

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNO GUARINGUE TRINDADE**

**FRAMEWORK ORIENTADO À GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS  
PARA CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

**PATO BRANCO**

**2022**

**BRUNO GUARINGUE TRINDADE**

**FRAMEWORK ORIENTADO À GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS  
PARA CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

**Framework Oriented to the Management of Afforestation of Public Roads for  
Smart and Sustainable Cities**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto

Coorientador: Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa

**PATO BRANCO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Pato Branco**



BRUNO GUARINGUE TRINDADE

**FRAMEWORK ORIENTADO À GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS PARA CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 30 de Setembro de 2022

Dr. Fernando Jose Avancini Schenatto, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Daniela Biondi Batista, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Valdir Fernandes, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

TRINDADE, Bruno Guaringue. **Framework orientado à gestão de vias públicas para cidades inteligentes e sustentáveis**. 2022. 148 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2022.

As cidades inteligentes utilizam tecnologia da informação e comunicação (TIC) para proverem serviços avançados e inovadores para seus cidadãos. A dimensão ambiental é parte intrínseca da aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis na gestão do espaço urbano. Todavia, ainda que pesquisadores tenham tentado estabelecer relações entre as CIS e a gestão ambiental, estudos recentes denotam que, especificamente, a relação entre as CIS e as práticas de arborização urbana é pouco explorada. O objetivo desta pesquisa é estruturar um framework conceitual e operacional orientado à gestão da arborização de vias públicas para cidades inteligentes e sustentáveis, sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação. Para cumprir tal objetivo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) para identificar fatores críticos relativos à gestão da arborização urbana e estabelecer relações entre esses fatores e sua implementação nas CIS com o uso de TIC. O framework foi dividido em duas camadas, uma camada com ênfase aos componentes de tecnologia da informação e comunicação e outra camada abordando procedimentos de planejamento e manutenção da arborização de vias públicas. Posteriormente, o framework foi validado e recebeu contribuições de especialistas por meio da aplicação do método Delphi. Os resultados demonstraram significativa concordância dos especialistas em relação ao framework desenvolvido. Após a validação, uma nova versão do framework foi proposta com a adição de um novo componente e destaque para os componentes mais relevantes identificados. Ainda, uma aplicação web e um aplicativo móvel foram desenvolvidos para demonstrar a aplicabilidade de alguns conceitos apresentados no framework. Um grupo focal dividido em dois encontros foi realizado com o objetivo de validar a utilização dos softwares desenvolvidos. As opiniões e contribuições dos usuários sobre os softwares avaliados foram relatadas nesta pesquisa e podem servir como embasamento para o desenvolvimento de outras soluções de tecnologia que busquem resolver problemas do mesmo domínio. Esta pesquisa pretende contribuir para uma melhor compreensão acerca dos fatores da gestão da arborização de vias públicas que podem ser otimizados pela aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis. Os resultados podem subsidiar gestores municipais na criação e operacionalização de políticas públicas, como parte da gestão ambiental das cidades no âmbito da arborização de vias públicas, utilizando tecnologias da informação e comunicação. Ademais, espera-se que a pesquisa contribua com a literatura no entendimento do conceito difuso de cidades inteligentes e sustentáveis e sua correlação com a dimensão ambiental, a

arborização urbana e as tecnologias habilitadoras.

**Palavras-chave:** cidades inteligentes e sustentáveis; tecnologia da informação e comunicação; gestão da arborização urbana; gestão ambiental.

## ABSTRACT

TRINDADE, Bruno Guaringue. **Framework oriented to the management of afforestation of public roads for smart and sustainable cities**. 2022. 148 p. Master's Thesis in Production and Systems Engineering, Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2022.

Smart cities use information and communication technology (ICT) to provide advanced and innovative services to their citizens. The environmental dimension is an intrinsic part of the application of the concept of smart and sustainable cities in the management of urban space. However, although researchers have attempted to establish relationships between SSC and environmental management, recent studies denote that, specifically, the relationship between SSC and urban forestry practices is little explored. The objective of this research is to structure a conceptual and operational framework oriented to the management of street afforestation for smart and sustainable cities, from the perspective of information and communication technology. To fulfill this objective, a systematic literature review (SLR) was carried out to identify critical factors related to the management of urban afforestation and to establish relationships between these factors and their implementation in SSC with the use of ICT. The framework was divided into two layers, one layer emphasizing the information and communication technology components and another layer addressing planning and maintenance procedures for the afforestation of public streets. Subsequently, the framework was validated and received contributions from experts through the application of the Delphi method. The results showed significant agreement of experts in relation to the framework developed. After validation, a new version of the framework was proposed with the addition of a new component and highlighting the most relevant components identified. Also, a web application and a mobile application were developed to demonstrate the applicability of some concepts presented in the framework. A focus group divided into two meetings was carried out with the aim of validating the use of the developed software. The opinions and contributions of users about the evaluated software were reported in this research and can serve as a basis for the development of other technology solutions that seek to solve problems in the same domain. This research aims to contribute to a better understanding of the factors of urban afforestation management that can be optimized by applying the concept of smart and sustainable cities. The results can support municipal managers in the creation and implementation of public policies, as part of the environmental management of cities in the context of afforestation of public streets, using information and communication technologies. Furthermore, it is expected that the research will contribute to the literature in understanding the diffuse concept of smart and sustainable cities and its correlation with the environmental dimension, urban afforestation and enabling technologies.

**Keywords:** smart and sustainable cities; information and communication technology; urban afforestation management; environmental management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de cidades inteligentes e fatores associados.....	28
Figura 2 – Modelo Conceitual para Transformação Digital.....	49
Figura 3 – Etapas da pesquisa.....	51
Figura 4 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico A .....	53
Figura 5 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico B.....	54
Figura 6 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico C.....	55
Figura 7 – Dados territoriais da cidade de Pato Branco – Paraná .....	63
Figura 8 – Indicadores - Ranking Connected Smart Cities 2021.....	64
Figura 9 – Framework: camada de tecnologia da informação e comunicação.....	69
Figura 10 – Framework: camada de procedimentos para arborização de vias públicas.....	76
Figura 11 – Framework: camada de tecnologia da informação e comunicação após contribuições dos especialistas .....	82
Figura 12 – Framework: camada de procedimentos para arborização de vias públicas após contribuições dos especialistas.....	87
Figura 13 – Tela de autenticação de usuário.....	124
Figura 14 – Tela de cadastro de usuário.....	124
Figura 15 – Tela para recuperação de senha.....	125
Figura 16 – Tela inicial.....	125
Figura 17 – Tela de espécies de árvores disponíveis.....	126
Figura 18 – Tela de solos disponíveis.....	126
Figura 19 - Tela de Cadastro de Solicitação (Localização).....	127
Figura 20 - Tela de Cadastro de Solicitação (Confirmação de Endereço).....	127
Figura 21 – Tela de Cadastro de Solicitações (Informações da Solicitação).....	128
Figura 22 – Tela de Cadastro de Solicitações (Inserção de Imagem da Solicitação).....	128
Figura 23 – Tela de Solicitações Abertas.....	129
Figura 24 – Tela de Solicitações Concluídas.....	129

Figura 25 – Tela de Avaliação do Atendimento da Solicitação.....	130
Figura 26 – Tela de autenticação.....	131
Figura 27 – Tela inicial.....	131
Figura 28– Tela de Usuários.....	132
Figura 29 – Tela de árvores do inventário.....	132
Figura 30 – Tela de Solos.....	133
Figura 31 – Tela de Serviços.....	133
Figura 32 – Tela de Cadastro de Árvores.....	134
Figura 33 – Tela de Cadastro de Solos.....	134
Figura 34 – Tela de Cadastro de Usuários.....	135
Figura 35 – Tela de avaliação dos usuários.....	135



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições de cidades inteligentes .....	25
Quadro 2 – Dimensões de cidades inteligentes .....	27
Quadro 3 – Definição e fatores da arborização urbana na América do Norte e Europa.....	33
Quadro 4 – Características das árvores e sua relação com a remoção de poluentes.....	35
Quadro 5 – Etapas da transformação digital .....	46
Quadro 6 – Transformação Digital na Administração Pública .....	47
Quadro 7 – Cidades inteligentes e transformação digital .....	49
Quadro 8 – Base Conceitual do Framework.....	67
Quadro 9 – Utilização de IoT e Sensores em cidades inteligentes e Sustentáveis.....	71
Quadro 10 – Armazenamento em nuvem em cidades inteligentes e sustentáveis .....	73
Quadro 11 – Definições de cidades inteligentes (expandido).....	108
Quadro 12 – Portfólio Bibliográfico da Pesquisa.....	111
Quadro 13 - Artigos com mais citações no portfólio bibliográfico.....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento populacional x Taxa de vegetação em PB.....	63
Tabela 2 – Respostas: camada de tecnologia da informação e comunicação.....	79
Tabela 3 – Respostas: camada de procedimentos para arborização de vias públicas.....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIS	Cidades Inteligentes e Sustentáveis
GPS	Global Position System (USA)
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
RFID	Radio-Frequency Identification (identificador por radiofrequência)
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SI	Sistemas de Informação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Delimitação e problematização da pesquisa</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.3.1	Objetivos Geral .....	19
1.3.2	Objetivos Específicos .....	19
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>20</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Cidades Inteligentes e Sustentáveis</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Arborização de Vias Públicas</b> .....	<b>30</b>
2.2.1	A Arborização Urbana como Aspecto da Gestão Ambiental .....	32
<b>2.3</b>	<b>Tecnologia da Informação e Comunicação e Internet das Coisas em Cidades Inteligentes e Sustentáveis</b> .....	<b>37</b>
2.3.1	Internet das Coisas (IoT).....	38
2.3.2	IoT e TIC Aplicadas às CIS .....	40
2.3.3	Transformação Digital .....	45
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização Metodológica da Pesquisa</b> .....	<b>50</b>
<b>3.2</b>	<b>Etapas da Pesquisa</b> .....	<b>50</b>
<b>3.4</b>	<b>Unidade de Análise</b> .....	<b>62</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>66</b>
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento do <i>Framework</i></b> .....	<b>66</b>
4.1.1	Descrição da Base Conceitual do <i>Framework</i> .....	66
4.1.2	Construção do <i>Framework</i> .....	68
4.1.3	Validação da Estrutura do <i>Framework</i> .....	77
<b>4.2</b>	<b>Aplicação Web e Aplicativo Móvel</b> .....	<b>88</b>
4.1.3	Validação das aplicações.....	90
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE C</b> .....	<b>116</b>
	<b>APÊNDICE D</b> .....	<b>123</b>

**APÊNDICE E ..... 136**

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização da pesquisa, sua delimitação e problematização, o seu objetivo geral e objetivos específicos e sua justificativa, além de apresentar a estrutura do relato desta pesquisa.

### 1.1 Contextualização

Segundo relatórios da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial atingiu 7,7 bilhões em meados de 2019, tendo adicionado um bilhão de pessoas desde 2007 e dois bilhões desde 1994. Mantendo essa projeção de expansão, estima-se que a população global deva chegar a 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100 (UN, 2019). Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, a expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050 (ONU, 2019). No Brasil, a população em 2021 é estimada em cerca de 213 milhões de pessoas, um aumento de 23 milhões se comparada à estimativa populacional do censo de 2010 (IBGE, 2021).

Nas últimas décadas, muitas áreas urbanas experimentaram uma expansão vultosa, como resultado do rápido aumento populacional e de mudanças em paradigmas na economia e política (COHEN, 2006). O aumento populacional e a conseqüente crescente urbanização são fenômenos mundiais e trazem consigo desafios e oportunidades para o gerenciamento das cidades (COHEN, 2006; RANA, 2011; ZHANG, 2016; CHEN; LIU; LU, 2016).

De acordo com Zhang (2016), em um estudo sobre tendências, promessas e desafios da urbanização no mundo, há várias adversidades a serem enfrentadas: grande expansão urbana, urbanização da pobreza, maiores taxas de desemprego, custo de vida mais alto, falta de Investimento habitacional adequado, elevação dos preços de habitações, escassez de investimento em infraestrutura, baixa capacidade financeira de algumas cidades, governança urbana falha, desigualdade, insegurança e problemas ambientais.

Corroborando com as conclusões de Zhang (2016), Rana (2011) aponta que a rápida urbanização apresenta-se como um obstáculo na busca pela sustentabilidade, gerando problemas como a degradação ambiental e a

inadequação de serviços e infraestrutura urbana.

Nam e Pardo (2011) afirmam que a busca por meios de enfrentar os desafios provocados pela significativa urbanização resultou no surgimento do conceito de cidades inteligentes. O estudo evidencia que as cidades inteligentes são uma conexão orgânica entre componentes tecnológicos, humanos e institucionais que são impulsionados - em um contexto urbano de inovação e transformação - por tecnologias habilitadoras. Ainda, destaca-se que é necessário que as tecnologias habilitadoras, sobretudo as tecnologias da informação e comunicação (TIC), sejam utilizadas juntamente com práticas de governança, com o objetivo de fomentar o crescimento sustentável e a qualidade de vida dos cidadãos.

Albino, Berardi e Dangelico (2015) realizaram uma abrangente revisão de da literatura sobre cidades inteligentes, abarcando artigos e documentos publicados após o ano de 2008. Como resultado, o estudo apresenta as características mais comuns acerca das cidades inteligentes: provimento de serviços através de uma infraestrutura em rede de dispositivos interconectados; ênfase no desenvolvimento urbano liderado por negócios e atividades criativas; inclusão social e capital social aplicado ao desenvolvimento urbano; e o meio ambiente como componente estratégico para o futuro. Os autores ainda defendem que o significado do termo “cidade inteligente” ainda carece de maior investigação.

Pesquisadores apresentam definições variadas que, ainda que se complementem e se correlacionem, possuem enfoques díspares (NAM; PARDO, 2011; DAMERI; COCCHIA, 2013; DAMERI, 2013; CASTELNOVO; MISURACA; SAVOLDELLI, 2016). Todavia, nos últimos anos, há consenso na literatura científica sobre o caráter multifacetado das cidades inteligentes. As definições para essas cidades incluem não só o uso de tecnologias da informação e comunicação, mas também aspectos que envolvem as pessoas e comunidades (MOHAMUDALLY; ARMOOGUM, 2019).

Giffinger *et al.* (2007) defendem que a aplicabilidade do conceito “cidade inteligente” pode permear áreas como educação, indústria e infraestrutura urbana. Os autores identificaram seis dimensões principais para o desenvolvimento de cidades inteligentes: economia inteligente, pessoas inteligentes, governança inteligente, mobilidade inteligente, meio ambiente inteligente e vida inteligente. Uma cidade inteligente deve compreender pelo menos uma dessas dimensões.

Essa compreensão seccionada das camadas que compõem uma cidade inteligente é amplamente difundida e aceita por pesquisadores que investigam a temática (GIRARD; LOMBARDI; NIJKAMP, 2009; LOMBARDI *et al.*, 2012; ALAVI *et al.*, 2018; BIBRI, 2018b; ORLOWSKI; ROMANOWSKA, 2019), além de ser utilizada para avaliar e mensurar o quão inteligente é uma cidade (GIFFINGER; GUDRUN, 2010).

Lombardi *et al.* (2012) associaram as seis dimensões de uma cidade inteligente com aspectos empíricos da vida urbana. Alguns dos aspectos críticos são permeados pelos usos das TICs: a economia inteligente é associada a indústrias na área de TIC ou a indústrias que utilizam TIC em seus processos; a mobilidade inteligente associa-se com o uso de TIC em transportes para otimizar o tráfego urbano; a governança inteligente, por sua vez, é associada a práticas de democracia eletrônica, que visam a inclusão dos cidadãos nos processos de tomada de decisão através do uso de TIC.

De acordo com Ismagilova *et al.* (2019), as cidades inteligentes utilizam sistemas de informação para prover serviços avançados e inovadores para seus cidadãos. Esses serviços possuem como objetivo alcançar pontos centrais propostos para as cidades inteligentes, como a melhora da qualidade de vida e a gestão sustentável de recursos naturais. Dessa forma, o estudo indica que a aplicabilidade do conceito de cidades inteligentes tem potencial para responder muitos dos Objetivos de Desenvolvimento de Sustentabilidade (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

A sustentabilidade urbana é frequentemente ligada aos conceitos de eco cidade e cidade verde, que se caracterizam como cidades sustentáveis pensadas para, sobretudo, garantir a preservação ambiental em seus espaços (JONG *et al.*, 2015; HAASE *et al.*, 2017).

Neste âmbito, expandindo o arcabouço conceitual sobre as cidades inteligentes, Höjer e Wangel (2014) apresentam o conceito de cidade inteligente e sustentável. Uma cidade inteligente e sustentável (CIS) deve atender às necessidades de seus habitantes, sem comprometer as capacidades de outras pessoas ou gerações futuras. Portanto, isso implica em não ultrapassar as limitações ambientais locais ou planetárias.

Ainda que o conceito de CIS seja reconhecido e estabelecido na literatura científica (JONG *et al.*, 2015; BIBRI, 2018a; SILVA; KHAN; HAN, 2018;



BEDNARSKA-OLEJNICZAK; OLEJNICZAK; SVOBODOVA, 2019), o desafio principal é garantir que ele seja realmente implementado em uma cidade através de práticas da gestão pública e da iniciativa privada.

Estudos publicados sobre CIS na última década sugerem a aplicabilidade do conceito em busca da sustentabilidade urbana através do uso de TIC (GIFFINGER *et al.*, 2007; HAMMI *et al.*, 2018; BIBRI, 2018a; ISMAGILOVA *et al.*, 2019). Ainda, avulta-se que a dimensão ambiental é parte intrínseca da construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis (GIFFINGER *et al.*, 2007; HÖJER; WANGEL, 2014; BIBRI; KROGSTIE, 2017; BIBRI, 2018b; SILVA; KHAN; HAN, 2018).

Em consonância com a perspectiva ambiental atrelada ao desenvolvimento das CIS, pesquisadores sustentam que a constituição da arborização urbana é um elemento central para cumprir os objetivos preconizados para a melhoria de fatores ambientais nas cidades (NITOSLAWSKI *et al.*, 2019; UÇAR; AKAY; BILICI, 2020). Define-se como arborização urbana a vegetação presente no perímetro urbano, ainda que o termo “floresta urbana” também seja usado por pesquisadores da área (BARCELLOS *et al.*, 2018).

Nitoslawski *et al.* (2019) destacam que os desafios urbanos enfrentados pela sociedade, como poluição e o crescimento populacional, exigem abordagens inovadoras para a valorização e gestão de espaços verdes. Posto isso, os autores analisam tendências e tecnologias emergentes de cidades inteligentes que podem ser utilizadas nas práticas de gestão de florestas urbanas e espaços verdes. Destaca-se também que projetos atuais de “floresta urbana inteligente” revelam um foco em dados abertos e envolvimento do cidadão, especialmente por meio do uso de dispositivos móveis, aplicativos e plataformas de mapeamento de código aberto. Essas tecnologias podem ser utilizadas para catalogar e mapear as árvores de uma cidade, além de fornecerem dados acerca das atividades que compõe os processos de arborização urbana, favorecendo as tomadas de decisão.

Uçar, Akay e Bilici (2020) também associam a implementação dos conceitos de CIS à arborização urbana. A pesquisa ressalta que a vegetação urbana nas cidades fornece benefícios para as cidades, como redução da poluição do ar, atenuação dos efeitos de ilhas de calor, diminuição do risco de inundação, melhoria da qualidade da água, valor estético agregado a cidade e, por

consequência, melhora na qualidade de vida dos cidadãos. Assim, sugere-se que é necessário entender a utilização das TICs, no âmbito das práticas de CIS, para operacionalizar atividades e auxiliar o manejo de informação relativas à arborização urbana.

Neste contexto, esta pesquisa pretende compreender a aplicabilidade dos conceitos de cidades inteligentes e sustentáveis na operacionalização de práticas de gestão arborização de vias públicas sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação.

