciativa privada para receber aplicações de IoT. Com infraestrutura de rede de energia e dados, oito dutos de telefonia e redundância, o bairro tem mais de 95 casas com monitoramento por vídeo e fibra óptica instalada. Equipado de lixeiras com sensores de volume, o bairro ainda deu origem a um micropolo tecnológico e possui espaço de *coworking* para atrair empresas inovadoras.

Já o projeto *Smart City Laguna*, desenvolvido em Croatá (CE), também realizado pela iniciativa privada, pretende ser a primeira cidade inteligente social do planeta. Criado em 2011, ele se baseia nos pilares de inclusão social, planejamento urbano, meio ambiente e tecnologia. Com a construção de casas apoiadas pelo programa Minha Casa, Minha Vida, o bairro prevê uso gratuito de tecnologias que obtêm informações sobre o local e o monitoramento de recursos como água e energia. O projeto já possui parceiros privados para o fornecimento de medidores inteligentes, postes inteligentes, sinal gratuito de *Wi-Fi* e sistemas de segurança³¹.

³¹ “Bairros que já nascem digitalizados”, *Valor econômico*, 2017.

3.3.8 Belo Horizonte: modelo de iluminação pública inteligente através de Parceria Público-Privada (PPP)

Eleita a quarta cidade mais inteligente e conectada do Brasil³², Belo Horizonte será a primeira capital do país a utilizar serviço de telegestão em sua iluminação pública, que trará 45% de economia de energia, permitirá maior controle e monitoramento específico de cada local de iluminação, e viabilizará:

- A alteração da intensidade da iluminação, gerando mais economia ao município.
- A troca de informações e integração do serviço com outros equipamentos, como semáforos e câmeras.
- A atuação mais rápida na manutenção do sistema, sem necessidade de vistoria ou denúncia.
- Futuramente, a criação de uma grande rede *Wi-Fi*.

O contrato, de aproximadamente R\$ 500 milhões, terá duração de 20 anos e contemplará 185 mil postes em todo o município.

3.3.9 Caraguatatuba: substituição de 100% da iluminação pública com aplicação de IoT e PPP e

Uma das primeiras cidades do estado de São Paulo a firmar uma PPP para a iluminação pública, Caraguatatuba já substituiu cerca de 6 mil lâmpadas e planeja trocar 100% da iluminação pública até julho de 2018. Implantando o sistema de luminárias preparadas como plataforma básica para a criação de uma rede *smart grid*, ele permite que o prefeito controle e receba informações da rede por um *smartphone*. No futuro, podem ser instalados *microchips* capazes de receber aplicativos, como câmeras de segurança, *Wi-Fi* e detectores de sons.

3.3.10 São José dos Campos: implementação de soluções de IoT

Considerada a 37^a cidade mais inteligente do país³³, São José dos Campos, por meio de parceria com o setor privado, vem empregando sensores climáticos e de detecção de disparos e de ruídos, por exemplo, para medir temperatura, umidade e níveis de CO₂. A cidade também se beneficiará da introdução de uma rede de *Wi-Fi* pública, de um sistema de iluminação pública inteligente, de um sistema de resposta de emergência, composto por 500 câmeras conectadas, de sistemas de *software* e de 205 km de cabos de fibra óptica.

³² Ranking "Connected Smart Cities 2017".

³³ Ranking "Connected Smart Cities 2017".

3.3.11 Itu: utilização de PPP para projeto de 3.300 lixeiras inteligentes

Localizada no interior de São Paulo, Itu, por meio de PPP, vigente até 2041, implantou um sistema inteligente de coleta de resíduos, com 3.300 contêineres distribuídos pela cidade. Os contêineres de resíduos possuem sensores que alertam quando está chegando ao limite. Após estudos que levam em conta a existência de estabelecimentos geradores de resíduos, os contêineres também estão conectados a um sistema de monitoramento capaz de indicar a necessidade de reparos ou substituições. As economias e ganhos de eficiência são resultado da melhor roteirização da coleta (em função da carga de cada contêiner)³⁴.

³⁴ “Caminho para as *Smart Cities*, da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente”, BID 2016.

3.4 Aplicação em larga escala de IoT em cidades e seu impacto econômico

Com base nas aplicações de IoT em cidades, realizou-se uma seleção das três principais categorias, em função da captura de valor esperada, da facilidade de implementação de determinada aplicação no contexto brasileiro e, por fim, da capacidade de a aplicação habilitar outras tecnologicamente. O impacto econômico potencial dessas aplicações é de aproximadamente U\$ 27 bilhões.

As aplicações selecionadas estão destacadas nos quadros 6 a 8 e são descritas em mais detalhes no anexo Detalhamento tecnológico das aplicações.

Principais aplicações de IoT em cidades (1/2)

 Selecionados para detalhamento  Muito baixa  Muito alta

Desafio	Aplicação	Descrição	Captura de valor esperada ¹	Alavancas de impacto principais
 Mobilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Câmeras de trânsito 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realização de <i>analytics</i> em tempo real de <i>streaming</i> de vídeos registrados por câmeras que monitoram o trânsito para ajustar os semáforos, otimizando o fluxo. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhoria da fiscalização das leis de trânsito
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controle de tráfego centralizado e adaptável 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de câmeras, dados de celulares e sensores para monitorar o tráfego e alterar os semáforos, otimizando o fluxo (p. ex., para ônibus); redirecionamento do tráfego para evitar uma área com problema, e otimizar rotas de ônibus. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de acidentes em 40%
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faixas de congestionamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de precificação baseada na demanda para gerenciar o trânsito – tarifas para circular em faixas de trânsito ou dirigir em áreas específicas da cidade. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuição no congestionamento
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestão/atualizações de horários de ônibus/trens 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emprego de sensores em ônibus e trens para viabilizar um planejamento melhor das rotas, alavancar o trânsito multimodal e informar usuário sobre tempo de espera nos pontos de embarque. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução do tempo de espera dos passageiros
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção do transporte público baseada em condições 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de sensores em ônibus e trens para realizar manutenção sob demanda mais eficiente. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de quebras de meios de transporte público
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento da condução de veículos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilização de sensores embarcados e tecnologia de processamento de imagem para avaliação de perfil de condução de motoristas de transporte coletivo e individual (p. ex., aceleração e consumo de combustível). 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução do mal uso de equipamentos
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precificação e parquímetros inteligentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oferecimento de <i>insight</i> em tempo real sobre locais disponíveis, e viabilização da precificação dinâmica para otimizar a oferta e a demanda. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuição no trânsito devido a estacionamento inteligente
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Navegação de carros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carros conectados a outros ativos para aprimorar o monitoramento. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento da facilidade de encontrar postos de serviços
 Segurança pública	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento de crime por vídeo e sensores 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de circuito fechado de TV e sistema de monitoramento de áudio para viabilizar resposta e coordenação em tempo real, assim como <i>analytics</i> preditiva por meio de dados históricos 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de crimes em 20%
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestão de desastres 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de sensores distribuídos para detectar ameaças precocemente e coordenar respostas. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de mortes em acidentes
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atendimento de emergência 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de tecnologias de supervisão, coordenação e transporte para gerenciar e mitigar emergências com mais eficiência. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Economia de gastos com atendimento emergencial

¹ Estimativa qualitativa realizada com a equipe de especialistas setoriais do BNDES

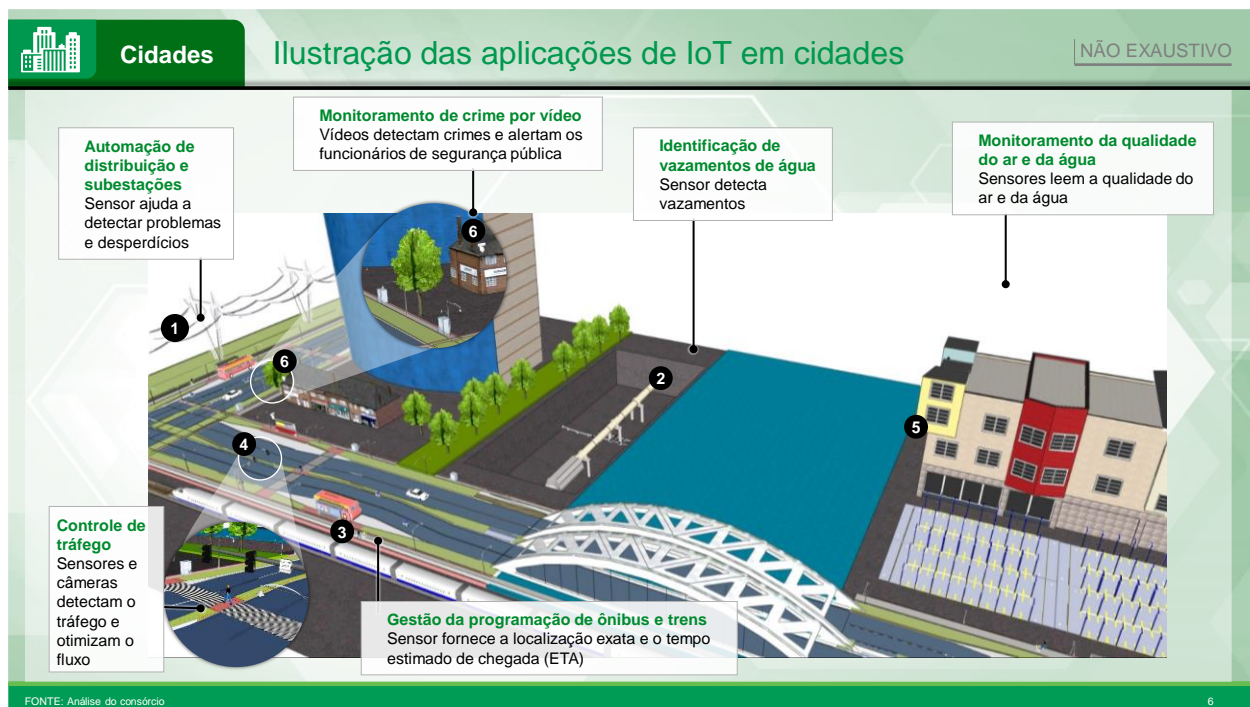
Principais aplicações de IoT em cidades (2/2)

 Selecionados para detalhamento  Muito baixa  Muito alta

Desafio	Aplicação	Descrição	Captura de valor esperada ¹	Alavancas de impacto principais
 Eficiência energética e saneamento	▪ Identificação de vazamentos de água	▪ Uso de sensores em canos, bombas e demais partes da infraestrutura hidráulica para monitorar condições e gerenciar perdas por meio de identificação e reparo de vazamentos ou mudança de pressão, conforme a necessidade.		▪ Redução dos vazamentos de água em 40%-50%
	▪ Medidores inteligentes de energia elétrica	▪ Redução de custos operacionais de leitura de medidores e prevenção de roubos.		▪ Redução de 50% de perdas não técnicas
	▪ Iluminação pública inteligente	▪ Utilização de sensores de monitoramento e de queima de lâmpadas para otimizar o uso e a substituição de ativos de iluminação pública.		▪ Redução de custos operacionais de energia
	▪ Medidores de água inteligentes e gestão da demanda	▪ Redução dos custos operacionais e viabilização da coleta de dados sob demanda em tempo real – fornecer aos residentes e gerentes de propriedades dados de consumo de água em tempo real para que eles possam identificar onde o consumo está ocorrendo e também onde há vazamentos.		▪ Redução da demanda de água em 5%
	▪ Automação de distribuição e subestações de energia	▪ Uso de automatização na subestação para reduzir perdas na linha de distribuição, reparo automático de defeitos na linha, e melhor gerenciamento dos equipamentos da subestação com aparelhos eletrônicos inteligentes.		▪ Redução 4% de perdas nas linhas de transmissão
	▪ Lixeiras inteligentes	▪ Otimização das rotas de coleta de resíduos de lixeiras através do uso de sensores de monitoramento de capacidade.		▪ Redução de custos operacionais na coleta de lixo
	▪ Monitoramento da qualidade da água	▪ Uso de sensores distribuídos para monitorar a qualidade da água nos canos, rios, lagos etc.		▪ Redução de doenças relacionadas à qualidade da água
	▪ Monitoramento da qualidade do ar	▪ Emprego de sensores distribuídos para monitorar partículas suspensas no ar.		▪ Redução de doenças relacionadas à qualidade do ar
	▪ Tarifação inteligente de resíduos sólidos	▪ Uso de <i>tags</i> de identificação por radiofrequência para cobrança automática de taxa variável de acordo com o consumo.		▪ Melhoria da produtividade em 23%
	 Outros	▪ Monitoramento estrutural (iluminação de ruas e pontes)	▪ Realização de manutenção preventiva sob demanda com sensores localizados na infraestrutura.	
▪ Anúncios geolocalizados no transporte público		▪ Seleção de anúncios em tempo real de acordo com região de passagem do transporte público.		▪ Melhoria na taxa de retorno dos investimentos em publicidade
▪ Melhoria da eficiência de ativos por meio de IoT		▪ Uso de sensores para coleta de dados sobre as condições das rodovias e os padrões de direção, por exemplo, usando dados para aprimorar a eficiência operacional.		▪ Economia de custo operacional de manutenção de ativos
▪ Realidade aumentada para crescimento de produtividade humana		▪ Uso de realidade aumentada para aplicação da lei e de serviços de correio, por exemplo.		▪ Economia no uso de mão de obra e aumento da agilidade

¹ Estimativa qualitativa realizada junto à equipe de especialistas setoriais do BNDES



QUADRO 8



3.5 Competências tecnológicas essenciais para desenvolver IoT em cidades

Realizado o desenho de possíveis soluções para as aplicações selecionadas, o QUADRO 9 apresenta o grau de relevância de cada tipo de tecnologia para essa vertical, atribuída em razão do número de aplicações em que ela foi utilizada, sendo relativizada à soma ponderada máxima.