## **1.2 Delimitação e problematização da pesquisa**

A gestão ambiental é uma área da ciência que tange o planejamento e realização de atividades que buscam racionalizar o uso de recursos naturais com o objetivo de alcançar a sustentabilidade. O arcabouço de conhecimentos contemplados pela gestão ambiental inclui técnicas que visam o uso racional da energia elétrica e da água, reciclagem, uso de materiais recicláveis ou biodegradáveis para a construção de embalagens, controle da poluição atmosférica, recuperação de áreas degradadas, técnicas de reflorestamento, métodos para a exploração sustentável de recursos naturais, dentre outros inúmeros conceitos e práticas (BETIOL; UEHARA, 2012; MITCHELL, 2013; O'RIORDAN, 2014).

Esta pesquisa reconhece a abrangência do tema “gestão ambiental” na literatura científica e, portanto, concentra-se em analisar e compreender aspectos da gestão ambiental, especificamente em relação à arborização de vias públicas, no contexto específico da relação entre o tema e a aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis, sobretudo, sob a perspectiva operacional de utilização de tecnologias da informação e comunicação.

Em relação às tecnologias da informação e comunicação, esta pesquisa tende predominantemente à abordagem de internet das coisas e sistemas de informação, uma vez que há intrínseca aderência entre essas tecnologias e o conceito de cidades inteligentes (SANCHEZ *et al.*, 2014; ALAVI *et al.*, 2018; SIKDER *et al.*, 2018; BIBRI, 2018b; RATHORE *et al.*, 2018; HAMMI *et al.*, 2018; ISMAGILOVA *et al.*, 2019).

A utilização de dispositivos IoT, como sensores e *smartphones*, é vista como um fator habilitador para a construção de cidades inteligentes e sustentáveis (SIKDER *et al.*, 2018; BIBRI, 2018b) . A combinação entre os dados oriundos desses dispositivos e os sistemas de informação, podem gerar informações para subsidiar decisões dentro do espaço urbano que podem favorecer a inteligência e sustentabilidade das cidades (SILVA; KHAN; HAN, 2017; RATHORE *et al.*, 2018).

Dessa forma, o problema desta pesquisa concentra-se na seguinte questão: como estruturar a gestão da arborização de vias públicas, a partir do uso de tecnologias da informação e comunicação, no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis?

### 1.3 Objetivos

Nesta seção, apresenta-se o objetivo geral e os objetivos específicos a serem alcançados por esta pesquisa.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Estruturar um *framework* conceitual e operacional para a gestão da arborização de vias públicas no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis, sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar na literatura fatores críticos relativos à gestão da arborização urbana.
- Estabelecer relações entre os fatores críticos da gestão da arborização urbana com sua implementação sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação, no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis.
- Identificar processos, práticas, atores e TICs aderentes à gestão da arborização de vias públicas nas CIS.

- Validar o framework proposto através de consultas a especialistas em gestão ambiental nas cidades e especialistas em cidades inteligentes e sustentáveis.
- Desenvolver um sistema de informação, com módulos móvel e web, como prova de conceito ao framework proposto.
- Validar o sistema de informação desenvolvido por meio de consulta aos usuários em uma experiência piloto.

#### 1.4 Justificativa

Compreender a relação entre os fatores ambientais nas cidades e a qualidade de vida das pessoas é uma temática recorrente na literatura científica. Machado Junior *et al.* (2018) analisaram 150 cidades brasileiras com base em indicadores sociais, econômicos e ambientais, buscando caracterizar cada cidade, em termos de sua tendência, como mais inteligentes ou mais sustentáveis. O resultado demonstra que na maior parte das cidades há ênfase as questões socioeconômicas e de tecnologias de informação e comunicação, evidenciando que os gestores municipais brasileiros estão mais interessados em posicionar suas cidades como inteligentes do que como sustentáveis. No entanto, a despeito do desinteresse dos gestores pela dimensão ambiental das cidades, os autores afirmam que cidades com um conjunto de indicadores econômicos, sociais e ambientais superior têm potencial para apresentar melhores condições de vida para seus habitantes.

A dimensão ambiental é parte intrínseca da aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis na gestão do espaço urbano (GIFFINGER *et al.*, 2007; GIFFINGER; GUDRUN, 2010; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015; BIBRI; KROGSTIE, 2017; BIBRI, 2018b).

Para Nam e Pardo (2011) o conceito de cidade inteligente compreende um conjunto de elementos sinérgicos, que abarcam soluções sociais, técnicas e ambientais. Portanto, compreender os fatores que tangem o gerenciamento eficiente dos recursos que constituem o meio ambiente é fundamental para a criação de cidades mais inteligentes e sustentáveis para o futuro.

Fernandes *et al.* (2021), em um estudo sobre a história e evolução do sistema de gestão ambiental no Brasil, conclui que é necessário um desenvolvimento mais expressivo dos sistemas de informação ambiental,

criando indicadores específicos que apoiem a tomada de decisão do Estado, das empresas e da própria sociedade civil, relativamente à questão ambiental.

Estudos recentes caracterizam o uso de tecnologia da informação e comunicação, sobretudo as redes de comunicação e internet das coisas, como um fator habilitador na construção de cidades inteligentes e sustentáveis (ALAVI *et al.*, 2018; BIBRI, 2018b; HAMMI *et al.*, 2018; PARK; POBIL; KWON, 2018). Todavia, a objetiva aplicação de tecnologias habilitadoras no espaço urbano e sua correlação direta com o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis ainda requer elucidações (LIM; CHO; KIM, 2021).

Santana *et al.* (2017) analisaram 23 projetos relacionados às tecnologias facilitadoras de uso mais recorrente em cidades inteligentes, tal como seus requisitos funcionais e não funcionais, classificando-os em quatro categorias: sistemas ciberfísicos, internet das coisas, *big data* e nuvem. Derivou-se dos resultados uma arquitetura de referência para orientar o desenvolvimento de plataformas de software para cidades inteligentes. De forma análoga, Schleicher *et al.* (2016) descreveram três tipos representativos de aplicativos para cidades inteligentes, identificando os principais requisitos e diretrizes arquitetônicas para sua implementação.

Neste âmbito, pesquisadores têm centrado esforços na construção de *frameworks* que buscam embasar a aplicação empírica dos conceitos de cidades inteligentes e sustentáveis (JIN *et al.*, 2014; PUIU *et al.*, 2016; BIBRI, 2018b; YIGITCANLAR *et al.*, 2018). Todavia, alguns *frameworks* holísticos (GIFFINGER *et al.*, 2007) propostos para cidades inteligentes possuem ênfase em aspectos sociais, em detrimento da importância dos aspectos ambientais (AHVENNIEMI *et al.*, 2017).

Ahvenniemi *et al.* (2017) analisaram 16 *frameworks* de avaliação para cidades, contemplando oito para cidades inteligentes e oito para cidades sustentáveis, abrangendo 958 indicadores no total. Como resultado, os autores afirmam que há um foco maior em tecnologias contemporâneas nos *frameworks* para cidades inteligentes comparados aos *frameworks* de sustentabilidade urbana que tendem a ter ênfase nos aspectos ambientais. Ainda, para os autores, essa disparidade de abordagem dá-se como um contrassenso, uma vez que um dos objetivos centrais das cidades inteligentes é a busca por sustentabilidade, incluindo a dimensão ambiental. Posto isto, o estudo anteriormente citado sugere

que ainda há necessidade do desenvolvimento de *frameworks* para as cidades inteligentes que consigam contemplar de modo mais significativo os aspectos ambientais do meio urbano.

Puiu *et al.* (2016) propuseram o *framework CityPulse* que oferece suporte à criação de serviços de cidade inteligente por meio de um sistema distribuído capaz de analisar e interpretar dados em grande escala, provenientes de mídias sociais e dispositivos IoT. A operacionalização do *framework* foi demonstrada por meio da utilização do aplicativo *Smart Travel Planner*. As principais contribuições deste trabalho incluem a integração dos fluxos de dados entre aplicativos diferentes, fornecendo interoperabilidade, análise de dados em tempo real e a possibilidade de inclusão de novos aplicativos em uma estrutura escalonável.

Kourtit e Nijkamp (2018) desenvolveram um *framework* metodológico para lidar com *big data* em um contexto de apoio à decisão em cidades inteligentes. O trabalho buscou aprimorar o desempenho competitivo das cidades por meio da concepção e desenvolvimento de princípios e estratégias de gestão urbana. O *framework* desenvolvido embasou a criação de uma arquitetura para *dashboards* interativas que podem ser aplicadas como uma ferramenta de apoio em processos decisórios acerca de questões socioeconômicas das cidades.

Pardo-Garcia *et al.* (2019) apresentam uma plataforma, intitulada *SureCity*, que visa apoiar a integração de políticas e medidas em cidades inteligentes para suportar um sistema de energia de baixo carbono. A plataforma de software implementa uma lista de indicadores que permite às cidades avaliar suas estratégias energéticas e ambientais de médio a longo prazo. Esses indicadores abordam os seguintes tópicos: emissões de poluentes atmosféricos, gases de efeito estufa, uso da terra, uso de água e desempenho energético. Usuários finais dessas informações, como políticos, cidadãos e empresas podem usar a plataforma para avaliar os impactos sociais, tecnológicos e econômicos dos indicadores em todos os principais setores das cidades.

Nacionalmente, projetos de tecnologia da informação e comunicação têm buscado estabelecer relações de colaboração entre cidadãos e as cidades. A rede social Colab, criada em 2013 no Porto Digital – Parque Tecnológico de Recife, tem como objetivo disponibilizar um meio digital para que os cidadãos e

as cidades indiquem problemas, avaliem serviços públicos e construam propostas de projetos para as cidades. O colab conta com uma plataforma web, aplicativos para smartphones e um ambiente administrativo, no qual um ente público pode gerenciar demandas solicitadas pelos cidadãos (SALLES *et al.*, 2022)

Ainda que pesquisadores tenham tentado estabelecer relações entre as CIS e fatores ambientais, estudos recentes denotam que, especificamente, a relação entre as CIS e as práticas de arborização urbana é pouco explorada (NITOSLAWSKI *et al.*, 2019; UÇAR; AKAY; BILICI, 2020). Considerando essa lacuna de pesquisa, Nitoslawski *et al.* (2019) afirmam que é necessário considerar em que medida as florestas urbanas e outros espaços verdes podem ser integrados de forma eficaz no planejamento urbano inteligente. Reforçando essa argumentação, Uçar, Akay e Bilici (2020) afirmam que a maior parte dos estudos de CIS que abordam elementos de impacto ambiental tendem a focar em questões acerca de energia e meios de transporte. Portanto, estabelecer a conexão entre as CIS e a arborização urbana apresenta-se como uma oportunidade de pesquisa e complementação temática relevante para estudos futuros que abordem os mesmos assuntos.

Barona *et al.* (2020) conduziram um estudo sobre tendências em pesquisa sobre arborização urbana na América Latina e no Caribe. Para os autores, a arborização urbana tem sido pouco explorada por estudos científicos na região da América Latina e do Caribe, apesar de serem umas das regiões mais urbanizadas e biodiversas do mundo. Esse estudo analisou 182 artigos sobre florestas urbanas. Dos artigos analisados, cerca da metade foram realizados no Brasil. Aponta-se ainda que a maioria dos estudos eram ecológicos e não incluíam quaisquer considerações sociais ou sobre gestão.

Os estudos apresentados nesta seção denotam que ainda há uma lacuna na correlação entre a aplicação das TIC e a gestão da arborização de vias públicas, no contexto das CIS. Ainda, em uma perspectiva empírica, a operacionalização de TICs, sobretudo IoT, no espaço urbano para o monitoramento e gerenciamento das árvores e atividades correlatas ainda é pouco explorada na literatura.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema de pesquisa, com sua problematização. Ainda, estabelece o objetivo geral e os objetivos específicos e, por fim, apresenta a justificativa e a estrutura de organização desta dissertação.

O capítulo dois apresenta a fundamentação teórica oriunda das revisões sistemáticas de literatura sobre os campos de estudo que tangem essa pesquisa, sendo eles: cidades inteligentes e sustentáveis; arborização urbana; e internet das coisas e tecnologia da informação e comunicação em cidades inteligentes e sustentáveis.

O capítulo três apresenta a caracterização metodológica da pesquisa. Neste capítulo são apresentadas: a natureza da pesquisa; a descrição de seus objetivos; a abordagem metodológica; e os procedimentos que serão realizados.

No capítulo quatro apresenta-se o desenvolvimento do *framework* e sua validação.

O capítulo cinco apresenta os *softwares* desenvolvidos nesta pesquisa e a sua validação.

Por fim, o capítulo seis apresenta as conclusões, além das limitações desta pesquisa e dos apontamentos para trabalhos futuros.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os temas que fundamentam esta pesquisa, sendo eles: cidades inteligentes e sustentáveis; internet das coisas e tecnologia da informação e comunicação em cidades inteligentes e sustentáveis; e arborização de vias públicas.

### 2.1 Cidades Inteligentes e Sustentáveis

Investiga-se que o conceito de cidades inteligentes teve seu advento em meados da década de 1990, tendo seu significado atrelado à como o desenvolvimento urbano se transformava dinamicamente, principalmente em uma perspectiva econômica e tecnológica (GIBSON; DEARING, 1993; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). Desde então, uma vasta gama de definições e compreensões acerca da caracterização difusa das cidades inteligentes têm construído o arcabouço ideário sobre o tema. Neste contexto, estudos nos últimos anos buscaram compreender e conceituar com maior precisão o que são as cidades inteligentes, como são constituídas e o que elas representam para as pessoas (DAMERI, 2013; DAMERI; COCCHIA, 2013; COCCHIA, 2014; HÖJER; WANGEL, 2014; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). O Quadro 1 apresenta os principais conceitos e significados extraídos da literatura científica e atribuídos às cidades inteligentes. Uma versão expandida deste quadro é apresentada no Apêndice A.

**Quadro 1 – Definições de cidades inteligentes**

(continua)

Definição	Origem
A cidade inteligente é uma cidade com bom desempenho nas dimensões: economia inteligente, pessoas inteligentes, governança inteligente, mobilidade inteligente, meio ambiente inteligente e vida inteligente. Uma cidade inteligente geralmente se refere à pesquisa e identificação de soluções inteligentes que permitem às cidades modernas melhorar a qualidade dos serviços prestados aos cidadãos.	Giffinger <i>et al.</i> (2007)

---

Uma cidade para ser inteligente precisa investir em capital humano e social. Também é necessário que as TICs sejam utilizadas para alcançar o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida. Caragliu, Bo e Nijkamp (2011)

Uma cidade inteligente utiliza informações em sua infraestrutura física para a melhoria de serviços e fatores críticos da cidade, como: mobilidade urbana, conservação de energia, qualidade do ar e da água, identificação e resolução rápida de problemas, utilização de dados para melhores tomadas de decisão. Nam e Pardo (2011)

Cidade inteligente é o resultado da combinação entre a cidade digital e a internet das coisas. Su, Li e Fu (2011)

As cidades inteligentes do futuro precisarão de políticas de desenvolvimento urbano sustentável onde todos os residentes, incluindo os pobres, possam viver bem. As cidades inteligentes apresentam-se como cidades que oferecem alta qualidade de vida aos cidadãos. Os objetivos de uma cidade inteligente devem ser alcançados através da utilização de TIC Thuzar (2011)

As cidades inteligentes são o resultado de estratégias criativas e intensivas em conhecimento que visam o aprimoramento do nível socioeconômico, ecológico, logístico e o desempenho competitivo das cidades. Essas cidades são baseadas em uma combinação promissora de capital humano, infraestrutura, capital social e capital empreendedor. Kourtit e Nij-kamp (2012)

Uma cidade inteligente é uma área geográfica bem definida, na qual altas tecnologias, como TIC, logística e produção de energia, cooperam para criar benefícios para os cidadãos. Atores como universidades, instituições de pesquisa e empresas com alta tecnologia são essenciais na produção de ideias e soluções para as cidades inteligentes. Essas cidades inteligentes são construídas através de uma perspectiva “de baixo para cima”, em que a base é constituída de tecnologias habilitadoras e na ponta há as práticas de governança. Dameri (2013)

---

**Fonte: Adaptado de Dameri e Cocchia (2013) e Albino, Berardi  
Dangelico (2015)**

Buscando a operacionalização do conceito, alguns pesquisadores procuraram estabelecer dimensões e elementos críticos para o desenvolvimento de cidades inteligentes. O Quadro 2 demonstra as dimensões-chave de uma cidade inteligente.

**Quadro 2 – Dimensões de cidades inteligentes**

Dimensões de cidades inteligentes	Origem
Economia inteligente	Giffinger et al. (2007)
Mobilidade inteligente	
Meio Ambiente inteligente	
Pessoas inteligentes Governança inteligente	
Questões econômicas e sociopolíticas da cidade	Nam e Pardo (2011)
Questões econômico-técnicas-sociais do meio ambiente	
Interconexão	
Instrumentação	
Integração	
Aplicações	
Inovações	
Qualidade de vida	Thuzar (2011)
Desenvolvimento econômico sustentável	
Gestão de recursos naturais por meio de políticas participativas	
Convergência de objetivos econômicos, sociais e ambientais	
Gestão e organizações	Chourabi et al. (2012)
Tecnologia Governança	
Contexto político	
Pessoas e comunidades	
Economia	
Infraestrutura construída	

**Fonte: Adaptado de Albino, Berardi e Dangelico (2015)**

Nesta perspectiva, destaca-se a visão de Giffinger e Gudrun (2010), amplamente aceita na literatura científica sobre cidades inteligentes (LOMBARDI *et al.*, 2012; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). Essa compreensão seccionada dos componentes que compõem uma cidade inteligente será utilizada

como principal norteadora conceitual desta pesquisa. Os componentes de cidades inteligentes e os fatores associados a cada componente são mostrados na Figura 1.

**Figura 1 – Componentes de cidades inteligentes e fatores associados**



**Fonte: Adaptado de Giffinger e Gudrun (2010)**

Giffinger *et al.* (2007) utilizam a estrutura de componentes e fatores associados a cidades inteligentes para avaliar e mensurar o quão inteligente uma cidade é, com base em indicadores classificatórios. Especificamente, a dimensão ambiental, além dos fatores associados, é constituída dos indicadores: horas de sol; espaços verdes da cidade compartilhados; níveis de poluição; material particulado no ar; doenças respiratórias crônicas fatais por habitante; esforços individuais para proteger a natureza; opinião dos cidadãos sobre proteção da natureza; uso eficiente de água; e uso eficiente da energia elétrica.

Para Ismagilova *et al.* (2019) o conceito de cidades inteligentes sob a perspectiva das tecnologias da informação e comunicação, sobretudo os sistemas de informação, já foi amplamente abordado e discutido na literatura científica. A noção crítica de integração de arquitetura inteligente e tecnologias como os sistemas de informação para a operação eficaz de cidades inteligentes é um consenso. Todavia, apresentando uma abordagem de caráter holístico, estudos recentes ampliaram o conceito atrelando-o diretamente a temas como a sustentabilidade no espaço urbano (BIBRI; KROGSTIE, 2017; HATUKA *et al.*, 2018; BIBRI, 2018a; BEDNARSKA-OLEJNICZAK; OLEJNICZAK; SVOBODOVA, 2019). Neste contexto, a sustentabilidade urbana é um conceito complexo que se refere à interação de três ambientes críticos que caracterizam um sistema urbano: o meio físico, o econômico e o social. Essa interação pode gerar efeitos externos positivos e negativos (CAMAGNI, 1996; CAMAGNI; CAPELLO; NIJKAMP, 1998).

Höjer e Wangel (2014) afirmam que as cidades inteligentes e sustentáveis (CIS) são resultantes da combinação do uso de tecnologias inteligentes e o objetivo de tornar uma cidade mais sustentável. Para os autores, a junção entre os conceitos de cidades sustentáveis e cidades inteligentes pode aumentar a consciência entre empresas de TI e formuladores de políticas públicas sobre o potencial do uso das TIC para promover a sustentabilidade urbana. No entanto, garantir que o conceito seja implementado na prática nas cidades requer o enfrentamento de alguns desafios: métodos de avaliação precisam ser desenvolvidos e usados para garantir que cidades identificadas como CIS são de fato sustentáveis; medidas de mitigação são necessárias para a implementação de políticas para CIS, caso contrário, os efeitos rebote podem cancelar os efeitos positivos; a relação entre as iniciativas “de cima para baixo” (iniciativas e soluções tecnológicas de grandes empresas) e “de baixo para cima” (iniciativas e soluções que partem das comunidades e cidadãos) precisa ser mais explorada; estratégias para fortalecer as competências dos governos municipais são necessárias; e modelos de governança para o desenvolvimento de CIS devem ser considerados.