Cidades - Necessidade tecnológicas

Aplicação	Nome	Controle de tráfego centralizado e adaptável	Monitoramento de crime por sensores	monitoramento por vídeo (segurança e mobilidade)	Medidores inteligentes e gestão da demanda de energia	Iluminação pública inteligente	Necessidade
Dispositivos 	▪ Armazenamento de energia				✓	✓	○
	▪ Atuadores						○
	▪ Energy harvesting						○
	▪ Integração de componentes				✓	✓	○
	▪ Módulo de geolocalização	✓					○
	▪ Sensores biológicos/químicos						○
	▪ Sensores eletro/magnéticos	✓			✓	✓	○
	▪ Sensores eletro/mecânicos		✓				○
	▪ Sensores ópticos/imagem	✓		✓		✓	○
	▪ Sistema embarcado compacto						○
	▪ Sistema embarcado de alto desempenho	✓	✓	✓	✓		○
	▪ Sistema embarcado de baixo consumo						○
▪ Smart tag	✓					○	
Conectividade 	▪ Redes Low Power Wide Area		✓		✓	✓	○
	▪ Redes cabeadas	✓		✓	✓	✓	○
	▪ Redes celular	✓	✓		✓	✓	○
	▪ Redes de curto alcance e alta banda						○
	▪ Redes de curto alcance e baixa banda	✓					○
	▪ Redes mesh				✓	✓	○
	▪ Redes Ultra Wideband						○
Suporte à aplicação 	▪ Advanced Analytics	✓					○
	▪ Analytics				✓	✓	○
	▪ Banco de dados não relacional	✓					○
	▪ Banco de dados relacional	✓	✓	✓	✓	✓	○
	▪ Computação de alto desempenho	✓		✓			○
	▪ Edge computing	✓			✓		○
	▪ Geoanalytics	✓	✓				○
	▪ Middleware IoT em nuvem				✓		○
	▪ Middleware IoT on premises	✓	✓	✓		✓	○
▪ Visão computacional	✓		✓			○	
Segurança da informação 	▪ Criptografia embarcada	✓			✓		○
	▪ Anti jamming	✓					○
	▪ Anti tampering	✓					○
	▪ Assinatura digital	✓					○
	▪ Blockchain						○
	▪ Controle de acesso ao dispositivo	✓		✓		✓	○
	▪ Falha segura	✓					○
	▪ Firmware seguro	✓		✓			○
	▪ Ingresso seguro à rede de acesso	✓	✓	✓	✓	✓	○
	▪ Prevenção a DDoS	✓		✓	✓	✓	○

FONTE: Análise do consórcio

Os quadros 10 e 11 apresentam um panorama entre as necessidades de tecnologias que as aplicações relevantes na vertical demandam e a respectiva capacidade tecnológica do país. Conduziu-se uma análise qualitativa para cada tecnologia demandada na vertical, bem como para a mesma tecnologia no que se refere à capacidade tecnológica local.

A relevância da tecnologia para o desenvolvimento das aplicações na vertical é indicada por um ícone na forma de um círculo preenchido. Quanto mais preenchido, mais relevante é a tecnologia para a vertical.

Já a capacidade tecnológica³⁵ local é indicada por ícones semaforicos, atribuídos em função do número de atores³⁶ com competências necessárias para o desenvolvimento da referida tecnologia, conforme respondido na pesquisa “3º Bytes de IoT”, conduzida nos meses de maio e junho de 2017. Sendo assim, se uma dada tecnologia possui número elevado de atores capacitados para explorá-la, o ícone é verde. Os ícones amarelo e vermelho derivam dessa análise³⁷.

O QUADRO 10 mostra a análise para a camada de dispositivos na vertical cidade. Como observado, as tecnologias mais relevantes para o desenvolvimento de aplicações na vertical são sistemas embarcados de alto desempenho, além de integração de componentes, atuadores e sensores de diversos tipos. Contudo, nota-se nessa camada uma capacidade limitada de desenvolvimento local.

³⁵ A capacidade tecnológica dos atores foi mapeada por meio de auto declaração.

³⁶ Atores incluem empresas e ICTs que responderam à pesquisa.

³⁷ Foram atribuídas notas para cada tecnologia em função do número de atores que declararam trabalhar com determinada tecnologia. As notas foram obtidas através da normalização do número de atores para uma escala de 0 a 10, onde nota maior que 6 foi atribuído o sinal verde indicando que mais de 60% dos atores da amostra do Bytes tem capacidade em determinada tecnologia. Para as notas entre 3 e 6 foram atribuídos os sinais amarelos e notas menores que 3 foram atribuídos os sinais vermelhos.

QUADRO 10

Cidades: necessidades e capacidades na camada de dispositivos



Fonte: 3º Bytes de IoT, análise do consórcio

O QUADRO 11 apresenta a análise para a camada de rede na vertical cidade. Verifica-se que as tecnologias mais relevantes para o desenvolvimento de aplicações nessa vertical são as redes *Low Power Wide Area* (LPWA), além das tradicionais redes cabeadas e celulares. Quanto à capacidade tecnológica local, grande parte dos atores tem estrutura para desenvolver tecnologias nessa camada, porém observa-se carência em redes LPWA e celulares.

QUADRO 11

Cidades: necessidades e capacidades na camada de rede



Fonte: 3º Bytes de IoT, análise do consórcio

O QUADRO 12 apresenta a análise para a camada de suporte à aplicação na vertical cidade. Destaca-se nessa camada a tecnologia de banco de dados relacional e de *middleware IoT on premises*, ambas muito relevantes para o desenvolvimento de

aplicações na vertical. Com relação à capacidade tecnológica local, os atores desse ambiente possuem capacidade de explorar principalmente tecnologias de *analytics* e banco de dados (relacional e não relacional)³⁸.

QUADRO 12³⁹



Por fim, o QUADRO 13 mostra a análise para a camada de segurança na vertical. Nesta vertical, observa-se que as tecnologias de segurança são particularmente relevantes, com destaque para controle de acesso ao dispositivo, *firmware* seguro, ingresso seguro à rede de acesso e prevenção contra negação de serviço. No que tange à capacidade tecnológica local, as principais lacunas encontram-se nas tecnologias de *anti tampering*, falha segura e *firmware* seguro.

³⁸ O Anexo contém um dicionário de termos técnicos.

³⁹ O conceito de *edge computing* neste relatório também engloba o conceito de *fog computing*. Tanto a *fog computing* quanto *edge computing* envolvem o direcionamento das capacidades de inteligência e processamento para perto de onde os dados são originados como, por exemplo, os sensores. A principal diferença entre as duas arquiteturas ocorre onde essa inteligência e poder de processamento são colocados. O *fog computing* direciona a inteligência para área local da arquitetura da rede, processando dados em um *fog node* ou *gateway* de IoT. O *edge computing* direciona a inteligência, o poder de processamento e as capacidades de comunicação de um *gateway* ou dispositivo de borda diretamente para controladores de automação programáveis.

QUADRO 13

Cidades: necessidades e capacidades na camada de segurança



Fonte: 3º Bytes de IoT, análise do consórcio

É também importante destacar que a interoperabilidade entre sistemas é altamente relevante nas cidades inteligentes, porém os desafios para a sua realização são grandes. De forma mais intensa, nas cidades os diversos serviços são tratados em domínios segregados, por exemplo, os sistemas de controle de tráfego são implantados e geridos por entidades apartadas daquelas que controlam serviços de *utilities*, como distribuição de energia elétrica e água.

Embora a segregação seja necessária para tornar factível a administração de diversos serviços, com a implantação de soluções de IoT muito do valor ocorre pela correlação dos dados gerados pelos vários sistemas e da atuação sinérgica entre eles. Tomando por exemplo as aplicações detalhadas no Anexo, o tratamento das imagens da aplicação de monitoramento por vídeo torna-se mais eficaz a partir do uso de alarmes gerados pela aplicação de monitoramento de crime por sensores.

Igualmente, a interoperabilidade resulta na redução de custos de infraestrutura e operação. Mais uma vez, pegando como exemplo as aplicações de destaque, a infraestrutura de comunicação para criar redes *mesh* para a conexão de luminárias inteligentes pode ser compartilhada por medidores inteligentes de energia elétrica, de forma que um dispositivo passa a ser um meio de comunicação para outro. Para tornar isso possível, os mesmos protocolos de comunicação e mecanismos de segurança devem ser adotados pelas aplicações. O uso de padrões também resulta na otimização do time de operação, sendo o investimento em treinamento menor já que menos soluções são adotadas.

Em relação ao poder público municipal, para que uma transformação do uso de dados seja real e duradoura, os novos bens e serviços contratados pelos municípios devem estar orientados e preparados para IoT. Alguns dos principais critérios de contratação e concessão de produtos e serviços orientados a IoT poderiam ser: integração da empresa proponente com universidades, adoção obrigatória de requisitos de segurança e privacidade de dados, interoperabilidade dos produtos de comunicação, entre outros.

Um exemplo de trabalho que pode ser impulsionado pelo poder público municipal para incentivar a interoperabilidade vem da Suécia. Dirigido pelo município de Uppsala⁴⁰, foi implementado um *testbed* para apoiar o monitoramento da poluição do ar e o planejamento de tráfego. O objetivo do projeto é reduzir a poluição do ar através do monitoramento ativo, gerenciamento de tráfego, e melhor planejamento urbano. Para isto, foi implementada uma plataforma que suporta uma ampla gama de aplicações de IoT e será baseada em padrões abertos. A plataforma fornece APIs e dados para que terceiros possam acessar a rede de sensores, dados e fazer uso de serviços da nuvem. Neste contexto, o projeto visa incentivar o teste de soluções interoperáveis de IoT em grande escala.

Apesar das barreiras existentes, fomentar a interoperabilidade é de suma importância para que a cidade inteligente obtenha maior valor das soluções de IoT, não se limitando a um conjunto de soluções tecnológicas estanques. Portanto, a criação de uma rede de inovação, apresentada na seção 3.6, é fundamental para o fomento do debate entre demandantes e ofertantes de modo a promover a realização de ações como a criação de *testbeds* para validação da interoperabilidade das soluções.

3.6 Desafios para o desenvolvimento da capacidade local

Notoriamente, o número de atores de pequeno porte, ou mesmo *startups*, é muito expressivo: 35% de todas as ofertantes possuem menos de 10 funcionários e outras 35% possuem mais de 100 funcionários. Apesar de a atuação de atores menores representar dinamismo e atratividade na vertical, o número elevado traz incerteza quanto ao desenvolvimento desse cenário nos próximos cinco ou dez anos.

O cenário descrito também traz oportunidades que, se aproveitadas, podem gerar grande impacto na vertical. Na dinâmica observada, em que as instituições de pesquisa e empresas se interessam cada vez mais em desenvolver soluções com essa finalidade, sugere-se a criação de mecanismos pelos quais demandantes e ofertantes possam interagir e alinhar esforços e investimentos, que sejam incentivados à luz desse alinhamento. Tais

⁴⁰ Internet of Things for Smart Cities: Interoperability and Open Data (Bent Ahlgren et al., 2016)

mecanismos tendem a fomentar inovação capaz de transformar a vertical em âmbito nacional, reduzindo os custos de melhoria urbana e proporcionando melhor qualidade de vida à população.

Essa forma de interação entre demandantes, ofertantes e entidades de apoio, também conhecida como “rede de inovação”, possui grande apelo para a vertical cidades, assim como para as demais verticais priorizadas, e será aprofundada nos próximos documentos deste estudo, em especial no Plano de Ação.

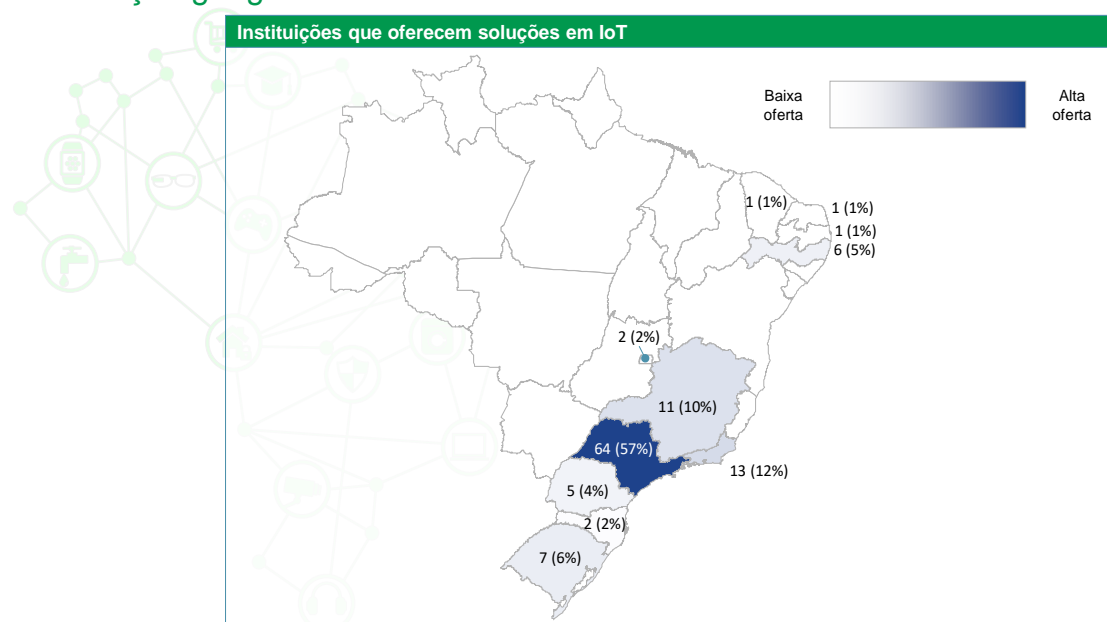
3.7 O Brasil e as ofertas de soluções tecnológicas de IoT para cidades

Diversos atores internacionais possuem ofertas de soluções em IoT. Como exemplo recente, em 2017, uma grande empresa do setor de TIC lançou uma solução inteligente para mobilidade, especificamente para veículos de transporte coletivo sobre rodas na África do Sul e parte do continente africano. O sistema permite o controle completo de tráfego, com monitoramento por vídeo, direcionamento do tráfego, controle de semáforos e comandos em tempo real para emergências.

No Brasil, também há ofertas de soluções de IoT para cidades. Pelo menos 113 instituições, entre empresas, universidades e institutos de ciência e tecnologia, já ofertam algum tipo de solução para cidades⁴¹. Concentradas principalmente na região Sudeste (QUADRO 14), uma parcela significativa dessas instituições atua em mercados internacionais: mais de 55% delas já prestaram serviços ou comercializaram produtos no exterior.

QUADRO 14

Distribuição geográfica da oferta brasileira de IoT no ambiente de cidades



FONTE: Bytes de IoT, "Mapa brasileiro de IoT"

4

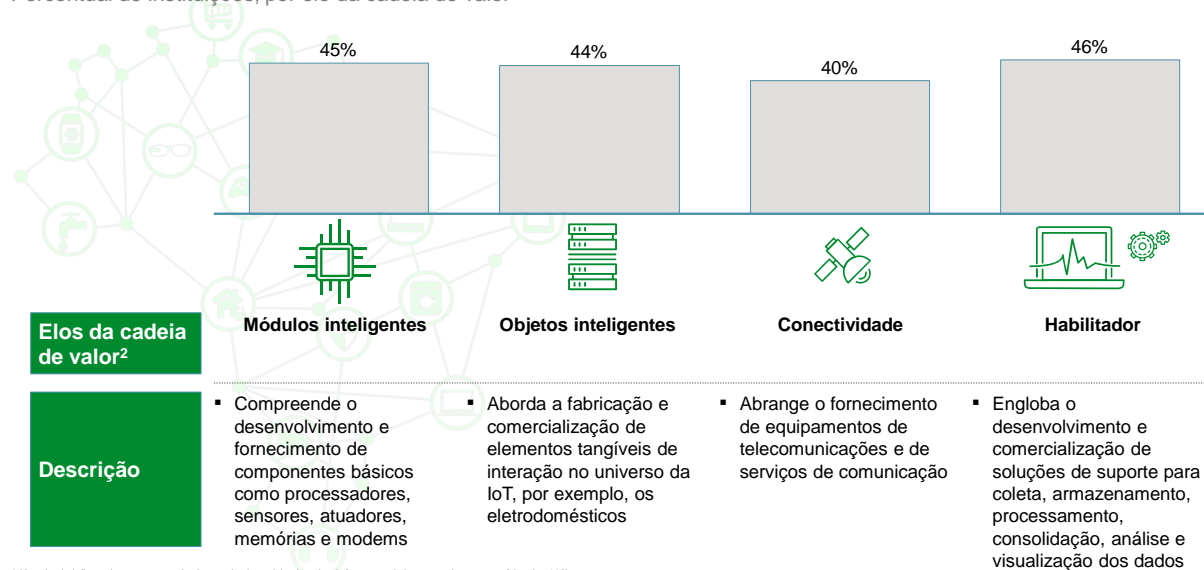
Com relação à pesquisa e ao desenvolvimento, o ambiente de cidades também possui instituições desenvolvendo tecnologia relacionada com IoT: em cada elo da cadeia de valor de IoT, pelo menos 40% dos atores que atuam no Brasil contam com P&D 100% nacional.

⁴¹ Mapa brasileiro de IoT, pesquisa autodeclaratória realizada pelo estudo durante alguns meses de 2017

QUADRO 15

Atores que desenvolvem *design*/P&D realizado totalmente em território nacional

Percentual de instituições, por elo da cadeia de valor¹



¹ Uma instituição pode atuar em mais de um elo da cadeia de valor (número total de atores da amostra é igual a 113)

² Os dois últimos elos da cadeia (integrador e provedor de serviços) não foram analisados quanto à presença de *design*/P&D no Brasil

FONTE: Bytes de IoT, 2017

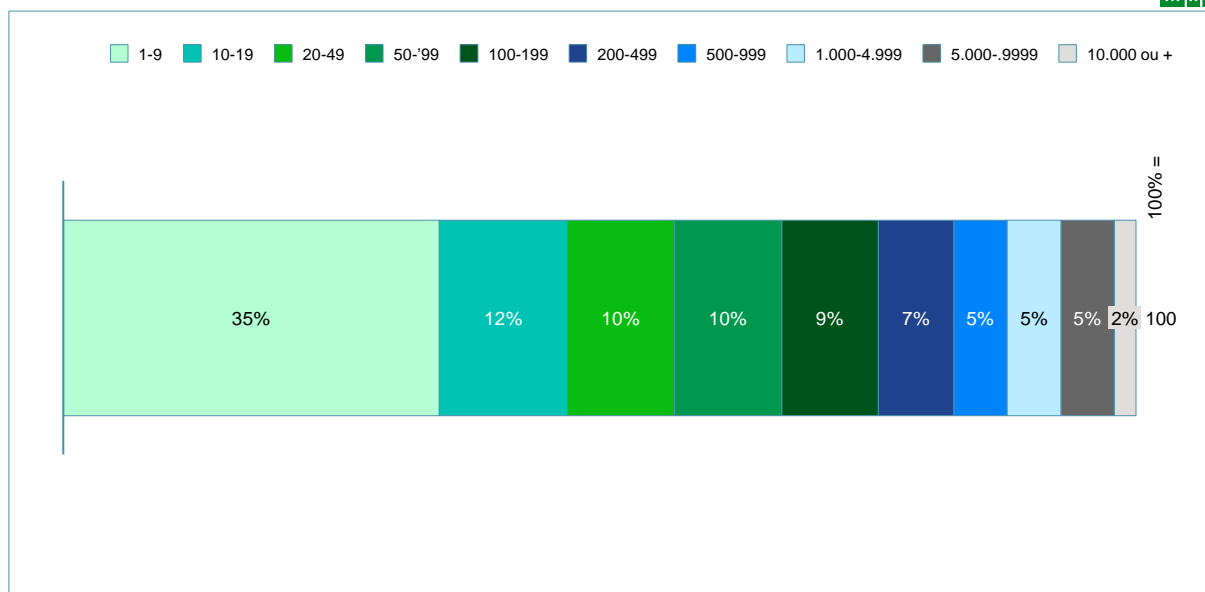
5

Os quadros 16 e 17 mostram o resultado da análise da capacidade tecnológica local no que diz respeito à vertical analisada. O QUADRO 16 demonstra a distribuição dos atores que ofertam, ou pretendem ofertar até o final de 2017, soluções em IoT no Brasil para a vertical cidade, segmentadas por porte. Observa-se que a maioria dos atores (57%) tem até 50 colaboradores⁴².

⁴² Atuam ou pretendem atuar nessa vertical 154 atores até o final de 2017.

QUADRO 16

Atores que operam na vertical cidade, por porte

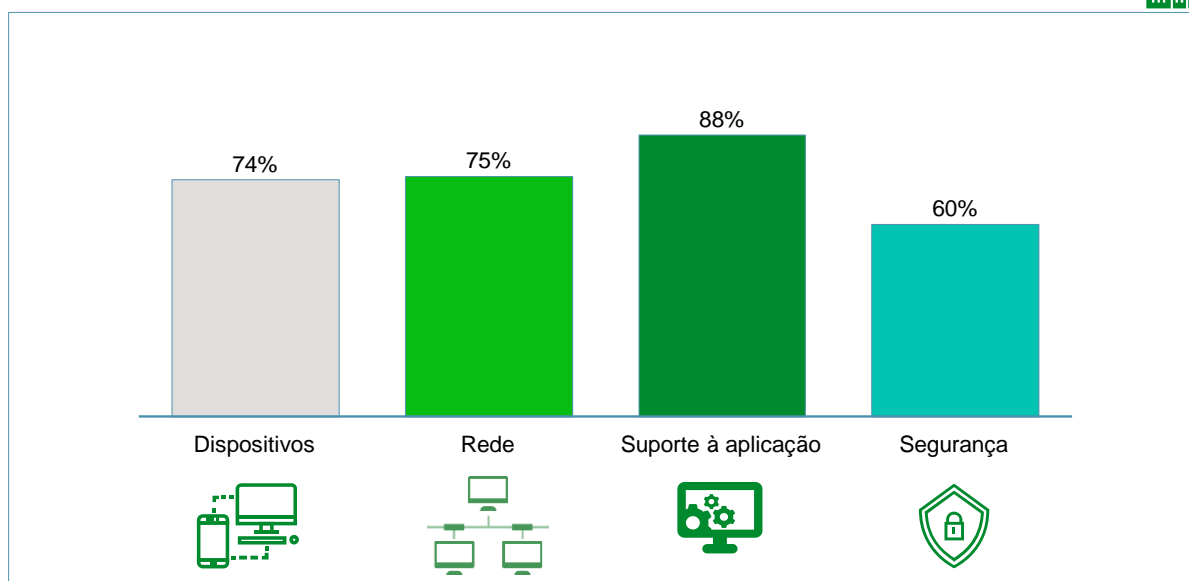


FONTE: 3º Bytes de IoT, análise do consórcio

Já o QUADRO 17 apresenta o percentual de atores que operam na vertical Cidade por camada tecnológica. Nota-se que o maior percentual de atores que operam na camada de suporte à aplicação. Como essa camada engloba tecnologias de desenvolvimento de *software*, trata-se de uma área de atuação com menor barreira de entrada para as empresas e, portanto, com maior número de atores.

QUADRO 17

Atores operando na vertical cidade, por camada



FONTE: 3º Bytes de IoT, análise do consórcio









3.8 Visão ambiciosa estabelecida no Plano de Ação de IoT

Diferentes países vêm definindo visões e objetivos para suas cidades inteligentes, os quais podem inspirar o Brasil na definição de seu Plano de Ação, como mostra o QUADRO 18.

QUADRO 18

Exemplos internacionais de visões e objetivos para cidades inteligentes

NÃO EXAUSTIVO

Iniciativas	Exemplos de visões e objetivos
 EAU (Dubai)  دبي الذكية SMART DUBAI <small>لحياة أفضل</small>	<p>"Establish Dubai as the smartest city by 2017"</p> <p>"Make Dubai the happiest city on Earth"</p>
 Índia  Plano de smart cities <small>Smart City</small>	<p>"Smart Cities Mission is to improve (retrofitting), renew (redevelopment) and extend (greenfield development) 100 cities along 5 years"</p>
 EUA  Smart Cities Initiative  SMART CITY CHALLENGE <small>Smart City Challenge</small>  Smart Grid Investment Program	<p>"By 2013, 26 million consumers will be equipped with smart meters (compared to 8 million in 2010)"</p> <p>"By 2015, utilities will realize a 10% decrease in annual operations and maintenance costs for distribution circuits with automated equipment"</p> <p>"Jump-start electric conversion to reduce transportation emissions by 50% by 2030. Through demonstration projects in street lighting, electric vehicles, and power generation." - Pittsburgh</p>

FONTE: "Smart Grid Investment Grant Program Final Report", US-DoE, dec. 2016; "Smart Cities Challenge", US-DoT, 2017; "India Smart Cities Mission", 2017

8

Com inspirações de outros países e discussões com membros do setor público, do setor privado e especialistas no tema de cidades, foi definida uma visão para o Brasil, como exibido no QUADRO 19.

QUADRO 19

Cidades: aspiração e objetivos estratégicos

Aspiração

Elevar a qualidade de vida nas cidades por meio da adoção de tecnologias e práticas que viabilizem a gestão integrada dos serviços para o cidadão e a melhoria da **mobilidade, segurança pública e uso de recursos**



Objetivos estratégicos

Mobilidade	Reduzir tempo de deslocamento e aumentar atratividade de transportes públicos
Segurança pública	Aumentar capacidade de vigilância e monitoramento de áreas da cidade para inibir e mitigar situações de risco à segurança
Uso eficiente de recursos	Reduzir desperdício de <i>utilities</i> e criar rede de iluminação pública que habilite soluções de IoT de forma ampla na cidade
Inovação	Promover adoção de soluções desenvolvidas localmente para desafios do ambiente

FONTE: Fóruns de engajamento do estudo, discussões com BNDES/MCTIC e análise do consórcio

Exemplo ilustrativo de ação

Cartilha de Cidades Inteligentes e Humanas

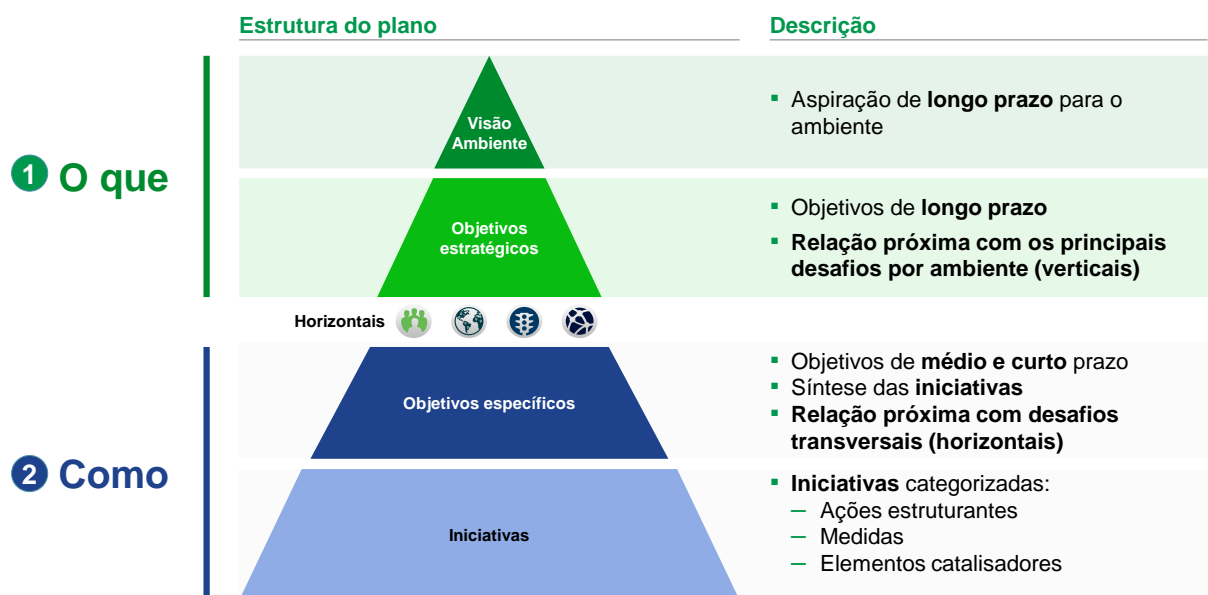
- Sustentabilidade política e econômica
- Interoperabilidade
- Financiamento
- Sistemas integrados etc.

10

Após a definição da visão, foram estabelecidos objetivos estratégicos para cada um dos desafios nos quais IoT pode gerar maior impacto no ambiente de cidades. Tanto a visão quanto os objetivos estratégicos compõem a estrutura do Plano de Ação, reproduzida no QUADRO 20.

QUADRO 20

Quatro diferentes camadas que respondem “O que” será feito e “Como”



FONTE: Discussões com o comitê gestor; análise do consórcio

Os objetivos específicos e as iniciativas representam a parcela mais orientada à ação do Plano e são detalhados no Produto 8 – Relatório do Plano de Ação.