A busca por cidades mais inteligentes e sustentáveis inclui a necessidade de utilização de métodos, modelos e TICs que possam otimizar as práticas de gestão ambiental (GIRARDI; TEMPORELLI, 2017; ANDRACHUK *et al.*, 2019; LIM; CHO; KIM, 2021; CRUMP-TON *et al.*, 2021).

Lim, Cho e Kim (2021) realizaram uma abrangente revisão de da literatura sobre cidades inteligentes com base na mineração de texto de 3.315 artigos publicados de 1999 a abril de 2020. Os autores concluíram que redes sem fio, análise de *big data* e IoT são tecnologias essenciais de cidades inteligentes, e energia e gestão ambiental (por exemplo, gerenciamento de energia, sensoriamento e monitoramento ambiental, gerenciamento de utilização da água e gerenciamento de resíduos) são áreas chave para o desenvolvimento de aplicações. No escopo ambiental, a maior parte dos artigos se concentraram em monitoramento e sensoriamento ambiental. Estes estudos propuseram, predominantemente, sistemas de detecção de ruído e monitoramento da qualidade do ar e níveis de poluição. Ainda, a pesquisa evidencia a operacionalização da gestão ambiental através do uso de TICs em um contexto de CIS.

Andrachuk *et al.* (2019) analisaram artigos que apresentam tecnologias para *smartphone* que dão suporte ao monitoramento ambiental através de aplicativos centrados na comunidade. Dos 71 artigos revisados, 6 demonstravam aplicativos para o monitoramento de plantas no espaço urbano. Para os autores, a relação entre aspectos do monitoramento ambiental e o uso de aplicativos e smartphones requer maior investigação. Pesquisas futuras devem demonstrar a extensão dos impactos tangíveis do uso de aplicativos e smartphones nos objetivos de monitoramento e gestão ambiental.

## **2.2 Arborização de Vias Públicas**

Conforme Biondi (2015), a floresta urbana - ou arborização urbana - abrange a cobertura vegetal presente dentro do perímetro urbano. O tipo de vegetação pode incluir árvores, arbustos, trepadeiras, dentre outras espécies de vegetação. Ainda, a floresta pode ser classificada em: floresta urbana particular, floresta urbana pública e áreas verdes. Conectando-se diretamente a temática desta pesquisa, a floresta urbana pública é composta pela arborização presente nas ruas, constituída pela vegetação arbórea plantada em calçadas.

A arborização de vias públicas proporciona benefícios para os cidadãos como a manutenção do microclima no entorno dos locais em que são plantadas (MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2018). A manutenção do microclima pode, por

exemplo, fazer com que edifícios no entorno gastem menos energia para conversarem o estado da temperatura interna (NOWAK *et al.*, 2008). Ainda, conforme Nowak *et al.* (2008), outro ponto crítico da arborização de vias públicas, é a capacidade das árvores de atenuarem a poluição atmosférica. Ademais, há outros notórios benefícios como melhorias estéticas e paisagísticas para a cidade, melhora da qualidade de vida dos cidadãos e até mesmo o benefício econômico pela valorização imobiliária das casas situadas em áreas com melhor arborização (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Ressalta-se que, conforme preconiza a lei nº 10.257 DE 10 DE JULHO DE 2001, é obrigação dos municípios a formulação e execução do plano diretor e do plano de desenvolvimento urbano. Sendo assim, deriva-se dos planos de desenvolvimento urbano, o planejamento e gestão da arborização urbana, incluindo as vias públicas (BRASIL, 2001).

Neste contexto, de acordo com Barcellos *et al.* (2018), é necessário descrever os elementos associados a gestão da arborização urbana para visualizar os procedimentos que serão utilizados para a implantação e manutenção das árvores da cidade. Destaca-se, quanto ao planejamento e implantação da arborização de vias públicas, fatores a serem considerados como: critério para escolha das espécies de árvores, critérios para definição dos locais de plantio, aquisições ou produção de mudas e os procedimentos de plantio. Ainda, quanto a manutenção da arborização de vias públicas, é necessário considerar ações como: poda de árvores, remoção e substituição de árvores, e outras práticas de manutenção como adubação e irrigação.

Conforme já exposto, um dos fatores mais importantes para a implantação e posterior manutenção da arborização de vias públicas é a seleção das espécies de árvores. Preconiza-se que a escolha das árvores deve considerar a diversidade de espécies de árvores plantadas em uma cidade. Alguns guias sobre diversidade de árvores no espaço urbano recomendam, por exemplo, que não se plante mais que 10% de uma única espécie e não mais que 30% de uma mesma família (MORGENROTH, *et al.*, 2016).

Para a seleção das espécies de árvores para o plantio em vias públicas é necessário também considerar suas características, sobretudo, objetivando sua adaptação ao meio urbano. Exemplifica-se, neste âmbito, a copa das árvores, característica importante para mensurar os benefícios advindos de árvores plantadas

em calçadas (BOBROWSKI; FERREIRA; BIONDI, 2016).

As ações supracitadas são críticas para a gestão da arborização de vias públicas, pois esse tipo de floresta é que mais sofre com os impactos da urbanização e da gestão municipal. Neste sentido, planejar a arborização de vias públicas é essencial para evitar conflitos com o meio urbano e possibilitar melhores condições para o desenvolvimento das árvores (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Expandindo o conceito de florestas urbana, Nowak *et al.* (2008) caracteriza a estrutura das florestas urbanas. A estrutura da floresta urbana é o arranjo espacial e as características da vegetação em relação a outros objetos (por exemplo, edifícios) dentro de áreas urbanas. Os dados estruturais podem ser monitorados para avaliar as mudanças nas florestas urbanas e ajudar a desenvolver e avaliar planos de gestão de longo prazo.

Neste contexto, o monitoramento de longo prazo das florestas urbanas pode fornecer informações valiosas sobre como a estrutura florestal e os serviços ecossistêmicos estão mudando ao longo do tempo. Essas informações são essenciais para que as cidades mitiguem o impacto do desenvolvimento urbano sobre as florestas urbanas (NOWAK, *et al.*, 2016)

Ressalta-se que, para alcançar alguns dos objetivos expostos acima, é necessário engajamento dos atores associados ao planejamento e manutenção de vias públicas. Esses atores incluem os cidadãos, líderes de associações de bairros, instituições e, sobretudo, os governos das cidades e suas políticas públicas (MINCEY *et al.*, 2013)

### 2.2.1 A Arborização Urbana como Aspecto da Gestão Ambiental

O ecossistema urbano e as florestas urbanas são um indicador da saúde e do bem-estar dos humanos viventes nessas áreas. A área da arborização urbana surgiu nas últimas décadas como uma abordagem integradora para o cuidado e manejo de árvores. Esta área preocupa-se, predominantemente, com questões associadas a saúde e a gama de fatores a serem levados em consideração na prática da arboricultura (LEWIS, 1991).

Embora haja um consenso internacional de que a arborização urbana trata-se de florestas ou sistemas semelhantes a florestas em áreas urbanas,



ainda há um considerável debate científico sobre o conteúdo do conceito e termos relacionados (KONIJNENDIJK *et al.*, 2006). O Quadro 3 fornece uma breve visão geral comparativa do desenvolvimento e definição do conceito de arborização urbana na América do Norte e na Europa.

**Quadro 3 – Definição e fatores da arborização urbana na América do Norte e Europa**

	América do Norte	Europa
<i>Origens</i>		
Primeira introdução	Mencionado pela primeira vez em 1894; rápido desenvolvimento durante os anos 1960 e 1970	Principal desenvolvimento como um campo independente (acadêmico) durante os anos 1980; adaptado da América do Norte.
Forças impulsionadoras	Necessidade de combater pragas e doenças nas árvores urbanas	Busca por abordagens mais integradas
<i>Definições</i>		
Domínio da arborização urbana	Toda a vegetação lenhosa presente ao redor de densos assentamentos humanos, variando de pequenas comunidades em ambientes rurais a áreas metropolitanas. Foco em árvores de rua.	Definição 'ampla' semelhante à abordagem norte-americana. A definição "estrita" concentra-se na floresta dentro e perto dos centros urbanos com base na tradição florestal da cidade
Multifuncionalidade	A arborização urbana fornece vários benefícios. Os benefícios ambientais têm recebido foco crescente (por exemplo, redução da poluição do ar e moderação do clima).	A arborização urbana oferece vários benefícios. Os benefícios sociais foram priorizados (por exemplo, recreação e saúde).
<i>Localização</i>		
Definição de "Urbano"	O que é "Urbano", no contexto da arborização, passou a ser definido de forma muito ampla. Áreas dentro, ao redor e perto de cidades associadas a arborização urbana.	O que é "Urbano", no contexto da arborização, passou a ser definido de forma muito ampla. Atenção para áreas de floresta periurbana

**Fonte: Adaptado de Konijnendijk et al. (2006)**

Há ampla discussão nos últimos anos na literatura científica acerca dos benefícios provenientes do plantio e manutenção das árvores nos espaços

urbanos (BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 1998; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000a; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000b; NOWAK *et al.*, 2002; YANG *et al.*, 2005; ROY; BYRNE; PICKERING, 2012; NOWAK *et al.*, 2014; NOWAK *et al.*, 2018).

Yang *et al.* (2005) avaliaram os resultados de uma proposta do governo municipal de Pequim, capital da China, para o plantio de árvores com o objetivo de atenuar os níveis de poluição de ar na cidade. O estudo evidenciou que as árvores na parte central de Pequim removeram 1.261,4 toneladas de poluentes do ar em 2002. O poluente atmosférico no ar de Pequim que mais sofreu redução foi o PM10 (material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm), a diminuição foi de 772 toneladas. Ainda, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) armazenado na forma de biomassa pela floresta urbana foi de cerca de 0,2 milhões de toneladas.

Roy, Byrne e Pickering (2012) analisaram 115 estudos, com o objetivo de identificar benefícios, custos e métodos de avaliação para árvores urbanas em diferentes zonas climáticas. A pesquisa concentrou-se geograficamente, predominantemente, em estudos conduzidos na América do Norte. Os benefícios demonstrados incluem: benefícios econômicos, sociais, de saúde, visuais e estéticos. Além disso, os autores identificaram benefícios ambientais que podem melhorar a qualidade de vida das pessoas em uma cidade, como: mitigação da poluição provocada por gás carbônico, melhoria da qualidade do ar urbano, atenuação de enchentes originárias de águas pluviais, conservação de energia e redução de ruído.

Nowak *et al.* (2014) analisaram os efeitos de árvores e florestas na qualidade do ar e na saúde humana nos Estados Unidos. A pesquisa utilizou simulações computacionais com dados ambientais locais que demonstraram que árvores e florestas no interior dos Estados Unidos removeram 17,4 milhões de toneladas de poluição do ar em 2010, resultando em impactos positivos para a saúde das pessoas que vivem no ambiente urbano. Os impactos na saúde humana incluíram a prevenção de mais de 850 incidências de mortalidade humana e 670.000 incidências de sintomas respiratórios agudos. Os efeitos positivos na saúde humana foram valorados em 6,8 bilhões de dólares americanos. De forma análoga ao estudo anterior, Nowak *et al.* (2018) observaram a remoção da poluição do ar por florestas urbanas no Canadá e seu efeito na qualidade do ar

e na saúde humana. Este estudo também evidenciou os benefícios do plantio e manutenção de árvores urbanas.

Além de compreender os benefícios das árvores para a vida humana nas cidades, pesquisadores também centraram esforços para distinguir tipos específicos de árvores com base em sua adequação ao ambiente urbano e sua capacidade de remoção de poluentes do ar (BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 1998; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000b; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000a; NOWAK *et al.*, 2002; YANG *et al.*, 2005). O Quadro 4 demonstra algumas características das árvores e sua relação com a remoção de poluentes do ar.

**Quadro 4 – Características das árvores e sua relação com a remoção de poluentes**

Características das árvores	Relação com a remoção de poluentes do ar
Tipo de árvores (perenes / caducifólias)	Geralmente, as árvores perenes têm maior eficiência na remoção de poluentes do ar por conseguirem reter por mais tempo os poluentes em suas folhagens (BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000b)
Dimensão (altura, tamanho da coroa)	A dimensão da árvore determina a quantidade de CO <sub>2</sub> que a árvore pode armazenar (NOWAK <i>et al.</i> , 2002) e a área de superfície para interceptação e deposição de poluentes atmosféricos (BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000a)
Taxa de crescimento	A taxa de crescimento influencia o sequestro anual de CO <sub>2</sub> e o tamanho da superfície funcional da coroa impacta na remoção de poluentes do ar. Árvores de crescimento rápido geralmente começam a sequestrar CO <sub>2</sub> cedo e podem fornecer uma superfície para poluentes atmosféricos logo após serem estabelecidas (NOWAK <i>et al.</i> , 2002).
Características da folha	Folhas com superfícies peludas, resinosas, escamosas e ásperas podem capturar mais partículas do que as folhas lisas (BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 1998; 2000b, 2000a).
Tolerância à poluição do ar e potencial de emissão de pólen	Uma árvore sensível a certos poluentes atmosféricos não pode ser usada em um local próximo à fonte desse poluente (YANG <i>et al.</i> , 2005).  O plantio de árvores com alta emissão de composto orgânico volátil biogênico e pólen deve ser evitado para melhorar o benefício líquido da redução da poluição do ar da floresta urbana (YANG <i>et al.</i> , 2005).

**Fonte: Adaptado de Yang (2005)**

A constituição da arborização urbana é dependente do planejamento urbano, sobretudo, do planejamento acerca da composição do sistema viário de um município (MILANO, 1994). Ademais, o planejamento de espaços verdes requer considerar desafios como os altos níveis de densidade urbana e as cidades com espaço compacto (HAALAND; BOSCH, 2015).

Em relação à gestão da arborização urbana, entende-se que é necessário que dados sejam utilizados para auxiliar os processos decisórios. Manter o ecossistema florestal urbano exige o manejo sustentável da arborização urbana, isso requer informações oportunas e precisas sobre a situação, as tendências e as interações entre os processos socioeconômicos e ecológicos relativos às florestas urbanas (LI *et al.*, 2019). Neste sentido, informações acerca das árvores podem ser registradas e utilizadas posteriormente para análise, como: nome botânico; classificação familiar; perene/decídua; altura máxima; forma do dossel; cuidados de cultivo; necessidades de água; necessidades de clima específico; necessidades de solo específico; alergias potenciais; densidade de folhas; e utilidade ambiental (TASOULAS *et al.*, 2013). Ainda, atividades de poda, plantio e adubação de árvores também fazem parte dos procedimentos da arborização urbana. Nesta perspectiva, estudos apresentam o uso da tecnologia da informação e comunicação como mediadora e gerenciadora dos processos que envolvem a constituição e manutenção de espaços verdes nas cidades (TASOULAS *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2019; ZHENG *et al.*, 2019).

Tasoulas *et al.* (2013) apresentaram o desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para auxiliar as cidades a gerenciar projetos de arborização urbana de forma eficiente, reduzindo os custos envolvidos nos processos de gerenciamento e operacionalização das atividades de arborização. A aplicação dá suporte as autoridades municipais na escolha de medidas apropriadas para o manejo, proteção e utilização da floresta urbana, correlacionando os atributos das árvores com dados espaciais. O SIG pode ser uma ferramenta apropriada para a administração municipal em cooperação com investigadores e cidadãos, com o objetivo de manter e expandir as florestas urbanas racionalmente.

Li *et al.* (2019) analisaram 63 estudos sobre sensoriamento remoto de árvores urbanas. Os artigos abordam aplicações de sensoriamento remoto em diversas áreas, incluindo medição de atributos de floresta urbana (como, biomassa,

composição de espécies, cobertura de dossel e configuração espacial) e quantificação de serviços de ecossistema (por exemplo, armazenamento de carbono, retenção de água, melhoria da qualidade do ar e urbano mitigação da ilha de calor). Devido à complexidade dos fatores naturais e antropogênicos em áreas urbanas, os estudos de floresta urbana baseados em dados de sensoriamento remoto estão em estágio experimental. O uso de aplicações para registrar e gerenciar aspectos das florestas urbanas ainda se apresenta como um desafio e uma oportunidade para pesquisas futuras.

No âmbito nacional, Bobrowski e Biondi (2014) conduziram um estudo de caso na cidade de Curitiba – PR para avaliar o desempenho da gestão da arborização de das ruas por meio de dados provenientes de documentos públicos, de pesquisas realizadas na cidade e de informações obtidas de profissionais da prefeitura municipal. Os autores afirmam que é possível melhorar o desempenho da gestão da arborização com a utilização de um programa de monitoramento de plantio e manutenção das árvores, assim como um programa de planejamento silvicultural que possibilite o cadastro e o inventário da arborização das ruas.

A arborização urbana, para além das questões exclusivamente ambientais, impacta diretamente no âmbito social de uma cidade. Tendências no estudo da arborização urbana indicam que é necessário pensá-la sobre a perspectiva indissociável do impacto social e das técnicas de gestão (BARONA *et al.*, 2020).

### **2.3 Tecnologia da Informação e Comunicação e Internet das Coisas em Cidades Inteligentes e Sustentáveis**

A tecnologia da informação e comunicação é um fator fundamental na construção de cidades inteligentes e sustentáveis. Além disso, tangencialmente, a transformação digital é um processo que se deriva do uso de TI e IoT para criação de novos modelos de negócios e formas de oferta de serviços. A seguir, os tópicos “Internet das Coisas (IoT)”, “IoT e TIC Aplicadas às CIS” e “Transformação Digital” serão explanados.

### 2.3.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas, também conhecida pela sigla derivada da língua inglesa “IoT” (*Internet of Things*), é definida como uma infraestrutura global que permite a existência de serviços avançados, para a interconexão entre objetos físicos e virtuais, pelo uso extensivo das TICs (ALAVI *et al.*, 2018). A IoT permite, por exemplo, o tráfego de dados entre dispositivos como sensores e smartphones e aplicações de software.

Jin *et al.* (2014) entendem a IoT como uma evolução radical da Internet em uma rede ubíqua de objetos interconectados que não apenas coletam informações dos ambientes (detecção) e interagem com o mundo físico (atuação, comando e controle), mas também usam os padrões existentes da internet para fornecer serviços de informação, transferência, análise e aplicações.

Silva, Khan e Han (2017) consideram IoT uma rede em constante crescimento, capaz de identificar e compartilhar dados de forma autônoma entre grupos heterogêneos de dispositivos endereçáveis. Para os autores, o interesse por IoT tem aumentado à medida que se torna uma das principais tecnologias habilitadoras para conceitos como casas inteligentes, cidades inteligentes e saúde inteligente.

O conceito de IoT refere-se a um ambiente computacionalmente aumentado, onde o mundo físico e o mundo informacional estão integrados dentro da infraestrutura de Internet, por meio de uma ampla gama de dispositivos ativos e inteligentes de sensoriamento de dados (BIBRI, 2018b). O objetivo do uso da IoT é alcançar diferentes funções inteligentes, tais como a troca de informações, comunicação, aprendizado, identificação das coisas, rastreamento e sensoriamento de objetos, conexão, monitoramento, controle e avaliação.

De acordo com Park, Pobil e Kwon (2018), IoT pode ser definida como um conjunto de tecnologias utilizadas para acesso a dados que são coletados por vários dispositivos interconectados por uma rede de internet com ou sem fio. Ainda que haja várias definições diferentes para IoT, uma definição difundida e amplamente aceita é que a tecnologia se caracteriza principalmente pela capacidade de fornecer informações importantes e benéficas para usuários que utilizem um dispositivo conectado à internet.

Neste contexto, os sensores desempenham um papel central no

desenvolvimento da IoT, sendo entendidos como dispositivos que detectam ou medem uma propriedade física (dimensão, densidade, volume) ou algum tipo de entrada do ambiente físico, que indica ou reage a ele de uma forma particular. Alguns exemplos são sensores de localização, ópticos/de visão, de luz, imagem, de som, de temperatura, elétricos, de pressão, de movimento, dispositivos vitais de processamento de sinais, e dispositivos de identificação e rastreamento (BIBRI, 2018b).