3.9 Aspiração: resolução de barreiras específicas das cidades brasileiras que precisam ser endereçadas

QUADRO 21

Barreiras à IoT no Brasil e seus eixos transversais

Horizontais

Barreiras

Capital humano

- Disparidade entre capacitação de gestores públicos e parceiros do setor privado para lidar com IoT.
- Capacitação de mão de obra para prototipagem de produtos no âmbito de cidades (p.ex., laboratórios de fábrica/*living labs* nos municípios).

Inovação e inserção internacional

- Baixos vínculos de prefeituras com *start-ups* e Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e falta de práticas de compartilhamento dos dados, que podem fomentar surgimento de novos negócios.
- Orçamentos municipais não comportam grandes investimentos em IoT e, portanto, são necessários outros modos de financiamento, como parcerias público-privadas, empréstimos de bancos de desenvolvimento e transferências voluntárias de outras esferas.
- Municípios de pequeno porte ainda enfrentam dificuldades para estabelecer parcerias público-privadas.
- Baixa cooperação horizontal de regiões metropolitanas, evidenciada pela existência de consórcios intermunicipais pontuais.
- Falta de integração e articulação administrativa das secretarias e demais órgãos públicos municipais.

Infraestrutura de conectividade e interoperabilidade

- Deficiências em infraestrutura básica de conectividade em determinados municípios.

Ambiente regulatório



- Barreiras regulatórias para uso de dados públicos dos cidadãos.
- Barreiras regulatórias existentes em *smart grid*, como a lógica de incentivos regulatórios para investimento e a regulamentação de tarifas inteligentes, que estão sendo endereçadas pela ANEEL.
- Contratos de prestação de serviços baseados em processo e não em resultado inibem a implantação de IoT.
- A legislação de compras públicas impõe alta complexidade e por vezes inviabiliza contratação de soluções tecnológicas.

3.10 Superação de barreiras: criação de *smart cities* e aplicação de pilotos em cidades

Entre os casos internacionais existentes de implementação de IoT em larga escala, Índia e Estados Unidos se destacam de forma positiva. Com escala e objetivos diferentes, os programas são detalhados a seguir.

QUADRO 22

Exemplos internacionais: critérios para seleção de cidades para implantação de piloto de IoT

	  Smart City MISSION TRANSFORMATION NATION	  SMART CITY CHALLENGE
Descrição	<ul style="list-style-type: none">▪ Transformação de 100 cidades do país ao longo de cinco anos (2015-2020)	<ul style="list-style-type: none">▪ Transformação de 7 cidades médias do país com desafios de mobilidade
Processo para seleção de cidades	<ul style="list-style-type: none">▪ Definição de número de cidades por estado, de acordo com número de municípios e população do estado▪ Submissão de proposta competitiva por cidade, contendo:<ul style="list-style-type: none">– Visão– Missão– Plano para implementação de IoT▪ Seleção intraestadual e depois nacional	<ul style="list-style-type: none">▪ Submissão de proposta competitiva por cidades médias para revolucionar transporte urbano com uso de tecnologia▪ Avaliação do governo em comissão de acordo com:<ul style="list-style-type: none">– Características socioeconômicas (p. ex.: tamanho da população)– Visão para a mobilidade da cidade– Probabilidade de sucesso na implementação

FONTE: "Smart Cities Mission – Índia: Mission statement and guidelines"; "Smart City Challenge US-DoT"

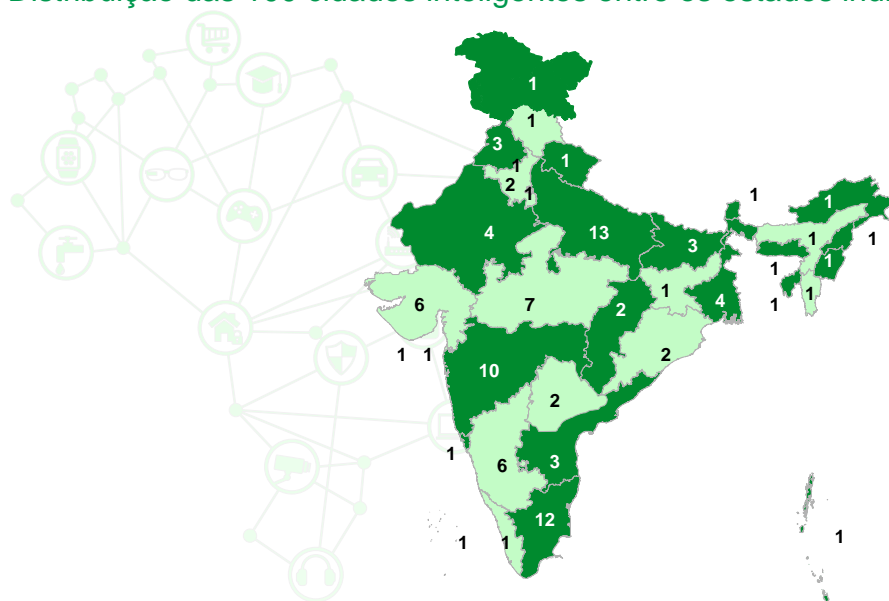
12

3.10.1 Índia: transformação de 100 cidades em *smart cities*

Em 2015, o Ministério do Desenvolvimento Urbano da Índia lançou um programa holístico de transformação urbana para 100 cidades (QUADRO 23), com o objetivo de melhorar a infraestrutura física, social, econômica e a governança urbana. O governo planeja desenvolver projetos piloto em áreas reduzidas de cada cidade para posteriormente replicar em áreas maiores.

QUADRO 23

Distribuição das 100 cidades inteligentes entre os estados indianos



FONTE: "The development of smart cities in China", na 14ª International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management 2015; "India Smart Cities Mission" – Ministry of Urban Development, Government of India; "Reforms to Accelerate the Development of India's Smart Cities Shaping the Future of Urban Development & Services", WEF 2016

O plano espera selecionar 20 cidades no primeiro ano de implementação e 40 cidades em cada um dos dois anos seguintes. As cidades participarão de uma competição nacional enviando proposta para uma seleção intraestadual e, posteriormente, nacional, se aprovada.

O financiamento para as 100 cidades inteligentes ao longo do programa de quatro anos é estimado em cerca de US\$ 15 bilhões, com contribuições equivalentes dos estados e do governo central do país. Além da verba do governo, espera-se obter os fundos necessários para a implementação do programa de outros segmentos, por meio de regime de concessão para atrair recursos de fontes externas⁴³.

A seleção de cidades é realizada por diversos critérios em seus dois níveis. No primeiro nível, intraestadual, as condições mínimas preexistentes são verificadas e, se confirmadas, são pontuadas com base em quatro pilares: nível de serviço existente na cidade, sistemas institucionais/capacidades, capacidade de financiamento próprio e histórico de projetos e reformas.

No segundo nível, competição em âmbito nacional, seis pilares de avaliação são utilizados: (1) credibilidade da implementação por parte da cidade; (2) visão e estratégia da cidade; (3) impacto da proposta; (4) custo benefício da proposta; (5) nível de inovação e (6)

⁴³ WEF "Reforms to Accelerate the Development of India's Smart Cities: Shaping the Future of Urban Development & Services", 2016.

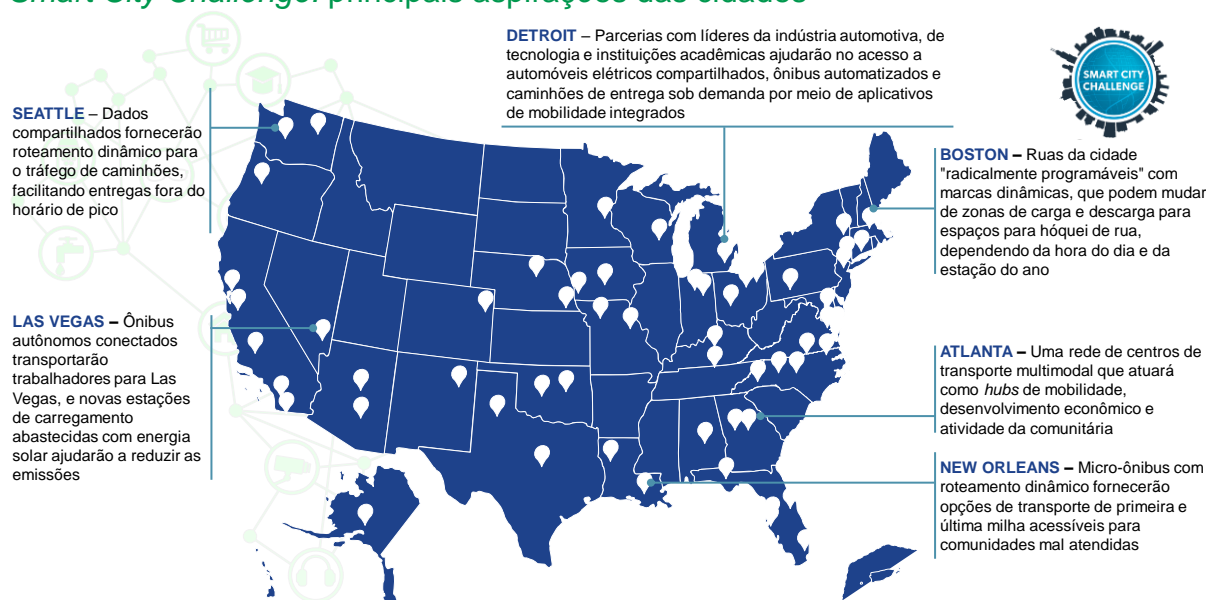
escalabilidade. O processo e os critérios utilizados no *Smart Cities Mission* são detalhados de forma completa no Anexo.

3.10.2 Estados Unidos: desafios de mobilidade nas cidades

Em dezembro de 2015, o Departamento de Transporte (DoT) dos Estados Unidos lançou o *Smart City Challenge*, que solicitava às cidades médias de todo o país que compartilhassem suas ideias sobre como criar um sistema de transporte inteligente integrado, pioneiro, que usaria dados, aplicativos e tecnologia, para ajudar pessoas e veículos a se deslocarem de forma mais rápida e eficiente. O QUADRO 24 traz exemplos de aspirações de algumas das cidades.

QUADRO 24

Smart City Challenge: principais aspirações das cidades








FONTE: "Smart City Challenge", U.S.D.o.T., 2016

Com base no relatório inovador *Beyond Traffic 2045*, que detalha a situação atual e as tendências futuras de transporte nos Estados Unidos, o *Smart City Challenge* proporcionou importante apoio para as cidades que procuravam revolucionar seus sistemas de transporte para ajudar a melhorar a vida das pessoas. Através do *Smart City Challenge*, o Departamento concedeu US\$ 40 milhões para a cidade vencedora, dentre as 78 que participaram da competição. Em resposta, os municípios alavancaram US\$ 500 milhões adicionais em financiamento público e privado para tornar realidade suas visões de *Smart City*.

3.10.3 Práticas de planejamento e seleção de cidades: 4 fatores principais

Com base nos exemplos internacionais de apoio a cidades para transformação em *smart cities*, é possível extrair tendências que podem ajudar o Brasil a aprimorar seu nível de suporte a cidades. A abertura de editais de candidatura individual de cidades, a forte participação do setor privado no planejamento e financiamento dos pilotos, a importância da visão e ambição das cidades e a avaliação do nível de replicação e escalabilidade dos pilotos são pontos fundamentais, conforme detalhado no QUADRO 25:

QUADRO 25

Casos internacionais evidenciam boas práticas de planejamento e seleção de cidades para receberem pilotos de IoT	
Descrição	
 Abertura de editais de candidatura de cidades	▪ Forma mais comum de seleção de cidades, visto que é uma forma bastante direta de mensurar vontade política da gestão municipal para promover a transformação da cidade
 Envolvimento do setor privado no planejamento e financiamento dos pilotos	▪ Fator relevante, visto que o investimento para transformação das cidades é relativamente alto, e, no contexto brasileiro, municípios e estados já enfrentam restrições orçamentárias importantes, além do apoio técnico aos municípios
 Grande importância da visão e ambição das cidades	▪ Importante critério para seleção de apoio de pilotos em cidades específicas. O alinhamento dessa visão com o planejamento mais abrangente das cidades também denota o quão central é a utilização de IoT para a prosperidade do município, levando a Internet das Coisas a um patamar de instrumento chave
 Avaliação do nível de replicação e escalabilidade dos pilotos	▪ Pontos fundamentais presentes em experiências internacionais pois ressaltam a importância da consolidação de aprendizados de um projeto específico e sua transposição para demais cidades que também apresentam desafios similares em IoT
 Ampla participação da sociedade na escolha dos pilotos/áreas beneficiadas	▪ Requisito considerado indispensável por alguns programas e utilizado em conjunto com diagnóstico da cidade para priorizar aplicações de IoT

FONTE: "Smart Cities Mission – India: Mission statement and guidelines"; "Smart City Challenge US-DoT"; análise do consórcio

3.11 Brasil: e iniciativas estruturantes para transformação em larga escala de cidades inteligentes

O Brasil possui diversas iniciativas estruturantes em andamento para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Essas iniciativas, mais do que a aplicação de tecnologia em uma determinada cidade, buscam prover apoio ao desenvolvimento de cidades inteligentes em larga escala, seja através de mudanças na legislação, seja através de programas amplos de apoio do governo. A seguir são destacadas as principais iniciativas estruturantes em curso no país:

- Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas.
- Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas.

- Ambiente de demonstração de tecnologias para cidades inteligentes.
- Grupo de Trabalho Governamental para o Desenvolvimento de Cidades Inteligentes.
- Programa Minha Cidade Inteligente.

3.11.1 Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas

Criada em 2013, como fruto da Frente Nacional de Prefeitos – que reúne as 350 maiores cidades brasileiras– a Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas é formada por secretários e dirigentes municipais de ciência, tecnologia e inovação, secretários municipais de desenvolvimento econômico, universidades e membros da iniciativa privada⁴⁴.

Com o objetivo de criar um conceito comum a respeito do tema com características brasileiras, a Rede lançou um estudo relevante sobre cidades intitulado “Brasil 2030: Cidades Inteligentes e Humanas” e vem apoiando o surgimento de outras iniciativas estruturantes como a Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas.

O conceito de “cidades inteligentes e humanas” é entendido pela Rede da seguinte forma:

Cidades Inteligentes e Humanas

“As Cidades Inteligentes e Humanas são aquelas que se dotam de uma infraestrutura tecnológica interoperável, necessária para **conectar todos os hardwares, softwares e aplicações existentes** ou que venham a existir, de maneira que se transformem em uma plataforma que funcione como um nó que conecte todas as demais plataformas, permitindo à cidade **integrar todos os dados e informações gerados** para ter um sistema de informações gerenciais aberto e transparente, de modo que a **tecnologia sirva de apoio à melhora da qualidade de vida das pessoas**, sempre com sua participação em um processo cocriativo com o poder público.”

⁴⁴ Portal da Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas, disponível em <http://redebrasileira.org>, acesso em agosto de 2017.

3.11.2 Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas

Criada em 2016, no âmbito do Congresso Nacional, a Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas tem o objetivo de promover uma revisão da legislação brasileira para facilitar o desenvolvimento das cidades inteligentes e humanas.

Com mais de 250 membros signatários, compostos de deputados e senadores, foram identificadas 25 propostas de extrema importância para o setor, e eleitas cinco prioridades iniciais:

- Revisão da lei de PPPs.
- Alteração da lei da Cosip/CIP – Contribuição para o Serviço de Iluminação Pública.
- Compartilhamento de infraestrutura entre diferentes setores (telecomunicações, transportes, petróleo e energia elétrica).
- Desoneração da comunicação de dados entre dispositivos de IoT (incluindo M2M).
- Criação de um banco de dados de informações para estruturação de projetos por porte de municípios⁴⁵.

3.11.3 Ambiente de demonstração de tecnologias para cidades inteligentes

Em 2017, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) firmaram um acordo de cooperação técnica com objetivo de criar um ambiente de demonstração de tecnologias para cidades inteligentes (ou *living labs*).

Iniciativa inédita no país, o projeto prevê a instalação de um ambiente real (minicidade) no *campus* do Instituto, em Xerém (RJ), onde empresas serão convidadas a instalar seus produtos e soluções relacionados com IoT e outras tecnologias voltadas para cidades inteligentes, permitindo testar, avaliar e qualificar os produtos e soluções quanto à interoperabilidade, segurança, desempenho, entre outros quesitos. Espera-se que os resultados dos testes subsidiem a definição de programas de conformidade para tecnologias voltadas para cidades inteligentes, além de propostas para estímulo do mercado e o desenvolvimento das indústrias.

De forma prática, a iniciativa disponibilizará as referências tecnológicas básicas para implantação nos municípios, bem como guias para avaliação e conhecimento de soluções tecnológicas aplicadas, incluindo tecnologias de infraestrutura.

⁴⁵ Portal da Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas, disponível em <http://fpcidadesinteligentes.com.br/>, acesso em agosto de 2017.

3.11.4 Grupo de Trabalho Governamental para o Desenvolvimento de Cidades Inteligentes

Criado em 2015, o Grupo de Trabalho Governamental para Desenvolvimento de Cidades Inteligentes busca integrar as ações das esferas governamentais na temática de cidades inteligentes e humanas. Envolvendo 17 instituições governamentais, além de centros de pesquisa e inovação, universidades, empresas de tecnologia e especialistas em Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC), o Grupo objetiva discutir e definir uma pauta para o desenvolvimento das redes e das cidades inteligentes e humanas no Brasil.

Trabalhando de forma complementar à Frente Parlamentar Mista em Apoio às Cidades Inteligentes e Humanas, o Grupo apoia a definição de prioridades para a agenda de *smart cities* e tem como uma das grandes pautas de discussão o tema de interoperabilidade.

3.11.5 Programa Minha Cidade Inteligente

Lançado em maio de 2016, o programa Minha Cidade Inteligente é parte integrante do programa Brasil Inteligente e tem como objetivo apoiar a instalação de infraestrutura de *hardware* e de telecomunicações em municípios selecionados em território nacional.

O programa representa um esforço de continuidade do projeto Cidades Digitais, lançado em 2011, cujo intuito principal é conectar órgãos públicos e fornecer internet grátis em locais públicos dos municípios. Desde 2011, o Cidades Digitais selecionou 334 municípios e implantou infraestrutura de alta capacidade de conectividade em pelo menos 80 deles. Muitos deles já criaram evoluções do programa, com incorporações nas áreas de saúde, educação e vigilância, além da ampliação do acesso à internet.

O programa Minha Cidade Inteligente, por sua vez, apresenta objetivos similares ao “Cidades Digitais” e recebeu 172⁴⁶ propostas de projetos de municípios interessados de 22 dos 27 estados do país. Para a seleção final, serão priorizados aqueles com menores indicadores de acesso à internet e também avaliados os serviços oferecidos ao cidadão para uso da rede, bem como a sustentabilidade da proposta. Os municípios também serão divididos em três categorias, de acordo com o tamanho da população: pequeno (menos de 100 mil habitantes), médio (entre 100 mil e 1 milhão de habitantes) e grande (mais de 1 milhão de habitantes). Cada tipo de cidade recebe um valor máximo conforme o projeto: as pequenas podem propor projetos de até R\$ 1 milhão, as médias até R\$ 3 milhões, e as grandes podem pleitear até R\$ 7 milhões em suas propostas⁴⁷.

⁴⁶ Disponível em <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2016/07/projetos-de-172-municipios-serao-avaliados-pelo-minha-cidade-inteligente>, acesso em agosto de 2017.

⁴⁷ Edital nº 214/2016/SEI-MC; Ministério das Comunicações – Seleção dos projetos de Cidades Inteligentes para o Exercício de 2016.

4 ANEXO – Competências tecnológicas

O levantamento das tecnologias é realizado por meio do desenho de possíveis soluções que possam atender a essas aplicações. Cabe ressaltar que esse exercício não é exaustivo, nem contempla todas as possibilidades de uso dessas tecnologias, uma vez que o número de combinações possível torna essa abordagem inviável.

Esta seção não pretende esgotar as possibilidades do uso de IoT no ambiente apenas com as aplicações mencionadas. Apesar de terem sido escolhidas pelo grande impacto no ambiente em análise, o total valor que a IoT pode trazer para a vertical de cidades é resultado de diversas outras aplicações não descritas aqui.

É razoável supor que as tecnologias destacadas para atender ao conjunto de aplicações também são válidas para a solução de outras não descritas, não apenas nesta vertical como nas demais. A título de exemplo, as tecnologias de conectividade do tipo celular, utilizadas no controle de tráfego centralizado e adaptável, possuem aplicabilidade em outras situações nesta mesma vertical, como em medidores inteligentes de energia elétrica, ou mesmo em outras verticais, como monitoramento de veículos em *worksites* de mineração.

A análise de tecnologias realizada nesta seção permite mapear aquelas que merecem atenção para o uso na IoT, e que, portanto, as empresas da cadeia de TIC no Brasil podem ter interesse para o desenvolvimento de produtos de IoT.

O QUADRO 26 apresenta o agrupamento de tecnologias analisadas no desenho das soluções de IoT para essas aplicações, juntamente com uma breve descrição.

QUADRO 26

Glossário: camada de dispositivos (1/2)

Tipos de tecnologia	Descrição
Armazenamento de energia	▪ Tecnologias como baterias e super capacitores capazes de armazenar energia em dispositivos que não dispõem de alimentação principal ou necessitam permanecer em atividade em situação de contenção na alimentação.
Atuadores	▪ Elementos eletromecânicos com capacidade de atuação no mundo físico, como relês, válvulas, travas, entre outros. Não são considerados elementos atuadores sinalizadores que informam as pessoas, como semáforos, alarmes sonoros e painéis de mensagem.
Energy harvesting	▪ Tecnologias capazes de converter em energia elétrica outras fontes de energia disponíveis no ambiente, como energia solar, eólica e vibração mecânica. Também envolve tecnologias de armazenamento de energia para manter a continuidade da alimentação em situações de variação da fonte de energia do ambiente.
Integração de componentes	▪ Técnicas e tecnologias capazes de integrar diversos elementos, como processadores, memórias, sensores, modems, atuadores e baterias para tornar o objeto inteligente menor, reduzir custos e melhorar a eficiência energética. Destacam-se aqui as tecnologias para o desenvolvimento de SoC (<i>System on a Chip</i>) e encapsulamento mecânico avançado, como SiP (<i>System in Package</i>).
Módulo de geolocalização	▪ Elemento dotado de tecnologias capazes de definir de forma dinâmica a localização do objeto inteligente, por exemplo: GPS (<i>Global Positioning System</i>) e triangulação de sinais.
Sensores biológicos/químicos	▪ Tecnologias de sensoriamento capazes de identificar fenômenos biológicos e químicos como OTFT (<i>Organic Thin-Film Transistor</i>) e CNBS (<i>Carbon-Nanotube Based Sensors</i>).
Sensores eletro/magnéticos	▪ Tecnologias de sensoriamento capazes de identificar fenômenos elétricos e magnéticos, como termopares e HES (<i>Hall Effect Sensor</i>).

FONTE: Análise do consórcio

22

QUADRO 27

Glossário: camada de dispositivos (2/2)

Tipos de tecnologia	Descrição
Sensores eletro/mecânicos	▪ Tecnologia de sensoriamento capaz de identificar fenômenos elétricos e mecânicos como MEMS (<i>Microelectromechanical Systems</i>) e SAW (<i>Surface Acoustic Wave</i>).
Sensores ópticos/imagem	▪ Tecnologia de sensoriamento capaz de identificar fenômenos ópticos e imagens, como CMOS (<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>), CCD (<i>Charge Coupled Device</i>) e FBG (<i>Fiber Bragg Grating</i>).
Sistema embarcado compacto	▪ Sistema computacional composto de processamento, memória (volátil e não volátil) e interface de comunicação (sem fio ou cabeada) para a criação de objetos inteligentes com considerável restrição de espaço físico.
Sistema embarcado de alto desempenho	▪ Sistema computacional composto de processamento, memória (volátil e não volátil) e interface de comunicação (sem fio ou cabeada) para a criação de objetos inteligentes com necessidade de maior capacidade de processamento ou armazenamento de dados em comparação a objetos inteligentes simples.
Sistema embarcado de baixo consumo	▪ Sistema computacional composto de processamento, memória (volátil e não volátil) e interface de comunicação (sem fio ou cabeada) para a criação de objetos inteligentes com considerável restrição de consumo energético.
Smart tag	▪ Tecnologias de identificação e localização de objetos como RFID (<i>Radio-Frequency IDentification</i>), Beacon BLE (<i>Bluetooth Low Energy</i>) e NFC (<i>Near Field Communication</i>).

FONTE: Análise do consórcio

23

QUADRO 28

Glossário: camada de conectividade

Tipos de tecnologia	Descrição
Redes <i>mesh</i>	Tecnologias de comunicação sem fio em que os nós possuem capacidade de encaminhamento de pacotes provenientes de outros nós que participam da mesma rede. Por exemplo: IEEE 802.15.4 e Bluetooth 5.0.
Redes Low Power Wide Area	Tecnologias de longo alcance, baixo consumo energético e banda limitada, como LoRa, Weightless, Sigfox e RPMA (<i>Random Phase Multiple Access</i>).
Redes cabeadas	Tecnologias de longo e curto alcance transmitidas por meio confinado (cobre ou fibra), como Ethernet, GPON (<i>Gigabit Passive Optical Network</i>) e PLC (<i>Power Line Communication</i>).
Redes de celular	Tecnologias de comunicação sem fio padronizadas pelo GSM e 3GPP, como EC-GPRS (<i>Extended Coverage GPRS</i>), LTE-M (<i>Long Term Evolution Machine type communication</i>) e NB-IoT (<i>Narrow Band IoT</i>).
Redes de curto alcance e alta banda	Tecnologias de comunicação sem fio com cobertura local (dezenas ou poucas centenas de metros) com capacidade de banda na ordem de Mbps até Gbps (exemplo: WiFi).
Redes de curto alcance e baixa banda	Tecnologias de comunicação sem fio com cobertura local (dezenas ou poucas centenas de metros) com capacidade de banda na ordem de Kbps até Mbps (por exemplo: <i>Bluetooth Low Energy</i>).
Redes Ultra Wideband	Tecnologias de comunicação de baixo consumo energético que utilizam larga proporção do espectro (no ordem de centenas de MHz). Podem ser utilizadas para transmissão em altas taxas e também para localização precisa, em especial para ambientes <i>indoor</i> .

FONTE: Análise do consórcio

QUADRO 29

Glossário: camada de suporte à aplicação

Tipos de tecnologia	Descrição
Advanced analytics	Tecnologias para processamento de dados que aplicam tecnologias de computação cognitiva (<i>machine learning</i>) capazes de utilizar grande volume de dados para o próprio treinamento e progressivamente aprimorar os resultados de reconhecimento de padrões complexos.
Analytics	Tecnologias aplicadas para a descoberta, interpretação e comunicação de padrões de dados.
Banco de dados não relacional	Termo que classifica tecnologias de bancos de dados que seguem o modelo relacional, sendo os dados estruturados e acessados na forma de tabelas que se associam por meio de regras de relacionamentos.
Banco de dados relacional	Termo que classifica tecnologias de bancos de dados que, não seguindo o modelo relacional, buscam escalabilidade e desempenho para tratar grandes volumes de dados.
Computação de alto desempenho	Tecnologias que possibilitam o processamento de dados em alto volume e curto período de tempo. Para tanto, são utilizadas técnicas de processamento distribuído, como <i>clusters</i> , em conjunto com <i>hardware</i> especializado como GPU (<i>Graphics Processing Unit</i>) e FPGA (<i>Field-Programmable Gate Array</i>).
Edge computing	Tecnologias para processamento e armazenamento de dados realizados de forma geograficamente mais próxima aos dispositivos que os geraram. Geralmente, aplicadas em cenários em que as aplicações de IoT demandam baixo atraso, não podem depender de instabilidades de rede ou o custo do transporte dos dados é demasiadamente alto.
Geoanalytics	Tecnologias para análise de dados associados com a localização de maneira a gerar análises e relatórios orientados a coordenadas e mapas.
Middleware IoT em nuvem	Camada de <i>software</i> executada em ambiente computacional em nuvem que conecta/integra os dispositivos IoT, abstraindo sua heterogeneidade e complexidade de forma a simplificar e acelerar o desenvolvimento e a implantação de soluções de IoT.
Middleware IoT on premises	Camada de <i>software</i> executada em ambiente computacional local que conecta/integra os dispositivos de IoT, abstraindo sua heterogeneidade e complexidade de modo a simplificar e acelerar o desenvolvimento e a implantação de soluções de IoT.
Visão computacional	Tecnologias aplicadas para reconhecimento de padrões em imagens digitalizadas (figuras ou vídeos) de forma a extrair informações úteis delas. Destacam-se para esse fim técnicas como <i>deep learning</i> e OCR (<i>Optical Character Recognition</i>).