Hammi *et al.* (2018)) entendem a IoT como objetos com identidades e personalidades virtuais em espaços inteligentes, que usam interfaces inteligentes para se conectar e se comunicar com os usuários dentro do contexto social, médico, ambiental, dentre outros. Para eles, a IoT pode ser dividida em três camadas: camada de percepção, camada de rede e camada de aplicação. A primeira é usada para capturar e reunir, distinguir e identificar as informações de objetos no mundo físico, por meio de radiofrequência, sensores, câmeras etc. A camada de rede é usada para encaminhar pacotes ou conjunto de dados por um meio de comunicação confiável entre dispositivos e servidores. A camada de aplicação processa e analisa os dados, agrega várias fontes de informação, e exibe os resultados aos tomadores de decisão.

Em consonância com essa perspectiva, Alavi *et al.* (2018) defendem que o fluxo de tratamento dos dados da IoT é dividido em três estágios. O primeiro estágio é a coleta de dados que trata da identificação do endereço e ID dos objetos em uma rede, e coleta de dados usando dispositivos de detecção, como atuadores, sensores inteligentes, sensores vestíveis, smartphones, etc. O segundo estágio lida com a entrega dos dados, e está relacionada aos protocolos de comunicação das redes, como WiFi, Bluetooth e outros protocolos. Por fim, a análise dos dados pode ser realizada por meio de softwares e sistemas operacionais, para gerenciamento dos dados em tempo real, armazenamento de dados em nuvem e tomada de decisão com maior assertividade.

Quanto à aplicação de IoT, é possível utilizar dados para otimizar serviços de transporte, mobilidade, tráfego, energia, rede elétrica, meio ambiente, monitoramento e gerenciamento de infraestrutura, projeto e planejamento urbano, e implantações em larga escala (BIBRI, 2018b).

A literatura científica, além de apresentar as características e benefícios da

utilização de IoT, preocupou-se em apontar as limitações e lacunas para aprimoramentos. Neste sentido, Hammi *et al.* (2018) afirmam que a comunicação ou transmissão de dados entre os dispositivos, e com os servidores, é uma das questões mais críticas de uma rede IoT. Isso porque a confiabilidade dos dados precisa ser muito forte, de modo que a privacidade e veracidade sejam mantidas ao longo da rede.

### 2.3.2 IoT e TIC Aplicadas às CIS

Alavi *et al.* (2018) propõem que, para tornar possível a implementação da IoT nas cidades inteligentes, será necessária uma integração maior entre governo, setor privado e academia. Para eles, a IoT mudará profundamente os hábitos dos indivíduos e o bem-estar físico em um futuro próximo. Logo é de vital importância considerar os impactos sociais das tecnologias baseadas na IoT sobre indivíduos e comunidades, como parte do planejamento, design e implantação de dispositivos e infraestruturas.

Para isso, os autores apresentam uma estrutura para a construção de cidades inteligentes por meio da Internet das Coisas (IoT). Especificamente, a estrutura de três camadas consiste nos seguintes elementos: 1) Camada inferior: nós de sensores posicionados suficientemente acima do solo em propriedades públicas, como semáforos, semáforos ou fachadas de edifícios; 2) Camada intermediária: nós de retransmissão para coletar e armazenar as medições dos nós sensores e encaminhar os dados através de vários saltos para um gateway; 3) Nível superior: *gateways* para coletar medições dos nós de retransmissão e enviá-las pela Internet para a nuvem.

Din *et al.* (2019) revisaram diversos trabalhos na literatura para identificar as principais áreas de aplicação da IoT, combinada com *machine learning*, *deep learning*, redes neurais e *cloud*. Os resultados da pesquisa demonstram que há possibilidade de uso extensivo de TIC em aplicações para saúde (como consultor de saúde pessoal inteligente, tratamento confiável para diabetes, prevenção a propagação de doenças transmitidas pelo ar, monitoramento de frequência cardíaca e detecção de estresse), segurança (sistema de rastreamento de movimento para segurança residencial), mobilidade (conexão



entre veículos e monitoramento das condições da superfície da estrada), agricultura (sistema de controle de ervas daninhas e monitoramento do desenvolvimento de plantas de diversas culturas), e redes inteligentes (medidores inteligentes e controle de consumo de energia).

Sanchez *et al.* (2014) apresentam diversos resultados obtidos na implementação do projeto SmartSantander, que visa a aplicação experimental de várias tecnologias na cidade europeia de Santander (Espanha), para a pesquisa e verificação de arquiteturas, tecnologias facilitadoras essenciais, serviços e aplicações para a IoT no contexto das cidades inteligentes. Algumas das aplicações possíveis, que foram realizadas na cidade, incluíram monitoramento ambiental, gerenciamento de estacionamento ao ar livre e orientação do motorista, parques e jardins com irrigação de precisão, realidade aumentada e sensoriamento participativo. Neste último, os telefones celulares são usados como sensores, alimentando dados físicos capturados, como coordenadas GPS, direção (bússola) e dados ambientais como ruído ou temperatura.

Em consonância, Gaur *et al.* (2015) descrevem algumas áreas da cidade que podem ser beneficiadas com o uso de IoT para a melhoria dos serviços. No caso do setor governamental, os serviços de nuvem e comunicação podem ser combinados para obter um melhor sistema de governança. No caso do setor de saúde, as tecnologias de comunicação podem ser usadas para conectar estatísticas de saúde, medicamentos e localização do paciente a partir de um local remoto, ajudando a alcançar um sistema de saúde inteligente. Ainda, os dados de áreas distintas podem ser combinados, como no caso dos veículos e da saúde, em que é possível cruzar dados de sensores, para medir o impacto dos parâmetros de saúde do motorista nas condições de direção.

Asghari, Rahmani e Javadi (2019) revisaram 72 artigos que apresentam estudos com ênfase em aplicações IoT. Dos artigos elencados e analisados inferiu-se que 29% abordavam aplicações para cidades inteligentes, 20% traziam aplicações para a saúde, 14% aplicações comerciais, 12% aplicações voltadas para o meio ambiente, outras 12% aplicações gerais e 10% aplicações para a indústria. Destaca-se também os fatores identificados para a avaliação de uma implementação IoT em diversos campos de aplicação, sendo os mais proeminentes: tempo de resposta (27%), custo (18%), consumo de energia (18%), disponibilidade (14%), confiabilidade (14%), rendimento (5%) e segurança (4%).

O estudo de Lu, Chen e Yu (2019) analisou 80 casos de cidades inteligentes no mundo todo, para identificar as principais aplicações e tecnologias desenvolvidas, e como elas se relacionam com melhorias na qualidade de vida e desenvolvimento das cidades. Os resultados mostraram que, na maioria dos casos, mobilidade inteligente (25%) e ambiente inteligente (23%) foram considerados as direções principais de desenvolvimento, seguidos por governo inteligente (21%) e vida inteligente (14%).

Em relação à mobilidade inteligente, a busca por melhorar a eficiência dos sistemas de transporte tradicionais foi um indicador importante. Os aplicativos de mobilidade inteligente se concentram em sistemas de aplicativos de monitoramento e gerenciamento de tráfego (29%) e sistemas de aplicativos de transporte público inteligentes (20%) (LU; CHEN; YU, 2019).

No campo do Ambiente Inteligente, a demanda por sistemas de aplicação de energia renovável (20%) e eficiência energética (12%) foram os dois principais tópicos que emergiram. Isso ocorre em decorrência da necessidade de responder ao impacto das mudanças climáticas, mitigar os efeitos do aquecimento global e reduzir emissão de gases de efeito estufa (LU; CHEN; YU, 2019).

Ainda, o artigo de Lu, Chen e Yu (2019) demonstra que no campo do governo inteligente, a plataforma de administração eletrônica (35%) tem sido fortemente apoiada pelos governos municipais. Há esperança que os dados abertos e o governo eletrônico melhorem a governança das cidades inteligentes, de modo a aumentar a eficiência administrativa geral, a transparência da administração e fortalecer a supervisão pública.

No ramo da saúde, os sistemas inteligentes se tornaram uma opção para a redução do desperdício de recursos médicos e melhoria da eficiência das operações de saúde, representando 37% das aplicações nas cidades estudadas. Quase com o mesmo percentual (34%), há o crescente uso dos aplicativos de informações sobre estilo de vida, pois fornecem acesso conveniente a informações e recursos que satisfazem as necessidades de forma prática e assertiva (LU; CHEN; YU, 2019).

No campo da economia inteligente o desenvolvimento se deu na promoção de experiências e locais de inovação (59%). O empreendedorismo e inovação são defendidos na esperança de aumentar a produtividade,

combinando tecnologias emergentes para impulsionar a competitividade por meio da integração da cidade na economia global (LU; CHEN; YU, 2019). A última área citada pelos autores, de pessoas inteligentes, possui uma tendência para a aprendizagem móvel que está impulsionando o desenvolvimento de plataformas de *e-Education*, representando 46% das cidades analisadas. Essas plataformas têm como objetivo fornecer a professores e alunos uma ampla variedade de canais de aprendizagem e, ao mesmo tempo, promover a motivação do aluno.

Bibri (2018b), demonstram alguns temas que estão em alta, ou que emergiram nos últimos anos, em relação ao desenvolvimento e aplicação de IoT e *Big Data* em cidades inteligentes. Os tópicos mencionados pelo autor são sensoriamento e computação (coleta, medição e processando, mineração ambiental, componentes IoT e tags RFID, Big Data automatizado), plataformas de processamento de dados, computação em nuvem, *Fog* e *Edge Computing*, e aplicativos de *big data* habilitados para IoT (transporte inteligente e mobilidade, semáforos e sinais inteligentes, energia inteligente, rede elétrica inteligente, ambiente inteligente, edifícios inteligentes, e monitoramento e gestão de infraestrutura).

Alguns desafios para a IoT e Big Data são citados por Bibri (2018b), para que seu desenvolvimento possa melhorar a sustentabilidade das cidades inteligentes. Esses desafios incluem análise e avaliação de dados, gestão de dados de IoT produzidos em ambientes dinâmicos e voláteis, integração de banco de dados entre domínios urbanos, privacidade e segurança, crescimento e compartilhamento de dados, dados incertos e incompletos, armazenamento e processamento de dados.

Corroborando com os dados do estudo supracitado, Rashid *et al.* (2017) desenvolveram uma aplicação, através de IoT, para o contexto das cidades inteligentes. O sistema permite aos usuários de cadeiras de rodas interagirem com artefatos à sua frente, além do comprimento de seus braços, com a ajuda de Tecnologias de Realidade Aumentada (AR) e Identificação por Radiofrequência (RFID). Assim, os cadeirantes podem, por exemplo, selecionar itens de uma prateleira e visualizar informações sobre eles sem precisar tocá-los, usando a câmera de um dispositivo móvel.

Inserido em um escopo temático similar, o trabalho de Mora *et al.* (2017)

propõe um sistema para gerar conhecimento de forma dinâmica acerca de questões sobre a acessibilidade em espaços urbanos. O sistema utiliza recursos de IoT, como sensores, para obter dados sobre o ambiente urbano e, através desses dados, apresentar informações para a tomada de decisão de um usuário que possua limitações motoras. Um dos aspectos do sistema consiste em comparar rotas seguidas por cidadãos com e sem deficiências motoras. Ao comparar as diferenças entre as rotas é possível prever em que pontos há problemas de acessibilidade. Sendo assim, o sistema poderá sugerir uma rota alternativa para, por exemplo, um usuário de cadeira de rodas.

Para Rathore *et al.* (2018) o desenvolvimento de uma cidade mais digital e inteligente exige a integração entre diversos sistemas e dispositivos IoT no âmbito urbano. Para os autores, a interconexão entre muitos dispositivos IoT para coleta de informação do espaço urbano tem como efeito direto a produção de uma vasta quantidade de dados, denominada comumente como *Big Data*. Neste contexto, a coleta e processamento eficiente e em tempo real de *Big Data* constituem uma tarefa desafiadora para a construção de cidades digitais e inteligentes.

Sikder *et al.* (2018) afirmam que a utilização ostensiva de IoT em cidades inteligentes promove novas oportunidades de oferta de serviços que integram diversos domínios de aplicação. No entanto, os autores defendem que, em um contexto de cidade inteligente, as aplicações IoT interconectadas devem operar com quantidade limitada de energia elétrica. Partindo dessa premissa, o trabalho apresenta a iluminação pública como sendo uma área chave dentro da cidade passível de redução do consumo energético através do uso de IoT. Sendo assim, o estudo apresenta uma visão geral de sistemas de iluminação Inteligente e analisam diferentes protocolos de comunicação para IoT que podem ser utilizados juntos a esses sistemas. Os resultados do estudo revelam um sistema de iluminação inteligente implementado com o uso de IoT para reduzir o consumo de energia elétrica em até 33,33%.

Correlacionando-se diretamente com temática desta pesquisa, Uçar, Akay e Bilici (2020) e Nitoslawski *et al.* (2019), sugerem o uso de TICs e IoT para monitorar, avaliar e gerenciar as atividades de arborização urbana, em um contexto de cidades inteligentes e sustentáveis.

Nitoslawski *et al.* (2019) concluem que as tecnologias inteligentes permitem o monitoramento da condição das árvores urbanas. O manejo florestal

urbano inteligente deveter como objetivo conectar as pessoas à natureza urbana e seus muitos benefícios, ajudar os silvicultores urbanos, capacitar os tomadores de decisão, capacitar todos os cidadãos e revelar que as florestas - especialmente na cidade - são essenciais para uma vida saudável sustentável.

Uçar, Akay e Bilici (2020) revisaram tendências e tecnologias de TIC e IoT para a arborização urbana e os espaços verdes, no âmbito das CIS. Para os autores, o uso de tecnologias permitiu mapear e avaliar espécies de árvores individuais por meio da integração com o aprendizado de máquina, ferramentas de mapas disponibilizadas pelo Google e aplicações de dados em nuvem. A pesquisa apresenta aplicações com essas características, como: Amsterdam (NL) desenvolveu a iniciativa *Green City Watch* usando uma inteligência artificial geoespacial para monitorar áreas verdes urbanas continuamente; e Chicago (EUA) usa sensores e análises baseadas em nuvem para medir o desempenho das várias áreas verdes da cidade.

### 2.3.3 Transformação digital

A transformação digital pode ser definida como a utilização da tecnologia da informação para alterar e melhorar processos de negócios já existentes (LI et al., 2016). No setor privado, a transformação digital é principalmente associada à necessidade de usar novas tecnologias para que as empresas se mantenham competitivas na chamada era da internet, em que vários produtos e serviços estão disponíveis online (MERGEL; EDELMANN; HAUG, 2019). Para Nadkarni e Prügl (2021), a transformação digital é impulsionada por tecnologias habilitadoras como a Internet das Coisas (IoT), big data, computação em nuvem e dispositivos móveis, elementos centrais das TICs atuais

A transformação digital associa-se transversalmente a esta pesquisa, uma vez que um dos objetivos é entender a utilização das tecnologias da informação e comunicação para otimizar os processos advindos das práticas de gestão da arborização de vias públicas.

Para completar o processo de transformação digital Verhoef *et al.* (2021) sugerem as seguintes etapas: digitização, digitalização e transformação digital. A descrição das etapas e seus objetivos são demonstrados no Quadro 5.

**Quadro 5 – Etapas da transformação digital**

Etapas	Característica	Objetivos
Digitização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotinas e tarefas automatizadas;</li> <li>• Conversão de informação analógica em informação digital</li> </ul>	Poupança de custos: Implantação mais eficiente de recursos
Digitalização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de robôs na produção;</li> <li>• Adição de componentes digitais para a oferta de produtos ou serviços;</li> <li>• Introdução da distribuição e dos canais de comunicação digitais.</li> </ul>	Redução de custos e aumento de receita: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção mais eficiente por meio de reengenharia do processo de negócios;</li> <li>• Experiência aprimorada do cliente.</li> </ul>
Transformação Digital	Introdução de novos modelos de negócios como “produto como serviço”, plataformas digitais e modelo de negócios puramente orientado a dados	Novo modelo de custo-receita: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconfiguração de ativos a desenvolvimento de novos modelos de negócios</li> </ul>

**Fonte: Adaptado de Verhoef et al. (2021)**

Na administração pública, os governos estão adotando a transformação digital como meio de otimizar a oferta de serviços públicos, com o objetivo de alcançarem mais eficiência, transparência, interoperabilidade e satisfação do cidadão (MERGEL; EDELMANN; HAUG, 2019). Mergel, Edelmann e Haug (2019) entrevistaram especialistas para desenvolverem um modelo conceitual de base empírica sobre processos e resultados esperados na transformação digital no setor público, a síntese dos resultados é mostrada no Quadro 6.

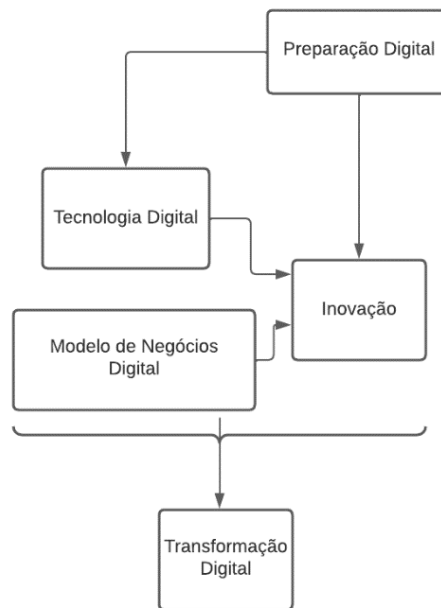
**Quadro 6 – Transformação Digital na Administração Pública**

Transformação Digital na Administração Pública				
Razões para transformação digital	Objetos da transformação digital	Processos da transformação digital	Resultados da transformação digital	
Externas: - Pressão do ambiente: Cidadãos Negócios  Políticas	Processos	Processos de digitalização	Saídas	
	Serviços	Digitalização de documentos físicos	- Novos serviços - Novos produtos - Novos processos - Novas habilidades	
	Produtos			
- Mudanças tecnológicas	Relacionamentos	Digitalização do relacionamento com usuários	Resultados	
Internas: - Arquivos físicos - Melhorias na gestão	Tecnologia	Digitalização de serviços	- Melhores serviços - Melhores processos - Melhores relacionamentos - Políticas - Novo ambiente digital	
	Modelos de negócios	Utilização de novas tecnologias		
		Desenvolvimento de novas competências	Impacto	
			- Criação de valor - Mudança organizacional - Sociedade digital - Princípios democráticos	

Fonte: Adaptado de Mergel, Edelmann e Haug (2019).

A transformação digital tem um papel crítico na busca pelo cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU. Bican e Brem (2020) afirmam que sem transformação dos negócios existentes, tanto econômicos quanto ambientais, os desafios do futuro não podem ser resolvidos de forma sustentável. Os autores buscaram entender conceitos que se correlacionam com a transformação digital afim de prover um modelo conceitual que torne o processo de transformação digital exequível e sustentável. O modelo conceitual derivado da pesquisa apresentada acima é demonstrado na Figura 2.

**Figura 2 – Modelo Conceitual para Transformação Digital**



**Fonte: Adaptado de Bican e Brem (2020)**

O modelo conceitual proposto sugere que para alcançar a transformação digital antes é necessária uma fase de preparação, adaptando a organização para novas mudanças. Além disso, os autores sugerem que as tecnologias digitais e a criação de novos modelos de negócios digitais antecedem a transformação digital. Ainda, a tecnologia digital e os novos modelos de negócios conectam-se transversalmente com ações de promoção da inovação.

Conectando-se diretamente com a temática desta pesquisa, (TOMIĆ e PUPEK; PIHIR; FURJAN, 2019) revisaram a literatura afim de investigar os principais escopos, serviços e tecnologias relacionadas a cidades inteligentes e transformação digital. O estudo indica que as principais tecnologias envolvidas em iniciativas de transformação digital para cidades inteligentes são a IoT e as tecnologias móveis. O estudo também evidenciou que iniciativas voltadas para o meio ambiente estão geralmente associadas a gestão inteligente da água nas cidades. A síntese dos principais escopos, serviços e tecnologias em iniciativas de cidades inteligentes relacionadas à transformação digital são apresentados no Quadro 7.



**Quadro 7 – Cidades inteligentes e transformação digital**

<b>Escopos</b>	<b>Serviços</b>	<b>Tecnologias</b>
Qualidade de vida	Biblioteca Pública	Internet das Coisas
Inclusão e participação cidadã	Turismo Inteligente	Materiais inteligentes
Cultura, patrimônio e arquitetura	Patrimônio como serviço	Tecnologia em nuvem
	Estacionamento Inteligente	Tecnologia móvel
Energia, água e meio ambiente	Transporte inteligente	Big data e análise de dados
	Entrega inteligente de energia	
Transporte e mobilidade	Segurança	
Eficiência administrativa e de governança	Cuidados de saúde inteligentes	
	Banco Inteligente	
	Gestão inteligente da água	
	Rede 5G e serviços de conectividade	
	Público inteligente	

**Fonte: Adaptado de Tomičič-pupek, Pihir e Furjan (2019)**

O quadro acima demonstra não só a interrelação entre os temas cidades inteligentes e transformação digital, mas a lacuna existente na utilização dessas abordagens em investigações científicas voltadas para a dimensão do meio ambiente e a arborização urbana.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo é feita a caracterização metodológica da pesquisa, aborda-se a descrição das etapas, abordagem, objetivos de pesquisa, procedimentos, unidade de análise e cronograma de realização.

#### 3.1 Caracterização Metodológica da Pesquisa

A natureza desta pesquisa pode ser classificada como aplicada, visto que visa gerar conhecimentos para aplicação prática, com o objetivo de solucionar problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2014). Em relação aos objetivos, classifica-se como exploratória-descritiva, pois, objetiva descrever as características de um determinado fenômeno, aumentando a familiaridade do pesquisador e da comunidade científica com o tema investigado (GIL, 2008; SILVA; MENEZES, 2014; MARCONI; LAKATOS, 2017).

Quanto à abordagem, esta pesquisa é predominantemente qualitativa, visto que busca compreender e descrever os processos da gestão da arborização no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2018). Ainda, projeta-se que nas fases de coleta e análise de dados, serão requeridas técnicas de pesquisa quantitativa.

Em relação aos procedimentos, esta pesquisa seguirá o que é preconizado no método de abordagem por processos (PLATTS, 1993; PLATTS *et al.*, 1998). Este método visa a concepção e desenvolvimento de processos para a criação e operacionalização de *frameworks* conceituais, abrangendo instrumentos e procedimentos para o gerenciamento destes processos (CAUCHICK MIGUEL *et al.*, 2018).

#### 3.2 Etapas da Pesquisa

O planejamento de execução das etapas desta pesquisa foi elaborado conforme apresenta-se em Silva e Menezes (2014) e Cauchick Miguel *et al.* (2018). As principais atividades e seu fluxo são apresentadas na Figura 2, em

forma de um fluxograma. O fluxo foi segmentado em seis fases, sendo: delimitação de tema e palavras-chave; levantamento bibliográfico; construção do framework; validação do framework; desenvolvimento da aplicação; e validação da aplicação.

**Figura 3 – Etapas da pesquisa**



Fonte: Elaborado pelo autor.

As etapas da pesquisa representadas na Figura 2 são detalhadas a seguir.

### a) Definição do tema

O tema elencado para esta pesquisa originou-se do interesse do pesquisador em compreender a relação da gestão da arborização nas cidades inteligentes e sustentáveis e sua operacionalização sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação. Acrescenta-se que a temática foi abordada pelo pesquisador em trabalhos anteriores desenvolvidos em sua atividade profissional como docente no Instituto Federal

do Paraná (IFPR).

Após a definição do tema, iniciou-se a leitura horizontal de artigos, livros e relatórios técnicos para ampliar a compreensão acerca do tema. Derivou-se da leitura horizontal o embasamento para os aspectos introdutórios, problematização, justificativa e delimitação desta pesquisa, que foram complementados após a segunda fase. Ademais, por meio desta etapa, evidenciou-se o interesse e aderência científica do tema escolhido para a pesquisa.

### **b) Pesquisa bibliográfica**

Em seguida, após a definição dos eixos da pesquisa e das palavras-chave, uma pesquisa bibliográfica foi realizada. A pesquisa bibliográfica tem como objetivo possibilitar ao pesquisador compreender o que foi estudado sobre um determinado tema, sendo recorrentemente utilizada com maior ênfase em estudos com objetivos exploratórios ou descritivos (LIMA; MIOTO, 2007; BRYMAN; BELL, 2011). Ressalta-se que nesta fase três revisões sistemáticas da literatura (RSL) foram realizadas.

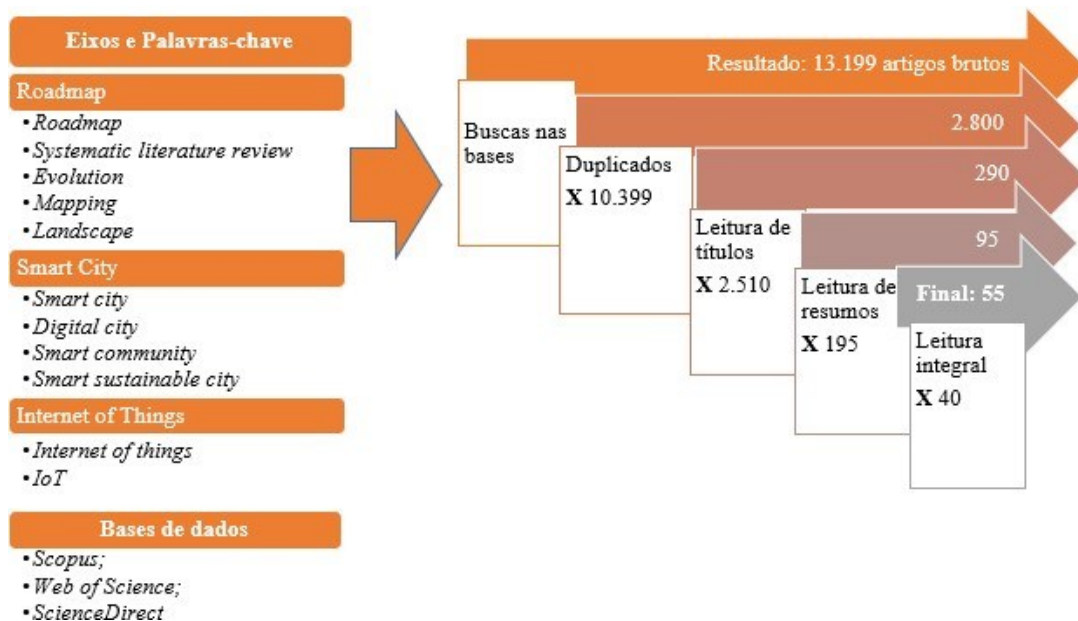
A busca pelos documentos em todas RSLs foi realizada em três bases de dados digitais: *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect* - exceto, na terceira RSL, que também abrangeu a base de dados IEEE Xplore. A escolha das bases se deu por sua relevância científica, alinhamento temático e abrangência das publicações (BURNHAM, 2006; TENOPIR *et al.*, 2008; FALAGAS *et al.*, 2008; BAR-ILAN, 2008). Para auxiliar a catalogação e seleção do portfólio bibliográfico foi utilizada a ferramenta para gestão de referências bibliográfica Mendeley (RUSSO *et al.*, 2013). Destaca-se também que a janela temporal definida para as RSLs foi de dez anos, compreendo os anos de 2010 a 2021.

A primeira RSL buscou elucidar a relação entre as cidades inteligentes e sustentáveis e a utilização de tecnologias de informação e comunicação - sobretudo, internet das coisas - nestes ambientes. Essa escolha se deu em razão de IoT ser uma das principais tecnologias habilitadoras para as cidades inteligentes e sustentáveis (ALAVI *et al.*, 2018). O detalhamento dos processos para seleção do portfólio bibliográfico dessa RSL é apresentado na Figura 4.

Para a primeira RSL considerou-se os eixos temáticos “roadmap”, “smart city” e “internet of things”. A aplicação da *string* de busca derivada da

combinação das palavras-chave entre os eixos temáticos nas bases digitais, utilizando os operadores booleanos *AND* e *OR*, resultou em 13199 artigos para o portfólio bibliográfico. Posteriormente a remoção dos documentos duplicados, restaram 2800 artigos para serem analisados. Após a leitura dos títulos, 2510 artigos foram excluídos, restando 290 para análise. Os resumos dos 290 artigos foram lidos, resultando na exclusão de outros 196 documentos. Assim, 95 artigos restaram para a leitura integral, nesta fase 40 documentos foram excluídos. Foram os artigos que não demonstravam relação direta entre IoT e CIS. O portfólio final para esta RSL, após a leitura integral, compõem-se de 55 documentos.

**Figura 4 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico A**

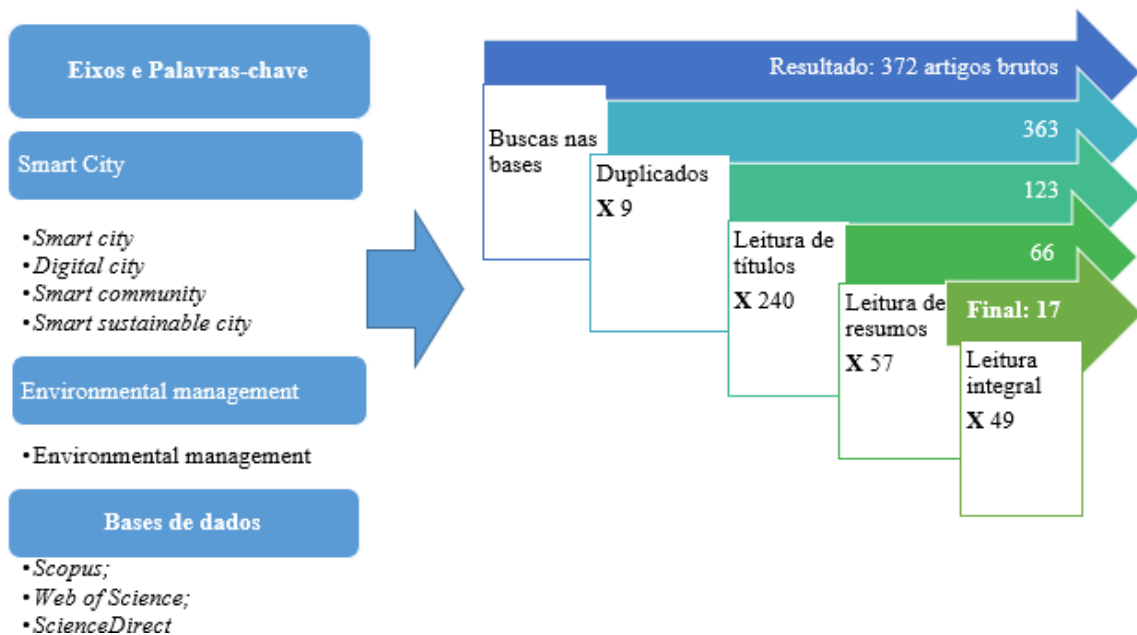


Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda RSL primou por evidenciar a correlação e operacionalização da gestão ambiental nas cidades inteligentes e sustentáveis. A construção do portfólio bibliográfico dessa RSL está exposta na Figura 5. Para esta pesquisa elencou-se os eixos temáticos “*smart city*” e “*environmental management*”. A pesquisa nas bases digitais utilizando a combinação entre as palavras-chave resultou em 372 artigos para o portfólio bibliográfico. Após a remoção dos artigos duplicados, 363 restaram. Sequencialmente, foram lidos os títulos dos 363 artigos e 240 foram excluídos, restando 123 para análise dos resumos. Após a

leitura dos resumos, 57 artigos foram excluídos, remanescendo 66 para a leitura integral. Para exclusão dos artigos foi considerado o seguinte critério temático: artigos que não apresentaram relação significativa entre o conceito de CIS e aspectos da gestão ambiental. Por fim, realizada a leitura integral dos artigos, 17 restaram para constituir o portfólio bibliográfico final desta RSL.

**Figura 5 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico B**

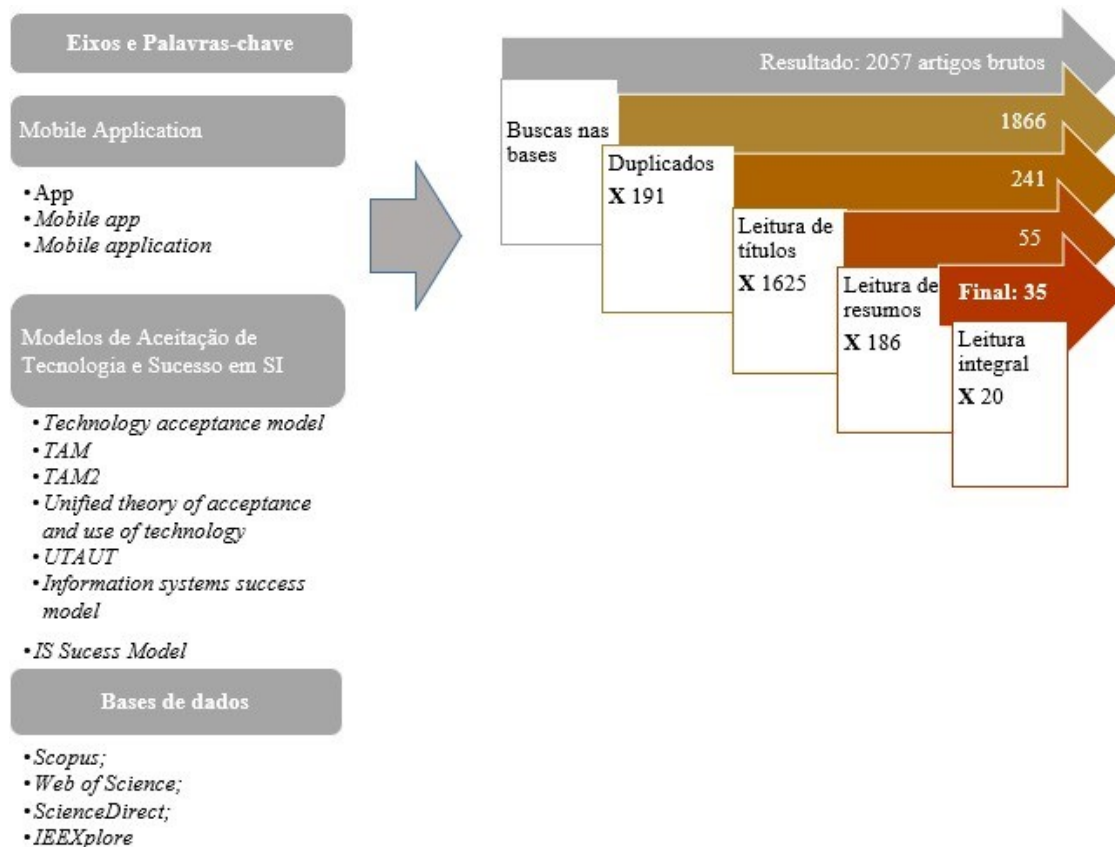


Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo em vista que um dos objetivos específicos desta pesquisa é criar um aplicativo para auxiliar a gestão da arborização urbana, uma terceira RSL foi conduzida para entender a síntese da avaliação sobre adoção e sucesso de aplicativos móveis em cidades inteligentes. Os procedimentos realizados nessa RSL são exibidos na Figura 6. Procedida a busca nas bases selecionadas, a base de dados Scopus retornou um total de 294 documentos; ScienceDirect retornou 1460 documentos; Web of Science 242 documentos; e IEEE Xplore 61 documentos. Do total de documentos, 191 artigos duplicados foram excluídos, restando 1866 artigos, que tiveram seus títulos e resumos analisados a partir das dimensões propostas por Giffinger et al. (2007), na perspectiva das cidades inteligentes. Os artigos que não se enquadravam no contexto das cidades

inteligentes ou que não apresentavam aplicativos móveis em suas pesquisas foram excluídos. Após a leitura dos títulos e resumos, 37 artigos se mostraram totalmente alinhados com o interesse científico desta pesquisa. Desses, 2 não estavam disponíveis para a leitura integral. Assim, o portfólio bibliográfico final constitui-se de 35 artigos. Os artigos desse portfólio bibliográfico serão utilizados para auxiliar o embasamento da fase de construção do sistema de informação. Os resultados dessa revisão são apresentados no Apêndice C.

**Figura 6 – Procedimentos de seleção do portfólio bibliográfico C**



**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Complementarmente, um grupo complementar de artigos foi construído a fim de servir como aporte teórico, especificamente, sobre o tema das cidades inteligentes e sustentáveis. Esse portfólio foi composto pela leitura horizontal de artigos com relevância científica e por meio de artigos estudados no componente curricular “Cidades Inteligentes e Sustentáveis”, cursado pelo pesquisador no segundo semestre de 2020 no Programa de Pós-Graduação em

Desenvolvimento Regional da UTFPR de Pato Branco. Esse grupo é constituído de 33 documentos.

Por fim, evidenciou-se a necessidade de aprofundamento no tema da arborização urbana e, tangencialmente, transformação digital. Para isso, utilizando também a leitura horizontal, identificou-se documentos de relevância com aderência aos interesses desta pesquisa. Para elencar esses documentos utilizou-se o método *snowball*, que consiste em verificar as citações de um artigo para identificar artigos adicionais.

O portfólio bibliográfico definitivo para esta pesquisa origina-se da junção entre os três portfólios bibliográficos supracitados e os artigos complementares. A combinação dos portfólios resultou em 153 documentos. Após a junção, uma nova seleção foi realizada a fim de reduzir o número de artigos do portfólio e identificar os artigos críticos para os objetivos desta pesquisa. A seleção final resultou em um portfólio de 74 documentos. O portfólio bibliográfico final está exposto no Apêndice B.

### **c) Construção do *Framework***

Os conceitos e tecnologias utilizadas no framework advém da análise bibliográfica realizada para a fundamentação teórica desta pesquisa. Ainda que todos os trabalhos analisados tenham subsidiado teoricamente o conhecimento acerca das temáticas abordadas nesta pesquisa, um grupo específico de trabalhos foi selecionado para elencar e fundamentar os conceitos, tecnologias e práticas utilizadas no *framework*. A escolha dos trabalhos obedeceu aos seguintes critérios: aderência e relevância em relação às temáticas específicas abordadas pelo *framework* - elementos para construção de *frameworks* tecnológicos para cidades inteligentes e sustentáveis e práticas associadas a arborização - e atualidade dos trabalhos.

### **d) Validação do *Framework***

A presente pesquisa utiliza o método Delphi para a validação do *framework* proposto. Este método consiste em um processo iterativo para coletar e analisar respostas de especialistas acerca de um determinado tema usando uma série de técnicas de coleta e análise de dados intercaladas com o *feedback* recebido através dos questionários aplicados (SHIN, 1998; SKULMOSKI; HARTMAN;



KRAHN, 2007; STEURER, 2011).

O método Delphi concentra-se em três elementos centrais: primeiro, é necessário definir e descrever o tópico para o qual se fará a pesquisa; segundo, a seleção de um painel de especialistas participantes; e terceiro, organizar e administrar a pesquisa, que envolve duas ou mais rodadas (STEURER, 2011).

Especificamente, para esta pesquisa, foram selecionados especialistas nos temas “gestão ambiental/arborização urbana”, “cidades inteligentes e sustentáveis” e “tecnologia da informação e comunicação”. Os especialistas foram classificados em: pesquisador e docente da área de engenharia florestal ou áreas afins; pesquisador e docente da área de tecnologia da informação e comunicação ou áreas afins; pesquisador e docente da área de cidades inteligentes e sustentáveis ou áreas afins; profissional que atue em áreas correlatas a engenharia florestal ou áreas afins; profissional que atue em áreas correlatas a tecnologia da informação e comunicação ou áreas afins; e profissional que atue em áreas correlatas às cidades inteligentes e sustentáveis ou áreas afins.

Para a seleção dos professores e pesquisadores partícipes da pesquisa foram utilizados os seguintes critérios: formação em áreas correlatas ao tema desta pesquisa; titulação mínima de mestre, e publicações relevantes com temáticas análogas a esta pesquisa. Por sua vez, os profissionais foram elencados considerando os critérios: atuação profissional em uma área correlata ao tema desta pesquisa; e função ligada a gestão pública de municípios. Em razão da dificuldade de identificar e contatar profissionais atuantes nas áreas supracitadas, o quadro de especialistas constituiu-se majoritariamente de professores e pesquisadores.