FONTE: Análise do consórcio

QUADRO 30

Glossário: camada de segurança da informação

Tipos de tecnologia	Descrição
Criptografia embarcada	Técnicas para a realização da criptografia de dados executadas em ambientes que, em geral, apresentam restrições de processamento, memória e comunicação.
Anti jamming	Tecnologias e técnicas aplicadas para mitigar o risco da falta de comunicação frente a ataques que utilizam sinais de interferência para inviabilizar a transmissão dados por interface aérea.
Anti tampering	Tecnologias e técnicas para proteção da violação física de forma a gerar alarmes ou mesmo inutilizar o objeto inteligente violado, por exemplo, apagando a memória.
Assinatura digital	Técnicas e métodos de autenticação de informação digital que visam garantir a identidade de pessoas ou objetos.
Blockchain	Tecnologia que visa à descentralização como medida de segurança por meio da criação de um índice global para todas as transações ocorridas em um determinado escopo.
Controle de acesso ao dispositivo	Tecnologias e técnicas que visam impedir que acessos remotos não autorizados sejam realizados em objetos conectados.
Falha segura	Técnicas e métodos que objetivam garantir diante de uma situação de falha que o objeto realizará funções pré-configuradas de forma a manter o serviço prestado em um nível minimamente aceitável.
Firmware seguro	Tecnologias e técnicas que visam garantir a segurança do <i>software</i> embarcado em um objeto inteligente. Impedem que códigos adulterados entrem em execução ou que eles sejam copiados em um objeto, assim como a utilização remota para a correção de falhas identificadas.
Ingresso seguro à rede de acesso	Tecnologias e métodos que impedem objetos não autorizados de ingressarem em uma rede de comunicação.
Prevenção à negação de serviço	Tecnologias que combatem ataques que objetivam impedir a prestação do serviço de aplicações ou objetos inteligentes. Também impedem que objetos inteligentes se tornem atacantes de outros serviços.

FONTE: Análise do consórcio

4.1 Controle de tráfego centralizado e adaptável

Em grandes centros urbanos, a mobilidade é um desafio crescente em decorrência do aumento e adensamento populacional desordenado que se reflete diretamente no custo e tempo de deslocamento. Por meio do uso das tecnologias da informação e comunicação para o controle adaptativo da sinalização de trânsito, a IoT tem o potencial de gerar impacto positivo nas cidades, culminando na redução de custos, de consumo de combustível, no aumento de qualidade de vida através da diminuição do tempo gasto no deslocamento, da geração de poluição atmosférica etc.

4.1.1 Descrição da solução

Os principais requisitos não funcionais da solução para controle de tráfego centralizado e adaptável são:

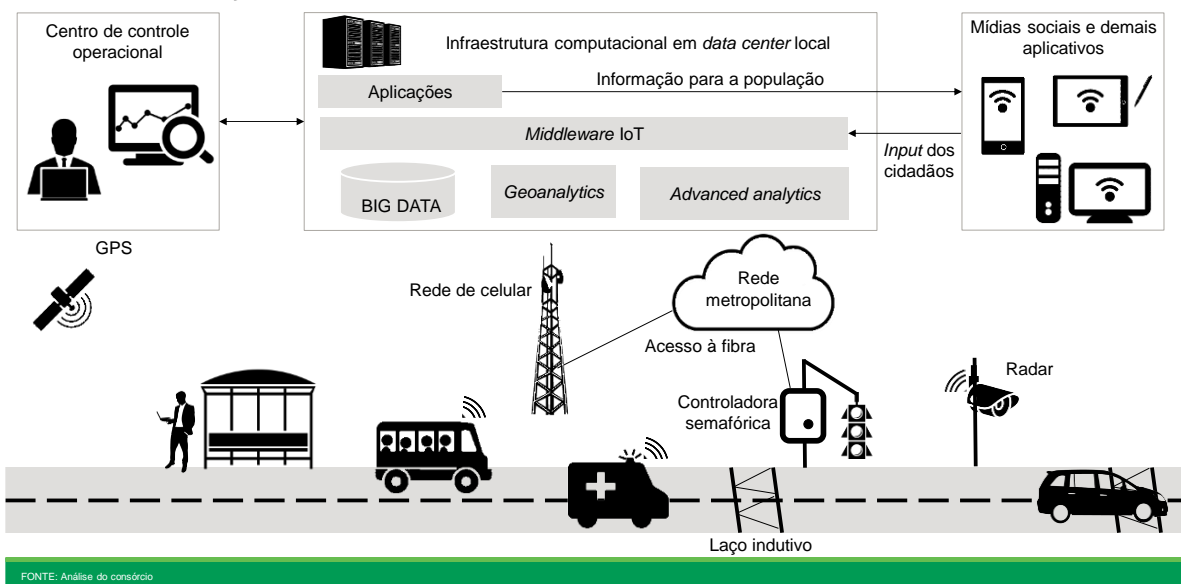
- Altamente escalável – até 10 mil semáforos, de centenas a milhares de radares e dezenas de milhares de veículos para o transporte público.
- Controladores semafóricos e radares geram até dezenas de kbps.
- Processamento centralizado em *data center* com capacidade de processamento de alto desempenho para tomada de decisão em tempo real.
- Dispositivos e equipamentos de rede contam com alimentação principal.
- Veículos para serviços públicos críticos devem ter tratamento diferenciado.
- Alta criticidade da segurança da informação.

O QUADRO 31 apresenta a visão sistêmica da solução.

QUADRO 31

Controle de tráfego centralizado e adaptável

Visão sistêmica da solução



A solução deve contar com um conjunto de sensores capazes de identificar as condições do trânsito, em especial o fluxo nas ruas e avenidas e a localização de veículos de transporte público, para que os dados sejam transportados e armazenados em ambiente computacional de alta capacidade, os algoritmos avançados possam ajustar em tempo real a sinalização para otimizar a mobilidade.

Dados provenientes diretamente da população pelas mídias sociais e aplicativos especializados (*social sensors*) são valioso *input* para o processo de tomada de decisão. Da mesma forma, a solução deve disponibilizar informações *on-line* para os cidadãos.

Câmeras de vídeo conectadas que captam imagens das vias também são de grande importância para a solução, porém o seu detalhamento será tratado à frente como uma solução distinta.

4.1.2 Dispositivo

Para a captação das condições do trânsito e realização da sinalização, alguns dispositivos são necessários, e são descritos a seguir em mais detalhes.

As controladoras semafóricas são a principal forma de realizar o controle em tempo real através do monitoramento das condições do trânsito. Esses dispositivos realizam o controle dos semáforos em uma área de até poucas centenas de metros e também recebem dados do fluxo de veículos através de laços indutivos instalados em sua região de atuação. A informação do fluxo das vias é utilizada para decisões locais de temporização, mas também é repassada para a aplicação centralizada no *data center*. Em um cenário ideal, a controladora semafórica seguirá a programação da temporização enviada pela aplicação centralizada, uma vez que esta considera um maior número de variáveis e possui visão unificada do trânsito da cidade. Contudo, quando ocorrer falhas na comunicação ou outros tipos de indisponibilidades, é fundamental que a controladora tenha capacidade de atuar de forma autônoma (falha segura), de modo que o processamento local tenha desempenho adequado para essa função. Em razão da criticidade da aplicação, a controladora também deve implementar uma série de tecnologias e técnicas de segurança, como atualização remota de *firmware*, prevenção à negação de serviço e controle de acesso para mitigar o risco de invasão. A comunicação entre controladora e aplicação deve ser feita preferencialmente por rede cabeada e a troca de pacotes de dados deve ser criptografada, porém em algumas situações pode ser aplicada comunicação sem fio através do uso de redes de celular.

A controladora também deve permitir abertura de semáforo para priorizar a passagem de veículos de serviços públicos críticos como ambulâncias, carros de bombeiros e viaturas policiais. Para isso, estes veículos devem ser dotados de *smart tags*, como *beacons* BLE (*Bluetooth Low Energy*), que são captados por interface de rede sem fio local para o tratamento imediato na própria via. Esses dispositivos também devem possuir rígidos

mecanismos de segurança, como proteção contra violação (*anti tampering*) de forma a impedir sua clonagem para o uso em veículos de outra natureza.

Outro importante monitoramento que deve ser feito pela solução é a localização de veículos para o transporte público, como ônibus e vans. Para tal, são utilizados dispositivos dotados de módulo de localização por GPS e interface de rede de celular (ex.: GPRS ou NB-IoT) para a atualização constante da aplicação centralizada.

Por fim, radares instalados em pontos estratégicos são utilizados não apenas para o controle de velocidade, mas também para a identificação de todos os veículos que passam por esse trajeto. Mecanismos de reconhecimento de caracteres (OCR – *Optical Character Recognition*) são executados localmente, sendo a informação convertida para texto enviada para a aplicação centralizada. Dessa forma, considerável recurso computacional embarcado é requerido. Os radares também podem ser valer de conectividade cabeada ou sem fio, no caso desta última, mecanismos de segurança contra interferência proposital no sinal (*anti jamming*) devem ser implementados para evitar ataques a esse serviço.

Quanto à previsão de volume, considerando o mercado nacional, são estimadas poucas centenas de milhares de controladoras semaforicas inteligentes, algumas centenas de milhares de rastreadores conectados para os veículos de transporte público, dezenas de milhares de radares e poucos milhares de *smart tags* para veículos de serviços públicos emergenciais.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de dispositivo tecnologias de:

- Módulo de geolocalização.
- Sensores eletro/magnéticos.
- Sensores ópticos/imagem.
- Sistema embarcado de alto desempenho.
- *Smart tag*.
- Criptografia embarcada;
- *Anti jamming*.
- *Anti tampering*.
- Controle de acesso ao dispositivo.
- Falha segura.
- *Firmware* seguro.
- Prevenção a DDoS.

4.1.3 Conectividade

Como verificado na descrição dos dispositivos, para essa aplicação dois tipos de tecnologias de rede são destacados para a conectividade com a infraestrutura computacional centralizada: redes cabeadas (preferencialmente por fibra óptica) e redes de celulares, em especial as novas variantes criadas para atender as demandas de IoT, como EC-GPRS, LTE-M e NB-IoT.

É importante destacar que essa aplicação, assim como aplicações demandantes de alta capacidade de transmissão, como o monitoramento por câmeras de vídeo (descrito à frente), são facilitadas (ou mesmo habilitadas) através da disponibilidade de infraestrutura de rede implantada na cidade, como anéis metropolitanos ópticos. Estes também são importantes para as aplicações que demandam comunicação sem fio pois são necessários para o provimento do *backhaul* das estações rádio base.

É relevante ressaltar a necessidade de as redes sem fio implementarem tecnologias de segurança para o ingresso dos dispositivos, como verificação de identidade por entidades certificadoras. Por se tratar de um ambiente populacionalmente denso, onde serviços públicos de grande relevância são prestados, o ataque às redes deve ser considerado como um risco constante.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de conectividade tecnologias de:

- Redes cabeadas.
- Redes de celular.
- Redes de curto alcance e baixa banda.
- Ingresso seguro à rede de acesso.

4.1.4 Suporte à aplicação

Essa aplicação possui ampla capacidade para a geração de *big data*, uma vez que conta com uma grande quantidade de dispositivos com a característica de gerar grande volume de informação. Por exemplo, um único radar pode registrar dezenas, ou até centenas de milhares de registros de placas de veículos em um dia. Assim, a camada de suporte a aplicação deve implementar sofisticadas técnicas de armazenamento de dados que mesclam tecnologias de bancos de dados relacionais e não relacionais.

Não apenas o acúmulo de dados é um desafio para essa aplicação. Ações que devem ser tomadas em tempo real, como os ajustes de temporização em milhares de semáforos, requerem alto poder de processamento centralizado para o tratamento do fluxo contínuo de informações (*stream processing*), o que reflete na necessidade da infraestrutura de computação de alto desempenho. Dada a grande demanda de poder computacional e as características de missão crítica dessa aplicação, é comum adotar a abordagem da verticalização da infraestrutura na própria cidade (*on premises*).

O processamento centralizado não apenas atende todos os requisitos dessa aplicação, e parte das funcionalidades é realizada de forma distribuída nos dispositivos. É o caso da operação autônoma ou semiautônoma em controladoras semaforicas, em especial nas situações de falha de comunicação, e do reconhecimento de placas de veículos realizado pelo computador local dos radares. Dessa forma, tecnologias de *edge computing*⁴⁸ e visão computacional ganham destaque.

Por fim, todos os dados armazenados precisam ser processados e analisados por algoritmos capazes de gerar a melhor configuração de temporização de semáforos e notificações para a população. Empregam-se aqui tecnologias de aprendizado de máquina que utilizam informações como as condições de fluxo nas vias, notificações nas redes sociais e aplicativos especializados, tempo de congestionamentos, entre outros, como dados de treinamento para tornar o controle do tráfego adaptativo. Da mesma maneira, relatórios dinâmicos apresentando o mapa de calor da mobilidade na cidade e a localização dos veículos rastreados usam tecnologias de *geoanalytics*.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de suporte à aplicação tecnologias de:

- *Advanced analytics*.
- Banco de dados não relacional.
- Banco de dados relacional.
- Computação de alto desempenho.
- *Edge computing*.
- *Geoanalytics*.
- *Middleware IoT on premises*.
- Visão computacional.

4.2 Monitoramento de crimes por sensores

O monitoramento de eventos no ambiente urbano através de dispositivos dotados de microfones capazes de captar e identificar sons possibilita coordenar a ação policial para atuar mais rapidamente nos incidentes, na redução de crimes e salvamento de vidas.

4.2.1 Descrição da solução

Os principais requisitos não funcionais da solução de monitoramento de crimes por sensores são:

- Processamento local no dispositivo para identificar assinatura acústica.
- Altamente escalável – milhares de sensores na cidade.
- Dispositivos e equipamentos de rede com alimentação principal.
- Dispositivos geram notificações na ordem de grandeza de bytes.