Os especialistas receberam um questionário com perguntas fechadas e abertas, por meio de um formulário eletrônico (*google forms*), com o objetivo de validar e apontar melhorias para o *framework* construído. Ainda, o questionário foi dividido em duas partes: questões acerca da camada conceitual “Tecnologia da Informação e Comunicação”; e questões sobre a camada operacional “Planejamento e Manutenção da Arborização de Vias Públicas”. As questões fechadas do questionário tiveram o objetivo de mensurar o quão relevante era cada item que constitui a camada conceitual do *framework* acerca da utilização da tecnologia da

informação e comunicação. Da mesma forma, as questões fechadas da segunda camada também visaram validar a relevância de cada item que constitui o *framework*. No final das questões fechadas de cada camada, utilizou-se uma questão aberta para permitir que o especialista sugerisse a alteração, inclusão ou exclusão de algum item do *framework* mediante uma justificativa. O questionário pode ser consultado no APÊNDICE E.

Para embasar o preenchimento fundamentado dos questionários, foi anexado junto ao e-mail de convite aos especialistas um material suplementar contendo a estrutura do *framework* e um arquivo de texto com excertos desta pesquisa.

A estruturação de aplicação do método foi adaptada das proposições de Skinnnet *et al.* (2015), um trabalho que explora a utilização do método Delphi em pesquisas sobre sistemas de informação. O trabalho foi elencado considerando os seguintes critérios: atualidade da publicação e abordagem de uma temática correlata aos temas apresentados nesta pesquisa. Todavia, ressalta-se que o método Delphi apresenta características generalistas em sua estruturação, independentemente do campo de estudo.

Segundo Skinnnet *et al.* (2015), o método Delphi deve possuir as seguintes características: o uso de especialistas; o painel; anonimato; rodadas; e interações e *feedback*. Ainda, destaca-se os aspectos de cada elemento que constitui o método:

- a) Especialista: deve possuir conhecimento extensivo sobre sua área e interesse em uma ampla gama de conhecimentos correlatos.
- b) Painel: o painel é constituído por um grupo de especialistas sem limite de quantidade de indivíduos. Todavia, considerando que os membros do grupo devem ser especialista sobre o campo pesquisado, os grupos costumam ser pequenos. Em situações usuais, os grupos variam entre 10 e 30 membros. Alguns trabalhos apontam que não há relação consistente entre o número de especialistas do grupo e a qualidade das informações obtidas para embasar a tomada de decisão.
- c) Anonimato: sugere-se que o especialista não seja amplamente conhecido pelo público, o anonimato garante respostas mais objetivas e diretas, sem que haja receio de como essas opiniões serão interpretadas por outros grupos de indivíduos.
- d) Rodadas: o método deve ser aplicado em rodadas. Em geral, três

rodadas são consideradas suficientes, enquanto duas rodadas é o número mínimo.

- e) Iteração e *feedback*: as respostas são coletadas e analisadas, após isso, há a preparação para a próxima rodada quando necessária. As rodas continuam, usualmente, até que se chegue a um ponto de consenso entre os especialistas e objeto analisado.

Como preconizado pelo método Delphi, a validação do *framework* foi realizada mediante duas rodadas de envio do questionário. Na primeira rodada o questionário foi enviado para 50 especialistas, dos quais 7 o responderam. Após a análise das respostas, verificou-se que o primeiro grupo de especialistas não indicou nenhuma mudança significativa no *framework* proposto. Por conseguinte, foi realizado um novo envio para um novo grupo de especialistas, com o objetivo de buscar outras contribuições para a alterar ou confirmar a composição do *framework*. Para a realização do segundo envio do questionário 30 especialistas foram contatados e 6 responderam à pesquisa. O detalhamento das respostas e a discussão derivada delas é apresentada no capítulo 4.

### **e) Desenvolvimento da Aplicação Web e Aplicativo Móvel**

O desenvolvimento de uma aplicação web e um aplicativo móvel sem deram com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade de conceitos e tecnologias apresentadas pelo *framework*.

Neste contexto, as aplicações foram divididas em dois módulos: o aplicativo móvel, voltado para o potencial cidadão de uma cidade inteligente e sustentável; e aplicação web voltada para gestores e profissionais ligados a gestão da arborização de vias públicas.

Em síntese, o aplicativo permite que cidadãos façam requisições de serviços relativos à arborização de vias públicas, como a solicitação de podas, remoções e plantios de árvores. Essas requisições de serviço são acompanhadas pelo georreferenciamento da árvore envolvida na solicitação, por meio da integração com o mapa da cidade o acesso ao GPS do dispositivo móvel dos usuários. Por sua vez, a aplicação web recebe as requisições dos serviços e permite que os profissionais e gestores da cidade tomem decisões conforme os dados disponibilizados pelos

cidadãos. As aplicações e suas funcionalidades são detalhadas no capítulo 5.

Para o desenvolvimento, os requisitos funcionais e não funcionais do aplicativo foram especificados, considerando a viabilidade técnica da implementação das ferramentas e das particularidades da área de conhecimento da arborização. Além disso, foi utilizada a metodologia de desenvolvimento de software, definida como a metodologia ágil *scrum*. A metodologia foi escolhida pela sua natureza dinâmica, que permite rápida adaptação a mudanças e incorporação de novos requisitos em meio ao processo de desenvolvimento. Nesta metodologia, o desenvolvimento das aplicações foi dividido em sprints que, segundo Pressman e Maxim (2016), funcionam como etapas, com tarefas a serem realizadas em um prazo determinado.

Quanto a aderência ao *framework*, as aplicações apresentam tecnologias sugeridas pela estrutura, como: uso de aplicativos móveis pelos cidadãos, utilização de sistemas de informações por gestores, banco de dados em nuvem, banco de dados em tempo real, acesso a bancos de dados externos e utilização de sensoriamento remoto com integração com mapas e gps. Ademais, os softwares buscam prover um meio para estimular a tomada de decisão participativa, um dos princípios das cidades inteligentes, ligado especificamente às dimensões governança inteligente e pessoas inteligentes.

#### **f) Validação da Aplicação Web e Aplicativo Móvel**

Esta pesquisa também usará grupo focal, um método de pesquisa qualitativa (DIAS; LIEBSCHER, 2000; BACKES *et al.*, 2011). Dias e Liebscher (2000) destacam que objetivo central do grupo focal é identificar percepções dos participantes a respeito de um assunto, produto ou atividade. Nesta pesquisa, o grupo focal foi utilizado com o objetivo de apresentar conclusões de um grupo de usuários sobre a utilidade das aplicações derivadas do *framework* construído como uma prova da aplicação dos conceitos abordados.

O planejamento do grupo focal foi embasado segundo os procedimentos recomendados por Morgan (1998) que em síntese são elencados como: planejamento do grupo focal; recrutamento de participantes; moderação do grupo focal; e analisar dados.

Para esta pesquisa, o grupo focal foi dividido em dois encontros: o

primeiro contou com profissionais ligados a secretaria do meio ambiente da cidade de Pato Branco-PR, incluindo o secretário; e o segundo foi realizado com mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR). Ao todo, participaram 13 indivíduos, sendo 5 do primeiro grupo e 8 do segundo.

Embora a aplicação web e o aplicativo móvel tenham sido apresentados para ambos os grupos, o objetivo da divisão dos grupos foi analisar com diferentes enfoques os módulos desenvolvidos. O grupo focal com os membros da secretaria do meio ambiente buscou analisar as percepções dos indivíduos, principalmente, sobre a aplicação web, um módulo voltado para gestores, administradores e profissionais ligados a arborização de vias públicas. A reunião com o segundo grupo teve como enfoque principal a análise do aplicativo e, portanto, os indivíduos participaram sob a perspectiva de cidadãos que poderiam utilizar o aplicativo desenvolvido para requisitarem algum tipo de serviço. Para a realização dos grupos focais foram elencados dois papéis: os participantes, conforme supracitado; e o moderador, sendo este, o pesquisador.

A reunião com o primeiro grupo ocorreu presencialmente em uma sala de reuniões da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco. Na ocasião, o moderador apresentou aos participantes os objetivos da pesquisa e o framework desenvolvido. Sequencialmente, o moderador demonstrou em tempo real as funcionalidades desenvolvidas para os softwares. A discussão foi iniciada com o base na apresentação e, para coletar todas as opiniões dos participantes, o moderador pediu que a reunião tivesse seu áudio gravado. Além da gravação, o moderador anotou todas as informações que julgou serem mais importantes. Os aspectos norteadores para a condução dessa reunião foram: compreender como os softwares se conectavam como os conceitos abordados pelo framework e como eles poderiam na prática auxiliar nas atividades de gestão da arborização de vias públicas de um município.

A reunião com o segundo grupo focal foi conduzida remotamente. Para auxiliar a comunicação remota com os membros do grupo focal, um grupo no *WhatsApp* foi criado. Um dia antes da reunião os participantes receberam um *link* para baixarem o aplicativo. Desse modo, os participantes puderam testar o *software* antes de iniciarem a discussão sobre ele. Para a realização da reunião

foi utilizado o serviço de comunicação por vídeo *google meet*, em razão da sua gratuidade e utilização já bastante difundida e consolidada.

Para iniciar a reunião, de forma análoga a primeira, o moderador apresentou os objetivos da pesquisa, o framework desenvolvido e os *softwares*. Após a apresentação, os participantes iniciaram a discussão sobre a aplicação web e, sobretudo, o aplicativo móvel que foi o enfoque da reunião. O moderador pediu permissão aos participantes para poder gravar o vídeo da reunião e, assim, coletar todas as opiniões. Neste segundo encontro as questões norteadoras da discussão foram: o quão importante os participantes julgavam relevante um aplicativo daquele tipo no âmbito na gestão da arborização de vias públicas; o quão relevante os participantes julgavam ser a aproximação do cidadão com os processos decisórios municipais por meio do fornecimento de informações sobre a cidade; a percepção de utilidade do aplicativo, a percepção de facilidade de uso do aplicativo; e, por fim; se os participantes de fato teriam intenção de utilizar aquele aplicativo.

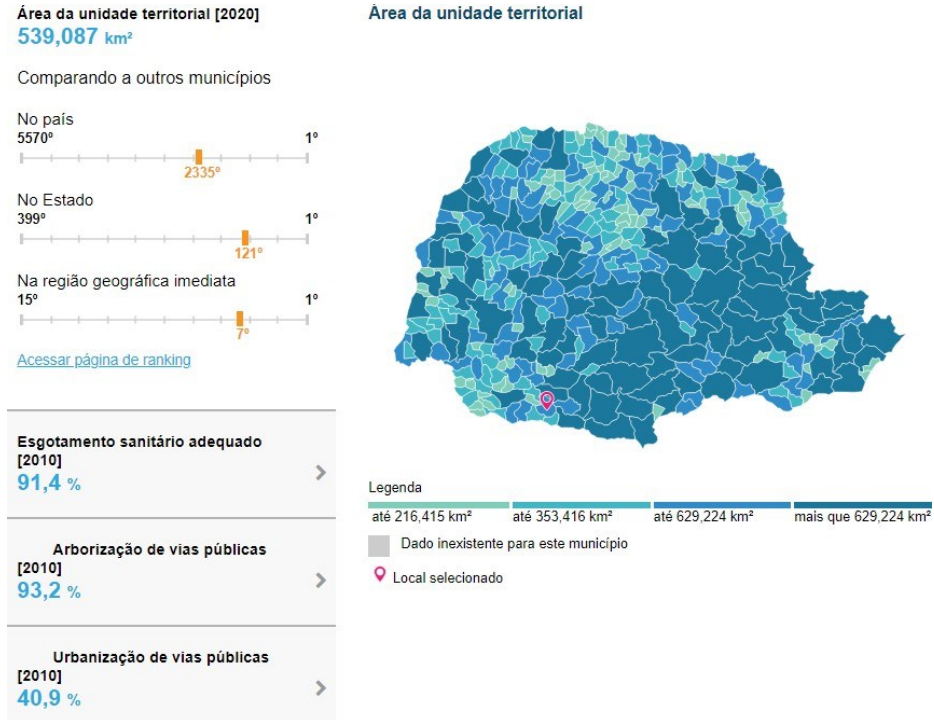
### **3.3 Unidade de Análise**

A cidade de Pato Branco, localizada na região sudoeste do estado do Paraná, foi elencada como unidade de análise para a realização desta pesquisa. A escolha foi definida tendo em vista algumas especificidades da localização, como o bom posicionamento da cidade no principal *ranking* de cidades inteligentes utilizado no país e o papel do estado do Paraná na busca pelo desenvolvimento sustentável (URBAN SYSTEMS, 2021; OCDE, 2021).

Segundo informações do IBGE (2021), a cidade de Pato Branco possuía uma população de 72.370 habitantes em 2010, dados que se convergiam para uma densidade demográfica de 134,25 habitantes por quilômetro quadrado. Estima-se que em 2021, a população tenha alcançado o número de 84.779 habitantes. Quanto aos fatores econômicos e de desenvolvimento, a cidade apresentava em 2018 um PIB per capita de R\$ 46.842,50, enquanto seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010 era de 0,782. Ademais, em relação ao território e ambiente, contextos que se relacionam intrinsecamente com esta pesquisa, a cidade apresenta área da unidade territorial de 539,087 km<sup>2</sup> e

93,2% de percentual de arborização de vias públicas, conforme exposto na Figura 6.

**Figura 7 – Dados territoriais da cidade de Pato Branco – Paraná**



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

A Tabela 1 demonstra a evolução do crescimento populacional da cidade de Pato Branco correlacionado com a taxa de vegetação entre 1953 e 2016.

**Tabela 1 – Crescimento populacional x Taxa de vegetação em PB**

Período	População	População /1000	Vegetação na área urbana			Comportamento da vegetação /habitantes	Comportamento da vegetação /1000 habitantes
			(km <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> ) x 100		
1953	5.694	6	0,11	110000	1100	19,32	19318,58
1963	12.050	12	0,42	420000	4200	34,85	34854,77
1980	31.470	31	0,88	880000	8800	27,96	27963,14
1996	50.870	51	3,48	3480000	34800	68,41	68409,67
2005	62.052	62	4,21	4210000	42100	67,85	67846,32
2009	67.022	67	4,48	4480000	44800	66,84	66843,72
2016	75.720	76	4,31	4310000	43100	56,92	56920,23

Fonte: Kunen (2018)

Ainda, destaca-se, como supracitado, que a cidade de Pato Branco

ocupa o 66º lugar no *Ranking Connected Smart Cities 2021* desenvolvido pela empresa especializada em análise de dados demográficos *Urban Systems*. O *ranking* mapeou todos os 677 municípios com mais de 50 mil habitantes no país, visando apresentar as cidades mais inteligentes e conectadas com base na análise de 75 indicadores divididos entre seguintes dimensões: mobilidade; economia; educação; urbanismo, saúde; meio ambiente; segurança; energia; empreendedorismo; tecnologia e inovação; e governança (URBAN SYSTEMS, 2021). Neste mesmo *ranking*, considerando indicadores da dimensão “meio ambiente”, a cidade ocupa a 9º posição no país, como indica a Figura 7.

**Figura 8 – Indicadores - *Ranking Connected Smart Cities 2021***



Fonte: Urban Systems (2021)

Bachendorf *et al.* (2019) identificaram fatores habilitadores para que Pato Branco se tornasse uma cidade considerada inteligente e sustentável. Um dos fatores elencados foi a participação da administração pública municipal no fomento de ações que contribuíram para o empreendedorismo e inovação na cidade. Além disso, o significativo investimento em tecnologia e sua utilização para melhoria de qualidade de vida do cidadão favoreceram o posicionamento de Pato Branco como cidade inteligente e sustentável. Neste contexto, evidenciou-se se também que a construção de cidades inteligentes decorreu da atuação conjunta de instituições de ensino superior, indústrias e a gestão pública.

Ressalta-se, como parte da motivação para a escolha da unidade de



análise, que segundo uma pesquisa da OCDE (2021) , o estado do Paraná tem se consolidado como exemplo mundial em desenvolvimento sustentável. A pesquisa procura analisar como o estado buscou alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL, 2020 ). Segundo a pesquisa, em seu plano plurianual 2020-2023, o Paraná está utilizando os ODS como embasamento para um *framework* que visa reduzir as disparidades territoriais e promover o intercâmbio de boas práticas entre municípios com diversos níveis de desenvolvimento. Um proeminente exemplo é a parceria entre o Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico e Social do Paraná (CEDES) e o Tribunal de Contas do Estado (TCEPR) para monitorar e avaliar a incorporação dos ODS no orçamento do estado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é feita a descrição do desenvolvimento do framework, dividida em “Descrição da Base Conceitual do *Framework*” e “Construção do *Framework*”. Além disso, este capítulo apresenta a validação da estrutura.

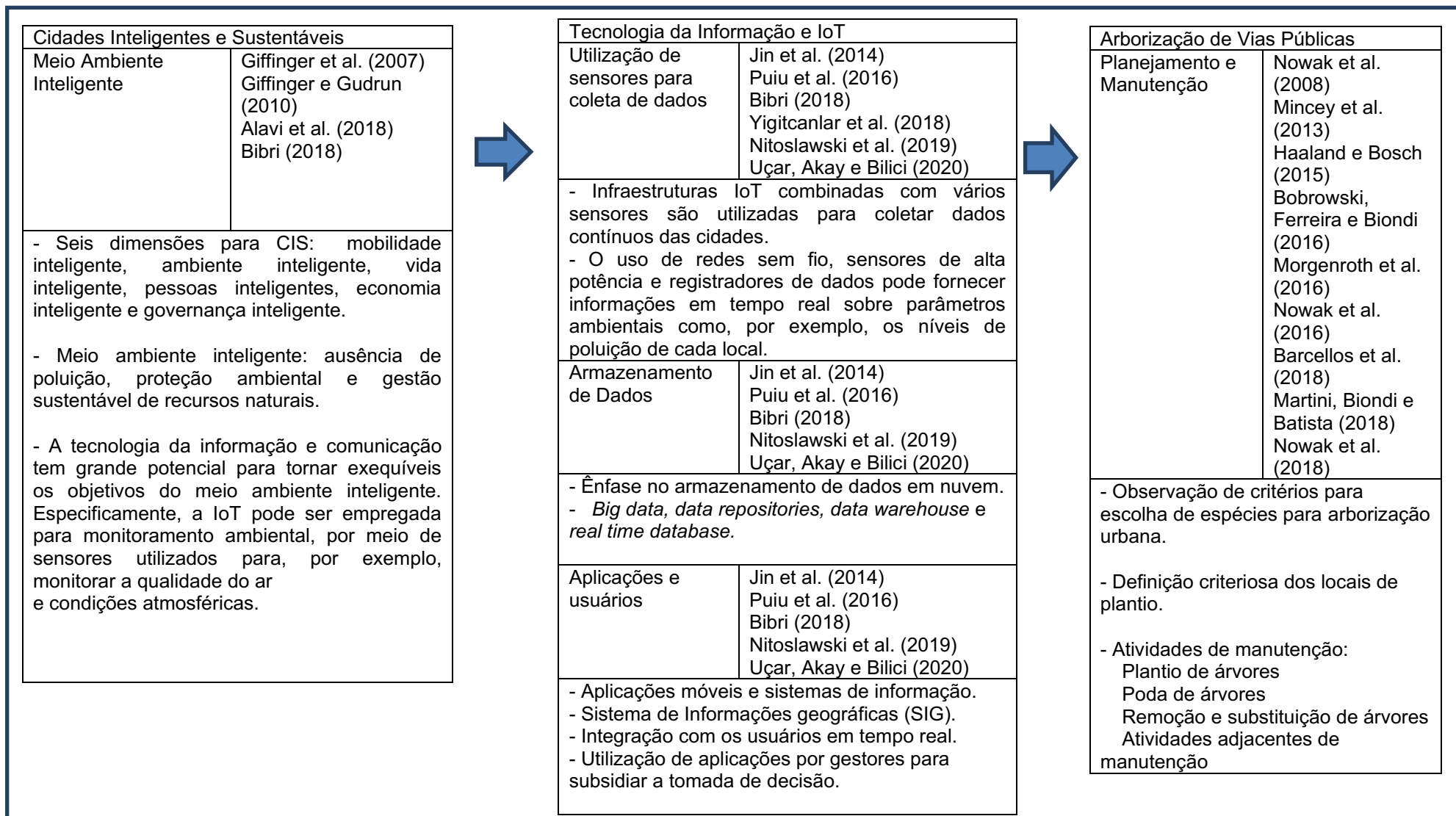
### 4.1 Desenvolvimento do *framework*

#### 4.1.1 Descrição da Base Conceitual do *Framework*

O framework proposto apresenta conceitos e tecnologias que, correlacionados em um fluxo determinado, têm como objetivo dar suporte ao planejamento e manutenção da arborização de vias públicas. Para que a exposição do framework fosse mais clara, ele foi dividido em duas camadas: tecnologia da informação e comunicação e procedimentos para arborização de vias públicas. A camada de tecnologia da informação e comunicação abrange as tecnologias, conceitos e fluxos sugeridos para subsidiar os processos decisórios acerca da gestão da arborização de vias públicas. A camada de procedimentos determina as atividades de planejamento e manutenção que podem ser realizadas acerca da arborização de vias públicas, tendo como base o suporte das TIC

O Quadro 1 apresenta os conceitos que integram o framework divididos em áreas do conhecimento que se correlacionam e das quais os conceitos derivam-se. As áreas do conhecimento apresentadas são “cidades inteligentes e sustentáveis”, “tecnologia da informação e IoT” e “arborização das vias públicas”. A primeira coluna exhibe os conceitos de cidades inteligentes e sustentáveis utilizados para embasar o desenvolvimento do framework. A coluna do meio demonstra as tecnologias da informação e comunicação que podem ser utilizadas no contexto da gestão da arborização das vias públicas, com ênfase para o IoT. Por fim, a última coluna exhibe as atividades de planejamento.

Quadro 8 – Base Conceitual do Framework

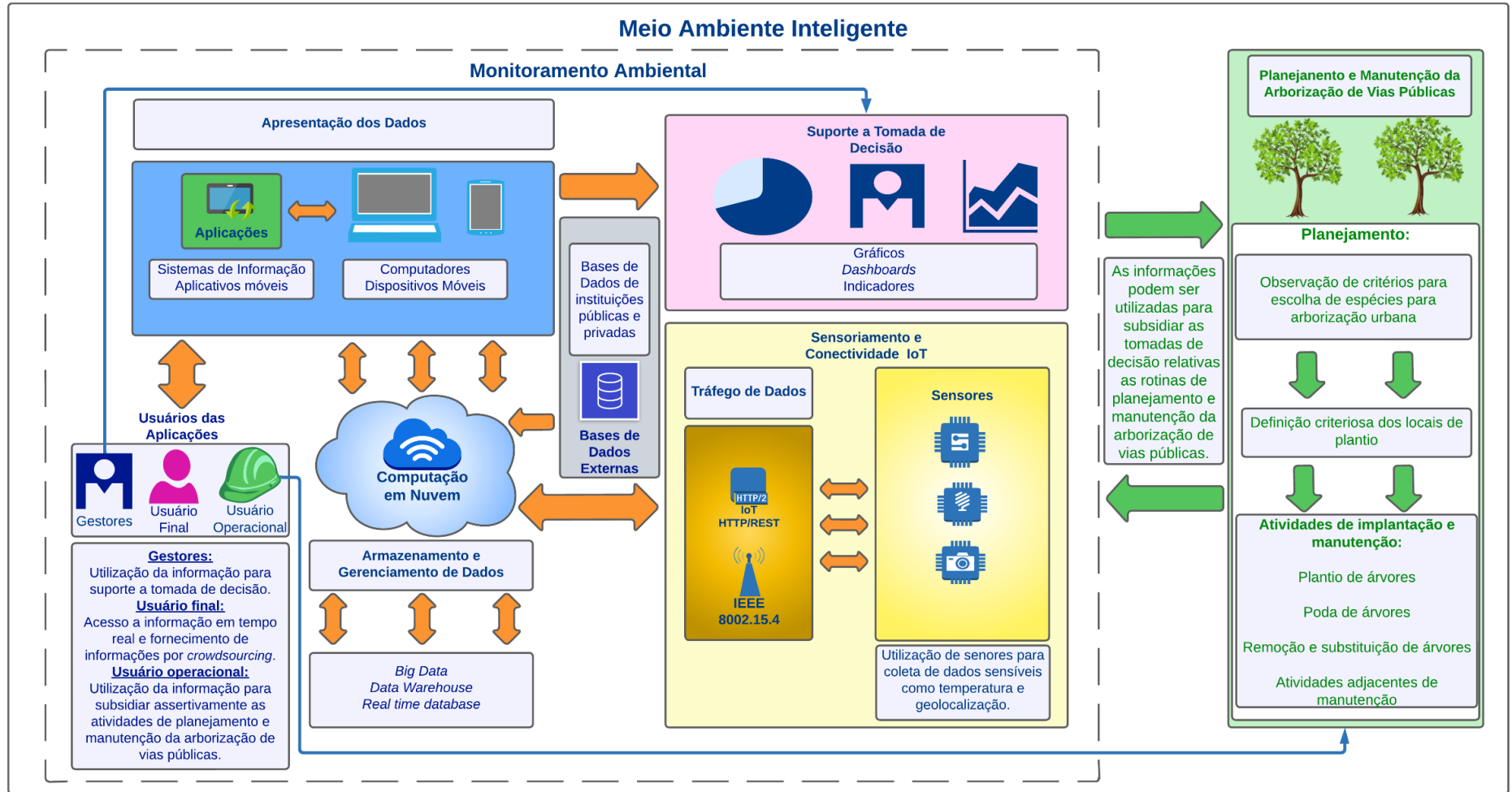


Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.1.2 Construção do *Framework*

O *framework* proposto apresenta conceitos e tecnologias que, correlacionados em um fluxo determinado, têm como objetivo dar suporte ao planejamento e manutenção da arborização de vias públicas. Para que a exposição do *framework* fosse mais clara, ele foi dividido em duas camadas: tecnologia da informação e comunicação e procedimentos para arborização de vias públicas. A camada de tecnologia da informação e comunicação abrange as tecnologias, conceitos e fluxos sugeridos para subsidiar os processos decisórios acerca da gestão da arborização de vias públicas. A camada de procedimentos determina as atividades de planejamento e manutenção que podem ser realizadas acerca da arborização de vias públicas, tendo como base o suporte das TIC. A camada de tecnologia da informação e comunicação do *framework* é apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Framework: camada de tecnologia da informação e comunicação



Elaborado pelo autor (2022).

A elaboração do *framework* iniciou-se considerando o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis. Desse contexto, deriva-se a principal concepção que fundamenta o framework, o meio ambiente (GIFFINGER et al. 2007, GIFFINGER; GUDRUN 2010, ALAVI et al. 2018; BIBRI, 2018). O meio ambiente inteligente concentra-se na ideia de desenvolver cidades inteligentes que possuam bom desempenho em fatores como níveis de poluição, proteção ambiental e gestão sustentável de recursos naturais.

Para Alavi et al. (2018) e Bibri (2018) as TIC, sobretudo a IoT, podem ser utilizadas para mitigar a degradação ambiental provocada pelo desenvolvimento urbano e para gerenciar de forma mais inteligente os recursos naturais de uma cidade. Neste contexto, sensores e aplicações de software são utilizados para monitoramento, controle, automação, otimização e gerenciamento de elementos urbanos relativos ao meio ambiente com o objetivo de garantir as cidades a sustentabilidade ambiental.

Especificamente, as TIC e o IoT proporcionam oportunidades para monitorar e avaliar a arborização de vias públicas. O uso de tecnologias inteligentes pode reduzir o custo e o tempo na gestão da arborização por meio da coleta de informações relevantes para o manejo e manutenção das árvores urbanas (UÇAR; AKAY; BILICI, 2020). Neste cenário, a utilização de sensores é sugerida para coletar dados relevantes e contínuos das cidades (JIN et al., 2014; PUIU et al., 2016; BIBRI, 2018; YIGITCANLAR et al., 2018; NITOSLAWSKI et al., 2019; UÇAR; AKAY; BILICI, 2020). Partindo dessa concepção, o *framework* sugere a utilização de sensores para coleta de dados sensíveis a arborização, como dados atmosféricos, climáticos e geográficos. O framework apresenta uma estrutura geral para a gestão de arborização de vias públicas e, portanto, para além dos dados sugeridos, os dados monitorados podem diferir – dentro de um campo limítrofe - de acordo com o objetivo de cada gestor. O Quadro 9 apresenta os conceitos que embasaram a adição da utilização de sensores ao *framework*.

**Quadro 9 – Utilização de IoT e Sensores em cidades inteligentes e sustentáveis.**

(continua)

Origem	Argumentação
A) Jin et al. (2014)	<p>A1. As redes de sensores sem fio desempenham um papel crítico nas cidades inteligentes, atuando para o compartilhamento de dados da cidade em diversas plataformas e aplicativos.</p> <p>A2. Municípios líderes mundiais, em fatores como qualidade de vida, têm proporcionado serviços aos seus cidadãos por meio, por exemplo, do uso de tecnologia no monitoramento de diversos parâmetros ambientais. A maioria desses sistemas consiste em sensores, dispositivos de armazenamento de dados, e computadores em uma estação base onde especialistas analisam os dados da cidade.</p> <p>A4. A disponibilidade de sensores menores, mais baratos e mais inteligente e difundido (por exemplo, câmera embutida), faz com que as redes de sensores sem fio desempenhem um papel importante em aplicações de sensoriamento urbano</p> <p>A5. No contexto ambiental das cidades, analisar o microclima pode ser exequível por meio da implantação de sensores de temperatura de umidade.</p>
B) Puiu et al. (2016)	<p>B1. Os ecossistemas de IoT desempenham um papel vital para reunir fontes ricas de informações das cidades inteligentes. Diversas cidades inteligentes utilizam infraestruturas IoT e vários dispositivos sensoriais para coletar dados contínuos das cidades. A utilidade do sensoriamento pode incluir, mas não somente: iluminação inteligente, monitoramento do tráfego e monitoramento da qualidade do ar e da água.</p>
C) Bibri (2018)	<p>C1. A tecnologia de sensores é uma das principais tecnologias habilitadoras para IoT. Existe uma vasta gama de arquiteturas IoT que visam essencialmente fornecer a infraestrutura apropriada para a operação em cidades inteligentes e sustentáveis. Normalmente, essa infraestrutura inclui vários e diversos tipos de sensores, além de sistemas de processamento de dados e redes de comunicação sem fio.</p> <p>C2. Os sensores utilizados para coletar as grandes massas de dados urbanos que servem como entradas para aplicações de <i>big data</i>. A tecnologia de sensores é, portanto, um elemento-chave para a coleta e análise de dados no contexto de cidades sustentáveis inteligentes.</p> <p>C3. Redes IoT utilizam sensores cada vez mais sofisticados para coletar dados do cotidiano da cidade, provenientes de elementos como: pessoas, estradas, ferrovias, pontes, ruas, edifícios, sistemas de água, redes elétricas, veículos, eletrodomésticos, mercadorias, máquinas, animais, plantas, solo e ar.</p> <p>C4. Comumente, os sensores podem ser classificados de acordo com o tipo de dados que eles detectam e incluem, mas não estão limitados, a: sensores de geolocalização (por exemplo, GPS), sensores ópticos/de visão (por exemplo, sensor de cor); sensores de temperatura.</p>

---

	<i>(continuação)</i>
D) Yigitcanlar et al. (2018)	<p>D1. Uma cidade inteligente está geralmente associada com tecnologia como: sensores, câmeras, conexões rápidas de internet e centros de controle. Embora útil, a tecnologia não deve ser o foco central. Uma cidade inteligente aborda em primeiro lugar as pessoas e suas necessidades, a tecnologia deve ser utilizada apenas em conexão direta com essas necessidades.</p> <p>D2. A nova inteligência das cidades reside na combinação cada vez mais eficaz de: redes de telecomunicações digitais (os nervos), inteligência onipresente (os cérebros), sensores e etiquetas (os órgãos sensoriais) e software (o conhecimento e a competência cognitiva).</p>
F) Nitoslowski et al. (2019)	<p>F1. O uso de redes sem fio, sensores de alta potência e registradores de dados pode fornecer informações em tempo real sobre parâmetros ambientais como absorção de águas pluviais e qualidade do ar em locais verdes específicos.</p> <p>F2. Floresta urbana inteligente: Monitoramento e gerenciamento digital da coleção de árvores e vegetação dentro de uma cidade. Por meio das tecnologias digitais os benefícios florestais podem ser alcançados e aprimorados. Essas tecnologias incluem, mas não se limitam, a dados abertos e big data, redes de sensores, inteligência artificial, robótica, realidade aumentada e virtual e redes sociais.</p>
G) Uçar, Akay e Bilici (2020)	<p>G1. Tendências para gerenciamento inteligente das florestas urbanas e áreas verdes incluem, principalmente, sensores para o monitoramento ambiental dessas áreas.</p>

---

**Elaborado pelo autor (2022).**

Os sensores, inseridos em uma estrutura IoT, devem se comunicar com aplicações na internet. Para que a comunicação seja realizada de forma eficiente o *framework* indica a utilização da arquitetura de *software* REST (*Representational State Transfer*) e o padrão de comunicação IEEE 802.15.4. A arquitetura REST permite que os sensores se conectem a aplicações na internet através do protocolo HTTP e compartilhem dados. Os dados podem ser compartilhados com outros sensores e aplicações por meio de requisições a *web services* que trafegam dados em formatos como XML e JSON. Por sua vez, o padrão IEEE 802.15.4 é recomendado para comunicação entre nodos em redes de sensores sem fio (Jin *et al.* 2014) que operem com baixa taxa transmissão de dados. Como supracitado, o monitoramento por sensores pode ser utilizado para coletar dados sensíveis acerca da arborização de vias públicas como o geoposicionamento das árvores e a temperatura de cada microclima no qual estão inseridas. Ademais, o sensoriamento também possibilitaria verificar árvores que tenham sofrido algum dano significativo como, por exemplo, uma queda.

O próximo elemento do *framework* diz respeito ao armazenamento de dados. Neste contexto, indica-se a centralização dos dados coletados em um banco de



dados em nuvem. Essa base de dados pode receber dados dos sensores e de outros sistemas de informação conectados a ela. Ainda, sugere-se, caso necessário, a utilização de outras bases de dados que possuam informações relevantes relacionadas a arborização de urbana. Como exemplo, pode-se citar bases de dados de instituições públicas e privadas que possuam informações climáticas, atmosféricas e geográficas das cidades. Os dados coletados e armazenados em nuvem podem constituir repositórios de dados, armazéns de dados e bancos de dados em tempo real. Em conformidade com as especificidades de cada cidade, um grande volume de dados pode ser caracterizado como *big data*. O Quadro 10 apresenta a base argumentativa para a adição do armazenamento em nuvem ao *framework*.

**Quadro 10 – Armazenamento em nuvem em cidades inteligentes e sustentáveis**

Origem	Argumentação
A) Jin et al. (2014)	<p>A1. A nuvem integra todas as facetas de computação ubíqua, fornecendo armazenamento escalável e recursos computacionais para construir novos negócios.</p> <p>A2. Todos os dados dos sensores fixos e sensores móveis – incluindo dados geográficos – podem ser armazenados e centralizados em nuvem.</p>
B) Puiu et al. (2016)	B1. Proposição de um framework baseado em nuvem para centralização e execução de serviços em cidades inteligentes.
C) Bibri (2018)	<p>C1. Com um grande potencial para transformações urbanas disruptivas, principalmente em relação à sustentabilidade ambiental, o IoT consiste em vários dispositivos e objetos conectados à nuvem.</p> <p>C2. A computação em nuvem pode oferecer soluções para enfrentar vários desafios em cidades inteligentes e sustentáveis, oferecendo recursos necessários para o armazenamento, gerenciamento e análise de grandes volumes de informações urbanas.</p>
D) Nitoslowski et al. (2019)	<p>D1. A combinação de sensores, TICs e sistemas baseados em nuvem permite um monitoramento ambiental sem precedentes, ao mesmo tempo que disponibiliza a visualização em tempo real dos dados coletados. Por consequência, há o favorecimento das tomadas de decisão em tempo real.</p> <p>D2. Plataformas online e baseadas em nuvem podem permitir colaboração entre o governo e outros setores da sociedade, promovendo maior transparência na gestão pública.</p>
F) Uçar, Akay e Bilici (2020)	F1. Tecnologias inteligentes, que podem incluir sensoriamento e aplicações em nuvem, podem ser utilizadas para mapear e avaliar espécies de árvores, assim como mapear e monitorar o uso da terra no entorno e tipos de cobertura de solo.

**Elaborado pelo autor (2022).**

Os dados disponíveis no banco de dados em nuvem podem ser acessados por meio de aplicações de sistemas de informação e aplicações móveis. Além de disponibilizar informações, também é possível utilizar essas aplicações para registrar novas informações que serão enviadas para o banco de dados em nuvem. No contexto específico da arborização urbana pode-se, por exemplo, utilizar uma aplicação de software para registrar uma nova árvore no inventário de árvores da cidade. Essas aplicações podem ser acessadas por gestores, usuários operacionais (profissionais ligados a operacionalização das atividades de arborização) e usuários finais (cidadãos). Cada tipo de usuário terá acesso a módulos diferentes das aplicações. Os gestores podem utilizar as informações como suporte aos processos de tomada de decisão. Os usuários operacionais utilizam a informação para subsidiar assertivamente a condução de atividades de planejamento e manutenção da arborização viária. Ainda, o cidadão pode acessar em tempo real as informações acerca da arborização urbana de sua cidade e fornecer informações. No último caso sobredito é possível, por exemplo, que um cidadão registre por meio de uma aplicação móvel a ocorrência de uma árvore não adequada ao meio urbano - danificando o passeio público, rompendo a fiação elétrica etc. - ou até mesmo solicitar o plantio de árvores próximo a sua residência. Essas aplicações podem abranger, mas não somente, aplicações móveis e sistemas de informação, aplicações baseadas em *big data*, sistema de Informações geográficas (SIG), integração com os usuários em tempo real, plataformas de *crowdsourcing* e, conseqüentemente, o objetivo central que é a utilização de aplicações por gestores para subsidiar a tomada de decisão.