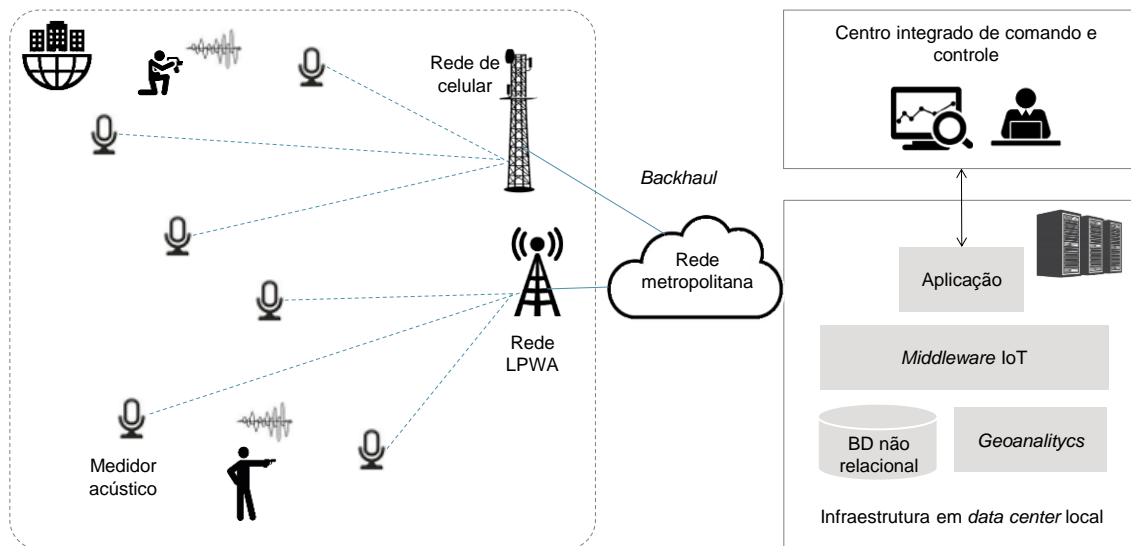
- Notificação do evento deve ocorrer poucos segundos após o incidente.
- Integração com sistemas de atendimento e despacho da força policial.
- Criticidade moderada da segurança da informação.

O QUADRO 32 apresenta a visão sistêmica da solução.

QUADRO 32

Monitoramento de crime por sensores

Visão sistêmica da solução



FONTE: Análise do consórcio

A solução de monitoramento de crimes é composta de sensores de áudio que monitoram o ambiente e geram um alerta sempre que determinado som é reconhecido. A aplicação centralizada envia notificações para a central de controle operacional coordenar a força policial.

A tecnologia embarcada nos sensores permite a inferência da localização a partir da recepção do som. A solução deve distinguir sons de acordo com a assinatura acústica de disparos de arma de fogo, tiroteios, batidas, e explosões, de forma a não ser ativada caso receba sons de fontes não relacionadas a crimes, por exemplo, de fogos de artifício.

4.2.2 Dispositivo

O dispositivo de sensoriamento acústico é composto de microfones (tecnologia de sensoriamento eletro/mecânica), conversor analógico e digital, processador e armazenamento de dados. O *firmware* possui assinaturas acústicas pré-programadas de forma que os sons captados são processados e comparados com essas assinaturas. Assim,

o processador local deve ter capacidade superior em comparação aos dispositivos de sensoriamento mais simples para a realização dessa identificação.

Uma vez identificado certo evento, é enviada uma notificação para a aplicação, que descreve o evento e a distância estimada tendo por base a intensidade do som capturado. A recepção das notificações de mais de um dispositivo permite à aplicação inferir com maior precisão o local de ocorrência.

Eventos como disparos de armas de fogo podem ser capturados a distâncias de algumas centenas de metros da arma disparada. Por isso, é prevista a instalação de alguns dispositivos em células de um quilômetro quadrado nas áreas de maior periculosidade na cidade. Dependendo das condições da cidade, até milhares de dispositivos podem ser utilizados.

Com a utilização de microfones sensíveis continuamente ativos espalhados pela cidade, questões de privacidade dos cidadãos devem ser analisadas. Portanto, o dispositivo não deve ser capaz de realizar gravações de conversas, sendo estritamente utilizado para identificar alguns padrões de sons, como tiros e explosões.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de dispositivo tecnologias de:

- Sensores eletro/magnéticos.
- Sistema embarcado de alto desempenho.

4.2.3 Conectividade

As redes sem fio de área ampla se mostram mais adequadas, dada a necessidade de ampla de cobertura para atingir todo o meio urbano, em especial áreas periféricas que são o foco dessa aplicação, e de fácil implantação por causa do grande número de dispositivos.

Dois tipos de tecnologias de rede de acesso são destacados para conectividade com a infraestrutura computacional centralizada: redes de celular e LPWA, em especial as novas variantes criadas para atender as demandas de IoT, como NB-IoT, EC-GPRS, Weightless, LoRa, Sigfox, entre outras.

Por se tratar de rede sem fio em ambiente com grande concentração populacional, é importante implementar técnicas para o acesso à rede sem fio, para evitar que dispositivos não autorizados façam parte da mesma rede.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de conectividade tecnologias de:

- Redes celulares.
- Redes LPWAN.
- Ingresso seguro à rede de acesso.

4.2.4 Suporte à aplicação

Como é um serviço de responsabilidade da força policial, considera-se que a aplicação seja executada em ambiente computacional verticalizado (*data center* local) de forma que o *middleware* IoT que gerencia os dispositivos e recebe as notificações possibilite a implantação *on premises*.

Como o processamento do reconhecimento dos sons é feito pelos dispositivos, a aplicação centralizada deve apenas concentrar as notificações e realizar alguns cálculos para a inferência da localização (quando a mesma notificação é recebida por diversos dispositivos) e enviar solicitações de despacho para força policial. Os eventos são armazenados em banco relacional para registro do histórico.

Por fim, relatórios sobre os incidentes devem ser gerados com base em análises geográficas, por exemplo, mostrar mapas com as regiões de maior incidência de violência na cidade. Por isso, as tecnologias de *geoanalytics* devem ser empregadas.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de suporte à aplicação tecnologias de:

- Banco de dados relacional.
- *Edge computing*.
- *Middleware* IoT *on premises*.

4.3 Monitoramento por vídeo (segurança e mobilidade)

O monitoramento do ambiente urbano por meio de câmeras conectadas de alta definição, capazes de gerar informação em tempo real para o centro de controle operacional, traz grande impacto no serviço de segurança pública e na mobilidade urbana.

Além disso, com o amadurecimento das tecnologias de computação cognitiva, o uso de algoritmos de visão computacional propicia a rápida tomada de decisão e em larga escala a partir da interpretação das imagens sem a intervenção humana.

4.3.1 Descrição da solução

Os principais requisitos não funcionais da solução monitoramento por vídeo são:

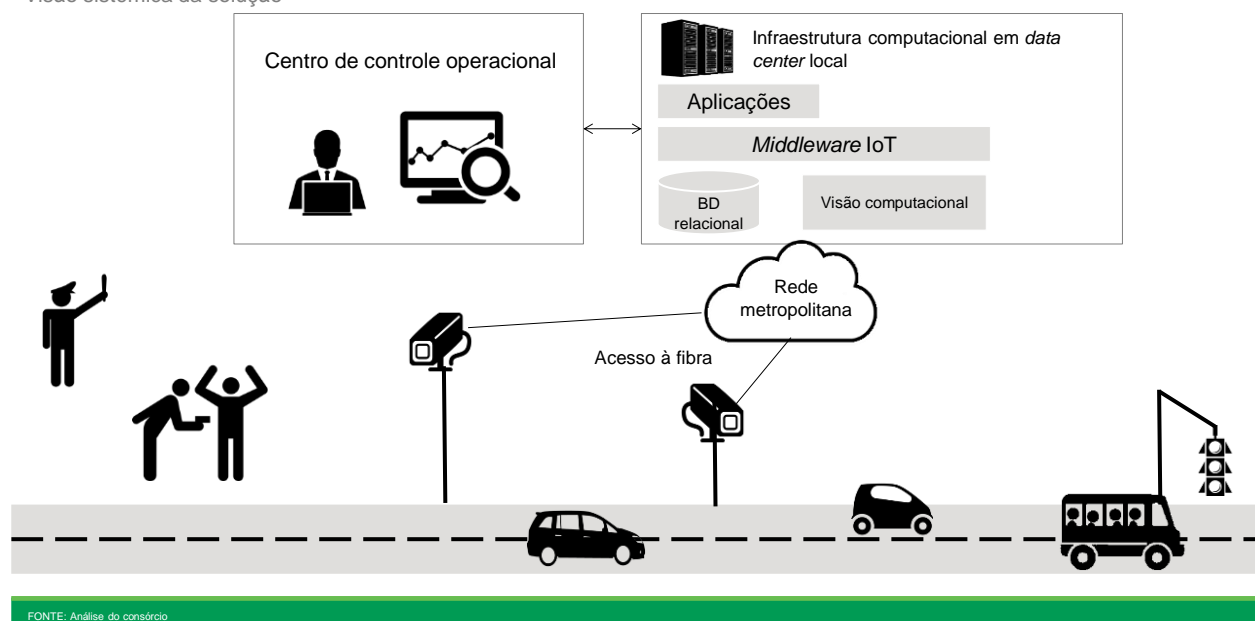
- Escalável – centenas a milhares de câmeras em uma cidade.
- Câmeras de alta definição que geram imagens na ordem de grandeza de Mbps.
- Câmeras com alimentação principal.
- Processamento centralizado em *data center* com capacidade de processamento de alto desempenho para tomada de decisão em tempo real.
- Moderada criticidade da segurança da informação.

O QUADRO 33 apresenta a visão sistêmica da solução.

QUADRO 33

Monitoramento por vídeo (segurança e mobilidade)

Visão sistêmica da solução



A solução consiste na implantação de câmeras no ambiente urbano capazes de gerar imagens de alta definição. As câmeras são conectadas por infraestrutura de rede de fibra óptica e as imagens são armazenadas e processadas em ambiente computacional centralizado, e acessadas pelo centro de controle operacional. Algoritmos de visão computacional processam automaticamente as imagens para realizar ações como contagem de veículos e detecção de incidentes.

4.3.2 Dispositivo

Essa aplicação é constituída de único tipo de dispositivo que é a própria câmera de vídeo. Neste o sensor óptico, destaca-se tecnologias de CCD e CMOS, capazes de produzir imagens de alta definição (em 1080 p ou mesmo 4 K) mesmo em ambientes com iluminação adversa.

A geração do vídeo necessita da transmissão em altas taxas, o que demanda sistema embarcado de alto desempenho e conectividade cabeada, preferencialmente por fibra óptica.

Em relação à segurança da informação, dado o alto *throughput* de rede disponível e a grande quantidade de dispositivos, câmeras de segurança têm se tornado alvos de invasões para a geração de tráfego coordenada para ataques do tipo DDoS. Assim sendo, mecanismos de segurança devem ser implementados nos dispositivos, em especial o controle de acesso.

Quanto à previsão de volume de dispositivos no mercado nacional, já que o número de câmeras pode variar entre dezenas de unidades até milhares, dependendo do tamanho da cidade, é razoável estimar uma demanda de algumas centenas de milhares de unidades.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de dispositivo tecnologias de:

- Sensores ópticos/imagem.
- Sistema embarcado de alto desempenho.
- Controle de acesso ao dispositivo.
- *Firmware* seguro.
- Prevenção a DDoS.

4.3.3 Conectividade

Considerando a necessidade de alta taxa de transmissão e confiabilidade, as tecnologias de rede cabeada ganham destaque para atender a aplicação, em especial tecnologias de redes ópticas como GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). No entanto, é importante destacar que a falta de infraestrutura de comunicação na cidade pode ser um desafio para essa aplicação.

4.3.4 Suporte à aplicação

A grande quantidade de informação gerada pelas câmeras resulta na necessidade de alto volume de armazenamento de dados para manter os vídeos disponíveis por pelo menos alguns meses. Nesse caso, utiliza-se banco de dados relacional.

O gerenciamento das câmeras é realizado por *middleware* IoT geralmente instanciado em infraestrutura de *data center* localizado na própria cidade⁴⁹. Entre as funções realizadas por ele, destaca-se a capacidade de atualizar remotamente o *firmware* dos dispositivos para aumentar a segurança pela correção de brechas descobertas.

Para que o uso de câmeras cresça e a aplicação se dissemine, é importante reduzir a dependência da interação humana para a interpretação das imagens geradas. Assim, o emprego de tecnologias relacionadas à visão computacional, em especial algoritmos de *deep learning*, é altamente relevante para que os eventos sejam gerados automaticamente e a solicitação da atenção humana ocorra apenas em poucas situações.

Para esse propósito, é necessária infraestrutura computacional de alto desempenho, com uso de tecnologias de processadores vetoriais dedicados, como GPUs e FPGAs, para que

⁴⁹ O uso de infraestrutura computacional verticalizada também pode ser necessário por questões de privacidade dos dados, a depender da legislação que será estabelecida.

os algoritmos de visão computacional processem as imagens em tempo real, gerando alertas para que as ações sejam tomadas em tempo hábil.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de suporte à aplicação tecnologias de:

- Banco de dados relacional.
- Computação de alto desempenho.
- *Middleware IoT on premises*.
- Visão computacional.

4.4 Medidores inteligentes e gestão da demanda de energia

No conceito de *smart grid*, em que os consumidores de energia também são produtores (*prosumers*) através do uso de tecnologias de geração distribuída, como painéis fotovoltaicos, os medidores de energia inteligentes e conectados permitem a precificação dinâmica em função da disponibilidade energética e demanda instantâneas. Essa infraestrutura de medição avançada (AMI – *Advanced Metering Infrastructure*) também possibilita observar a qualidade da rede e comportamentos anômalos, como fraudes, além de permitir o desligamento e religamento automático do fornecimento de energia.

4.4.1 Descrição da solução

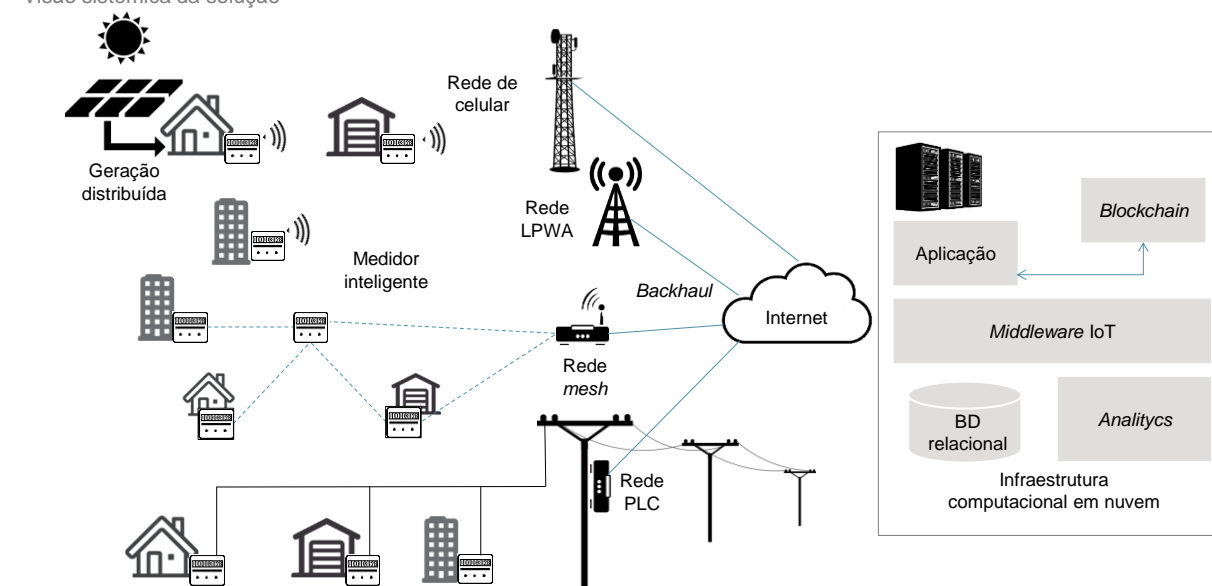
Os principais requisitos não funcionais da solução de medidores inteligentes e gestão da demanda de energia são:

- Altamente escalável – dezenas de milhões de unidades.
- Medidores inteligentes podem gerar dados na ordem de grandeza de kbps.
- Integração com sistemas em operação das distribuidoras de energia elétrica.
- Medidores e equipamentos de rede contam com alimentação principal.
- Alta criticidade da segurança da informação.

O QUADRO 34 apresenta a visão sistêmica da solução.

Medidores inteligentes e gestão da demanda de energia

Visão sistêmica da solução



FONTE: Análise do consórcio

A solução contempla a AMI, que consiste em um sistema avançado que, além de coletar as informações referentes ao volume de energia consumido e gerado pelos usuários, permite analisar a demanda e influir na resposta da demanda por meio do envio de informações de preços.

Para essa aplicação, é necessária uma rede de comunicação bidirecional entre a distribuidora de energia elétrica e o medidor inteligente, além de um sistema de armazenamento e processamento de dados. Especial atenção deve ser dada a questões de privacidade dos dados e segurança da informação.

De forma mais prospectiva, a tecnologia de *blockchain* pode ser utilizada nessa aplicação para validar as transações referentes à geração distribuída e o consumo em função da oferta energética.

4.4.2 Dispositivo

O medidor inteligente de energia elétrica⁵⁰ mede o consumo de energia elétrica através da integração da potência em relação ao tempo, e os armazena consolidando em intervalos

⁵⁰ A norma brasileira para os medidores eletrônicos é a ABNT NBR 14519.

de uma hora ou menos. Para a medição podem ser utilizados sensores eletro/magnéticos, como os baseados em efeito Hall, resistor Shunt ou transformadores de corrente.

O dispositivo deve possuir sistema embarcado de alto desempenho em relação aos dispositivos mais simples, uma vez que necessita de capacidade de armazenamento para as medidas e implementação de mecanismos de segurança. Também são empregados atuadores, em geral relés, para o corte remoto no fornecimento de energia.

Por causa da criticidade da aplicação, o medidor deve implementar uma série de tecnologias e técnicas de segurança, como atualização remota de *firmware*, prevenção à negação de serviço e controle de acesso para mitigar o risco de invasão, além de proteção contra violação (*anti tampering*) para impedir sua adulteração.

Os dados também possuem caráter sigiloso sob a perspectiva da privacidade do usuário, já que a informação sobre o consumo instantâneo pode, por exemplo, indicar se não há ninguém na residência no momento, estando assim mais sujeita a roubo. Dessa forma, os dados devem ser criptografados antes do envio. Para evitar fraudes e utilizar as informações para a geração de faturas, é importante também garantir a procedência das medidas através de tecnologias de assinatura digital.

Atualmente, o Brasil possui aproximadamente 80 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica. Este alto volume, se coordenado com políticas públicas que incentivem a atualização dessas unidades para a medição inteligente, traz o potencial de investimento na integração de componentes, resultando em dispositivos de menor custo, mais robustos e seguros.

Para esta aplicação, destacam-se para a camada de dispositivo tecnologias de:

- Sensores eletro/magnéticos.
- Sistema embarcado de alto desempenho.
- Atuadores.
- Integração de componentes.
- Criptografia embarcada.
- Assinatura digital.
- *Anti tampering*.
- Controle de acesso ao dispositivo.
- Falha segura.
- *Firmware* seguro.
- Prevenção à negação de serviço.

4.4.3 Conectividade

A presença de pontos de medição em alto volume por todo o tecido urbano abre a possibilidade da aplicação de diversas tecnologias de comunicação.

Tecnologias de rede de cobertura ampla, como LPWA e celular, podem ser utilizadas para o recebimento dos dados de medição e para a comunicação da aplicação centralizada para os medidores. Destacam-se aqui tecnologias de NB-IoT, LoRa e RPMA.

Dado que em espaços de dezenas até poucas centenas de metros há presença de um ou mais medidores, e que ele possuem alimentação principal de energia⁵¹, é possível utilizar tecnologias de rede *mesh*. Nesse caso, cada medidor passa a ser um elemento roteador dos dados gerados por outros medidores, até que a informação chegue a um *gateway* de acesso à rede de transporte. Destacam-se as tecnologias de Wi-SUN e IEEE 802.15.4.

Por fim, como nos medidores existe o próprio condutor para a interligação com a rede elétrica, ele pode ser utilizado para a comunicação. Nesse caso, emprega-se tecnologia de PLC (*Power Line Communication*).

Em especial para as redes sem fio, é relevante ressaltar a implementação de tecnologias de segurança para o ingresso dos dispositivos na rede de acesso, como a verificação de identidade por entidades certificadoras. Por ser um serviço público de grande relevância, o ataque às redes deve ser considerado como risco constante.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de conectividade tecnologias de:

- Redes *Low Power Wide Area*.
- Redes cabeadas.
- Redes de celular.
- Redes *mesh*.
- Ingresso seguro à rede de acesso.

4.4.4 Suporte à aplicação

As medidas enviadas pelos dispositivos são recebidas por *middleware* IoT e armazenadas em banco de dados relacional. O *middleware* também realiza o gerenciamento dos medidores, identificando falhas e necessidades, como a atualização do *firmware*. O ambiente de computação em nuvem se mostra mais adequado, considerando um cenário de alta escala, com milhões de medidores.

⁵¹ Em razão do esforço adicional para o encaminhamento de dados provenientes de outros elementos da rede, as redes *mesh* tendem a consumir mais energia elétrica em comparação às topologias em estrela.

Por intermédio de técnicas de *analytics*, é possível identificar padrões no consumo e geração distribuída, de forma a permitir o planejamento da operação, definir a precificação dinâmica e também detectar comportamentos anômalos, como fraudes.

Dada a criticidade da aplicação, é importante que os medidores tenham autonomia para manter a operação mesmo em condições de isolamento, em que se perde o acesso à aplicação centralizada. Nesse sentido, destaca-se a capacidade de *edge computing*, sendo parte da aplicação executada de maneira distribuída.

Com a perspectiva da ampla adoção dessa aplicação, e os avanços na geração de energia renovável e distribuída, uma tecnologia que pode ter grande impacto nesse cenário é o *blockchain*. Dessa forma, o registro das transações referentes ao consumo e geração de energia pode ser feito de modo totalmente distribuído e sem intermediários, garantindo maior segurança e dinamismo.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de suporte à aplicação tecnologias de:

- *Analytics*.
- Banco de dados relacional.
- *Edge computing*.
- *Middleware* IoT em nuvem.
- *Blockchain*.

4.5 Iluminação pública inteligente

A telegestão da iluminação pública traz significativa redução nos custos da operação através da identificação automática de problemas, como queimas das lâmpadas, o que diminui ou mesmo elimina a necessidade de rondas e atendimento por *call center*, e custos de energia elétrica, com a medição real do consumo associada a ações de dimerização dinâmica.

4.5.1 Descrição da solução

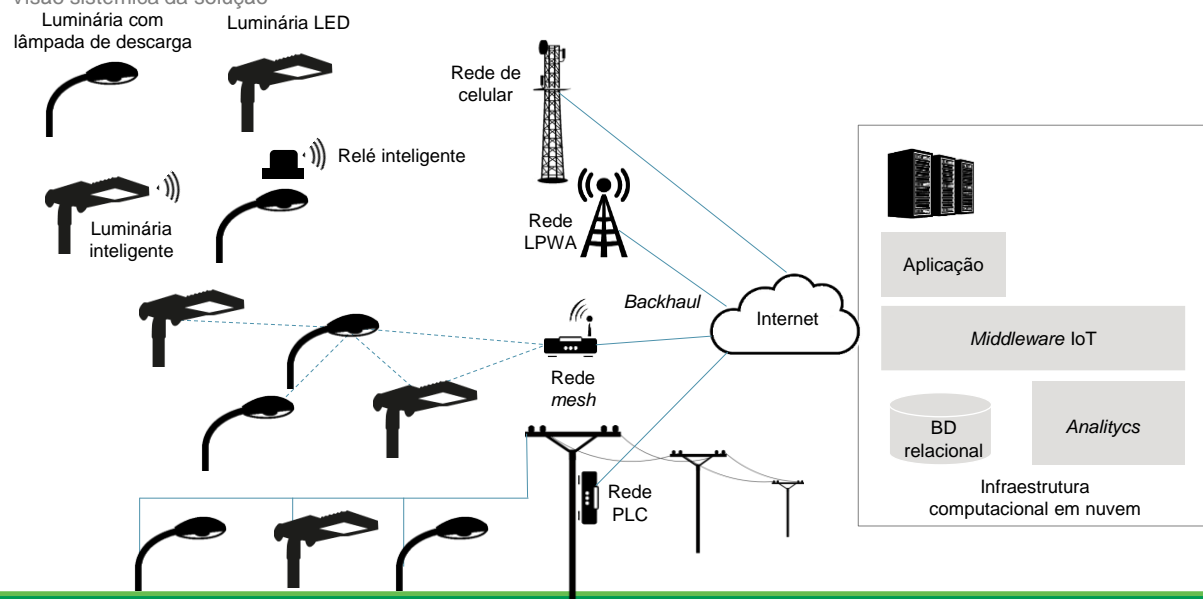
Os principais requisitos não funcionais da solução de medidores inteligentes e gestão da demanda de energia são:

- Altamente escalável – milhares a centenas de milhares de pontos por cidade.
- Pontos de iluminação e equipamentos de rede com alimentação principal.
- Necessidade de atualização remota de *firmware*.
- Média criticidade da segurança da informação.

O QUADRO 35 apresenta a visão sistêmica da solução.

Iluminação pública inteligente

Visão sistêmica da solução



A solução consiste de luminárias dotadas de processamento e conectividade embarcados ou relés fotoelétricos inteligentes, que são acoplados a luminárias convencionais que monitoram grandezas relevantes para a operação, enviando-as para aplicação centralizada por meio de um conjunto de possíveis tecnologias de comunicação, para assim realizar o processo de tomada de decisão.

4.5.2 Dispositivo

As luminárias podem possuir sistema embarcado capaz de realizar a telegestão ou relés inteligentes adicionados. Os relés são facilmente implantados por causa da tomada padrão ANSI C136.41 utilizada para o acoplamento de relés fotoelétricos, que fazem o acionamento pelo nível de luminosidade do ambiente nos sistemas legados⁵².

Nos dois casos, são utilizados sensores eletromagnéticos capazes de medir a tensão e a corrente elétricas (e conseqüentemente o fator de potência da luminária). Com esses dados, é possível calcular o consumo real e a degradação da lâmpada ou LED, podendo estimar o seu tempo de vida. Também é utilizado sensor óptico capaz de detectar a luminosidade do ambiente para que a decisão de acendimento possa ser feita localmente no caso de perda de conectividade com a aplicação centralizada (falha segura).

Além disso, são utilizados atuadores para o ligamento e desligamento da luminária. Caso seja possível realizar a dimerização (em especial nas luminárias LED), o atuador permite controlar a intensidade da iluminação. A decisão sobre o nível de dimerização pode ser feita a partir de informações provenientes de outros sistemas, como o atual fluxo de carros em uma determinada via.

Ataques ao sistema de telegestão podem causar falhas no serviço e impactar consideravelmente a cidade, de forma que os dispositivos devem implantar mecanismos de segurança da informação, em especial, atualização remota de *firmware* para a correção de eventuais *bugs*, controle do acesso remoto ao dispositivo e prevenção à negação de serviço.

No Brasil, há aproximadamente 19 milhões de pontos de iluminação pública, sendo ínfimos os pontos que atualmente têm telegestão. Diante deste grande número, também surge a possibilidade de investimento em integração de componentes.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de dispositivo tecnologias de:

- Sensores eletro/magnéticos.
- Sensores ópticos/imagem.
- Atuadores.
- Integração de componentes.
- Controle de acesso ao dispositivo.
- Falha segura.
- *Firmware* seguro.
- Prevenção à negação de serviço.

⁵² Esse tipo de tomada é amplamente adotado no sistema de iluminação pública brasileiro.

4.5.3 Conectividade

Essa aplicação compartilha diversas similaridades com a aplicação de medidor elétrico inteligente anteriormente descrita, em especial em razão do alto volume de pontos por toda a cidade e da disponibilidade de fonte principal de energia elétrica. Dessa forma, as mesmas tecnologias destacadas para a conectividade, e os mesmos motivos, aplicam-se aqui.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de conectividade tecnologias de:

- Redes *Low Power Wide Area*.
- Redes cabeadas.
- Redes de celular.
- Redes *mesh*.
- Ingresso seguro à rede de acesso.

4.5.4 Suporte à aplicação

Os dados enviados pelos dispositivos são recebidos por *middleware* IoT executado em ambiente computacional em nuvem pública e armazenados em banco de dados relacional. O *middleware* também realiza o gerenciamento dos pontos de iluminação.

Algoritmos fazem a análise da massa de dados para identificar comportamentos anormais, como luminárias que estão prestes a falhar, gerando relatórios que subsidiam a operação em campo.

Para essa aplicação, destacam-se para a camada de suporte à aplicação tecnologias de:

- *Analytics*.
- Banco de dados relacional.
- *Middleware* IoT em nuvem.