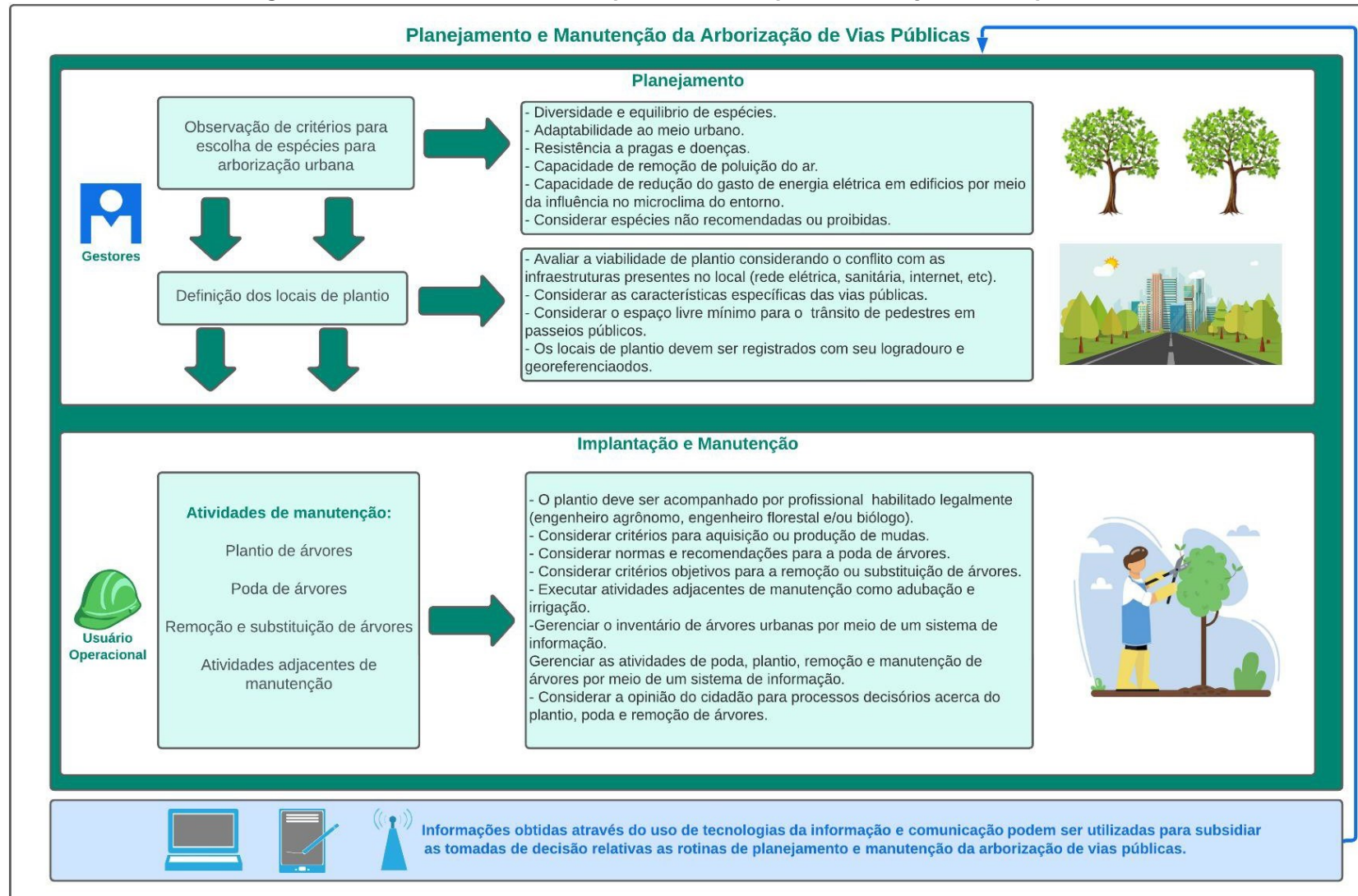
Por fim, o *framework* aponta que as aplicações que fornecem suporte a tomada de decisão devem possibilitar a visualização de informação através de indicadores, gráficos e *dashboards* (painéis visuais que exibem informações de forma inteligível, concisa e objetiva).

Após a elaboração da camada de tecnologia da informação e comunicação e definição de sua relação com o planejamento e manutenção de vias públicas, iniciou-se o desenvolvimento da camada do framework de procedimentos. Para tal fim, considerou-se que as informações obtidas através da utilização de tecnologias da informação e comunicação – preconizadas na camada do framework apresentada anteriormente – podem ser utilizadas para subsidiar as tomadas de decisões

relativas as rotinas de planejamento e manutenção da arborização.

Para o planejamento foram definidos dois fatores principais: a observação de critérios para a escolha de espécies para a arborização de vias públicas e a definição dos locais de plantio. Para as atividades de manutenção foram elencadas as seguintes atividades: plantio de árvores, poda de árvores, remoção e substituição de árvores e atividades adjacentes de manutenção. Destaca-se que o planejamento está ligado diretamente às atividades dos gestores, enquanto a manutenção é atribuída primordialmente aos usuários operacionais das tecnologias da informação e comunicação elencadas para a camada de tecnologia da informação e comunicação do *framework*. O *framework* é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Framework: camada de procedimentos para arborização de vias públicas



Elaborado pelo autor (2022)

Os procedimentos para planejamento e manutenção da arborização de vias públicas derivam-se, como supracitado na base conceitual e descrito na fundamentação teórica, dos trabalhos de Nowak *et al.* (2008), Mincey *et al.* (2013), Haaland e Bosch (2015), Bobrowski, Ferreira e Biondi (2016), Morgenroth *et al.* (2016), Nowak *et al.* (2016), Barcellos *et al.* (2018), Martini, Biondi e Batista (2018), Nowak *et al.* (2018). Esses trabalhos buscaram estabelecer elementos para o planejamento e manutenção da arborização urbana e seu impacto para as cidades. Ademais, os trabalhos de Nitoslawski *et al.* (2019) e Uçar, Akay e Bilici (2020) objetivaram estabelecer relações entre cidades inteligentes, tecnologias habilitadoras e a arborização urbana.

#### 4.1.3 Validação da estrutura do *framework*

A validação do *framework* ocorreu por meio do envio de questionários a especialistas nos temas: arborização urbana, cidades inteligentes e sustentáveis e tecnologia da informação. Ao todo, esta pesquisa contou com a contribuição de 13 especialistas. Após o envio do questionário ao primeiro grupo constatou-se um nível significativo de concordância em relação aos componentes e estrutura que constituem o *framework*. Sendo assim, o questionário foi enviado para um segundo grupo para confirmar se também haveria concordância em relação ao exposto em ambas as camadas do *framework*. Para a elaboração dos formulários foi utilizada a ferramenta *google forms*. Um e-mail foi enviado aos especialistas com um convite para participação na pesquisa. Junto do e-mail foram anexados materiais de apoio para auxiliar o entendimento do *framework*, como as imagens de ambas as camadas que o constituem, a descrição da sua base conceitual e um texto explicando sua estrutura.

Para cada componente do *framework* foi criada uma descrição para que os especialistas entendessem objetivamente sua função. Os especialistas tiveram que indicar o grau de relevância de cada componente do *framework* no âmbito da gestão da arborização de vias públicas. As opções elencadas para a resposta foram: irrelevante, pouco relevante, indiferente, relevante, muito relevante e não sei opinar. A opção “não sei opinar” foi adicionada às repostas considerando o perfil heterogêneo dos especialistas respondentes e pelas temáticas profusas do

*framework*. O questionário completo é apresentado no Apêndice E.

A Tabela 2 apresenta as respostas dos especialistas sobre a relevância dos componentes da primeira cada do *framework*. As respostas demonstraram significativa aderência em relação aos especialistas e a relevância dos componentes.

Quanto a utilização de sensores, 85% dos respondentes apontaram a indicação do *framework* como muito relevante. As respostas indicam que esse componente é um dos mais relevantes para a estrutura do *framework*.

A utilização de padrões como 8002.15.4 e a arquitetura REST para tráfego de dados entre sensores, bases de dados e aplicações de software, teve 38% de respostas como “relevante” e 38% como “muito relevante”, enquanto 23% responderam não saber opinar. A quantidade razoável de respondentes que não souberam opinar deve-se ao fato que este é um tema bastante técnico ligado especificamente a área da tecnologia da informação e comunicação e, portanto, alguns dos respondentes que não são dessa área desconheciam o assunto. Ainda assim, a utilização de padrões apresentou aceitação significativa dos especialistas.

Em relação a utilização de bases de dados em nuvem, a maior parte dos respondentes (62%) respondeu como sendo muito relevante, os demais responderam como sendo relevante. O uso de base dados em nuvem correlaciona-se intrinsecamente como a utilização de sistemas de informação e aplicativos móveis sugeridos pelo *framework*. De forma análoga, 69% dos respondes apontaram o uso de bases de dados externas para obtenção de informações que podem ser utilizadas para subsidiar processos decisórios como sendo muito levante, enquanto os demais apontaram como relevante. Ademais, ainda tratando-se da temática acerca do uso de base de dados, 69% dos respondentes indicaram como muito relevante considerar o uso de tecnologias de armazenamento e gerenciamento de dados derivadas de conceitos como armazém de dados e banco de dados em tempo real.

O *framework* indica o uso de sistemas de informações (SI) e aplicativos móveis (app) para a apresentação dos dados advindos da base de dados em nuvem, tendo o SI foco nos gestores e os apps foco na utilização pelo cidadão. Esse componente recebeu 69% de respostas como sendo muito relevante e 31% como sendo relevante.

Tabela 2 – Respostas: camada de tecnologia da informação e comunicação

(continua)

Repostas	Irrelevante	Pouco relevante	Indiferente	Relevante	Muito relevante	Não sei opinar
<b>Componentes do Framework</b>						
Utilização de sensores para o monitoramento de aspectos críticos (temperatura, umidade, poluição atmosférica etc.) relativos à arborização de vias públicas.	0	0	0	2 (15%)	11 (85%)	0
Utilização de padrões e arquiteturas adequadas - como padrão 8002.15.4 e a arquitetura REST - para tráfego de dados entre sensores, bases de dados e aplicações de software.	0	0	0	5 (38%)	5 (38%)	3 (23%)
Utilização de uma base de dados em nuvem para centralizar o armazenamento e gerenciamento dos dados oriundos dos sensores, sistemas de informação e aplicações móveis	0	0	0	5 (38%)	8 (62%)	0
Utilização de bases de dados externas (instituições públicas e privadas) para obtenção de informações que podem ser utilizadas para subsidiar processos decisórios acerca da arborização de vias públicas.	0	0	0	4 (31%)	9 (69%)	0
Utilização de tecnologias para armazenamento de gerenciamento de dados como <i>data warehouse</i> (armazém de dados) e <i>real time database</i> (banco de dados em tempo real).	0	0	0	3 (23%)	9 (69%)	1 (8%%)
Apresentação dos dados acerca da arborização de vias públicas em tempo real por meio de sistemas de informação e aplicativos móveis.	0	0	0	4 (31%)	9 (69%)	0

*(continuação)*

Participação dos gestores municipais, subsidiados por tecnologias da informação, nos processos decisórios de planejamento da arborização de vias públicas.	0	0	0	1 (8%)	12 (92%)	0
Participação dos usuários operacionais, subsidiados por tecnologias da informação, na execução de rotinas de trabalho da arborização de vias públicas.	0	0	0	7 (54%)	6 (46%)	0
Participação dos cidadãos (usuários finais), subsidiados por tecnologias da informação, para acesso e fornecimento de informações relativas à arborização de vias públicas.	0	0	1 (8%%)	3 (23%)	9 (69%)	0
Utilização de sistemas de informação que apresentem gráficos, relatórios, dashboards e indicadores para subsidiar os processos de tomada de decisão.	0	0	0	3 (23%)	10 (77%)	0

**Elaborado pelo autor (2022)**



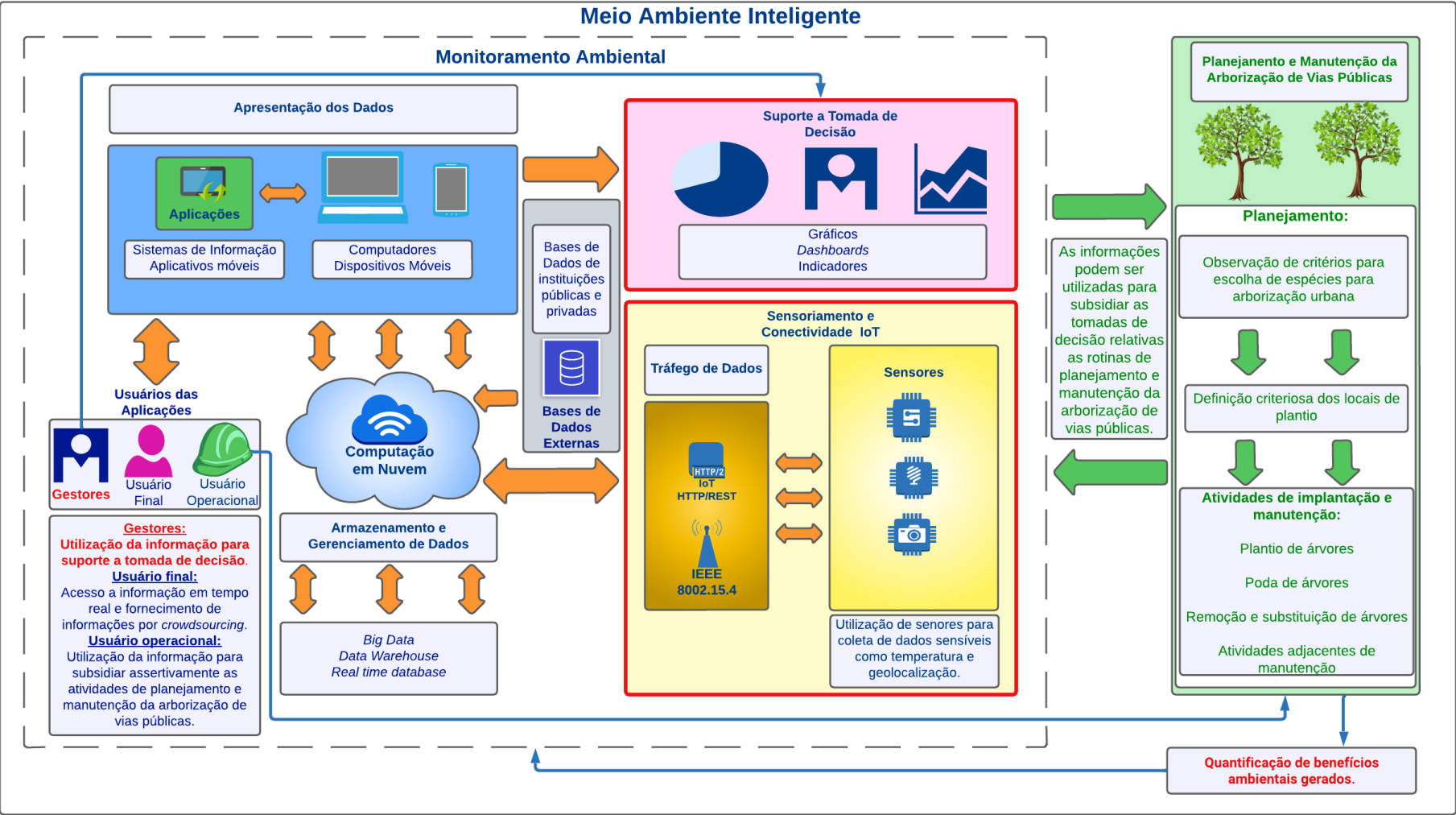
O framework indica a participação de gestores municipais, usuários operacionais das tecnologias (profissionais ligados a arborização urbana) e cidadãos, respectivamente, nos processos de tomada de decisão, execução de rotinas de trabalho e fornecimento de informações, com subsídios da tecnologia da informação e comunicação. A participação dos gestores nos processos decisórios de planejamento da arborização de vias públicas foi indicada por 92% dos especialistas como sendo muito relevante, a participação dos usuários operacionais recebeu por meio da TI recebeu 46% de respostas como muito relevante e 64% como relevante e a participação dos cidadãos recebeu 69% de respostas como sendo muito relevante.

O último componente avaliado do framework diz respeito a apresentação de gráficos, relatórios, *dashboards* e indicadores em sistemas de informação para subsidiar os processos de tomada de decisão. Esse componente obteve 77% de respostas como sendo muito relevante e 23% de respostas como sendo relevante.

Além das questões fechadas para validar os componentes do framework, o questionário também possuiu uma pergunta aberta para os especialistas sugerirem adições, alterações e exclusões ao framework. Um dos especialistas na área da engenharia florestal indicou a adição de uma etapa: quantificação de benefícios ambientais gerados, como sequestro de carbono, interceptação de chuvas e redução de inundações urbanas. A adição foi considerada pertinente e incorporada ao *framework*.

A Figura 11 apresenta a primeira camada do framework após a contribuição dos especialistas. Embora todos os itens do framework tenham sido considerados relevantes, a figura apresenta os componentes avaliados como mais relevantes destacados em vermelho. Além disso, há a adição de uma nova fase conforme sugerido por um dos especialistas.

Figura 11 – Framework: camada de procedimentos para arborização de vias públicas



Elaborado pelo autor (2022)

Como supracitado, os especialistas também foram consultados acerca da constituição da camada do framework de procedimentos sobre o planejamento e manutenção da arborização de vias públicas. A Tabela 3 apresenta as respostas dos especialistas.

A primeira parte do questionário objetivou avaliar critérios objetivos para a escolha de espécies de árvores. O item “considerar a diversidade e equilíbrio de espécies” recebeu 62% das indicações como sendo muito relevante e 31% como sendo relevante. As respostas denotaram aderência dos especialistas em relação ao critério de escolha de espécies preconizado no *framework*. O critério “resistência a pragas e doenças” foi apontado por 70% dos especialistas como muito relevante. Destaca-se, quanto a seleção de espécies de árvores, que o critério “adaptabilidade ao meio urbano” recebeu 85% de respostas indicando-o como muito relevante. Ainda, os critérios “capacidade de remoção de poluição de ar” e “potencial para de redução do gasto de energia elétrica em edifícios por meio da influência no microclima do entorno” obtiveram, respectivamente, 38% e 31% de respostas avaliando-os como muito relevantes. Por fim, para os critérios de seleção de espécies de árvores, o item “considerar espécies não recomendadas ou proibidas” teve 62% de respostas como muito relevante. As respostas denotam que, ainda que todos os critérios tenham sido considerados relevantes, os critérios críticos para a escolha de espécies são: diversidade e equilíbrio de espécies; adaptabilidade da espécie ao meio urbano; e resistência a pragas e doenças.

Na sequência, foram avaliados critérios para definição dos locais de plantio e as características que devem ser consideradas. Destaca-se que, dentre os critérios avaliados, o que teve maior relevância para os especialistas foi “avaliar a viabilidade de plantio considerando o conflito com as infraestruturas presentes no local” que obteve 85% de respostas como sendo muito relevante. Os demais critérios avaliados foram “considerar as características específicas das vias públicas”, “considerar o espaço livre mínimo para o trânsito de pedestres em passeios públicos” e “os locais de plantio devem ser registrados com seu logradouro e georreferenciados”, todos com 77% de respostas dos especialistas apontando-os como muito relevantes. Infere-se pelas respostas que todos os critérios avaliados foram considerados significativamente relevantes, enquanto o conflito com as infraestruturas do meio urbano foi avaliado como sendo de maior relevância.

Tabela 3 – Respostas: camada de procedimentos para arborização de vias públicas

(continua)

Repostas	Irrelevante	Pouco relevante	Indiferente	Relevante	Muito relevante	Não sei opinar
<b>Componentes do Framework</b>						
Diversidade e equilíbrio de espécies.	0	0	0	4 (31%)	8 (62%)	1 (8%)
Adaptabilidade da espécie ao meio urbano	0	0	0	1 (8%)	11 (85%)	1 (8%)
Resistência a pragas e doenças.	0	0	0	3 (23%)	9 (70%)	1 (8%)
Capacidade de remoção de poluição do ar.	0	0	1 (8%)	6 (46%)	5 (38%)	1 (8%)
Potencial para de redução do gasto de energia elétrica em edifícios por meio da influência no microclima do entorno.	0	0	2 (15%)	6 (46%)	4 (31%)	1 (8%)
Considerar espécies não recomendadas ou proibidas.	0	0	1 (8%)	3 (23%)	8 (62%)	1 (8%)
Avaliar a viabilidade de plantio considerando o conflito com as infraestruturas presentes no local (rede elétrica, sanitária, internet, etc.).	0	0	0	1 (8%)	11 (85%)	1 (8%)
Considerar as características específicas das vias públicas.	0	0	0	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)
Considerar o espaço livre mínimo para o trânsito de pedestres em passeios públicos.	0	0	0	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)
Os locais de plantio devem ser registrados com seu logradouro e georreferenciados	0	0	0	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)

*(continuação)*

O plantio deve ser acompanhado por profissional habilitado legalmente (engenheiro agrônomo, engenheiro florestal e/ou biólogo).	0	0	1 (8%)	3 (23%)	8 (62%)	1 (8%)
Considerar critérios para aquisição ou produção de mudas.	0	0	1 (8%)	0	10 (77%)	2 (15%)
Considerar normas e recomendações para a poda de árvores.	0	0	0	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)
Considerar critérios objetivos para a remoção ou substituição de árvores.	0	0	0	2 (15%)	10 (77%)	1 (8%)
Executar atividades adjacentes de manutenção como adubação e irrigação	0	0	0	5 (38%)	7 (54%)	1 (8%)
Gerenciar o inventário de árvores urbanas por meio de um sistema de informação.	0	0	0	4 (31%)	8 (62%)	1 (8%)
Gerenciar as atividades de poda, plantio, remoção e manutenção de árvores por meio de um sistema de informação.	0	0	0	1 (8%)	11 (85%)	1 (8%)
Considerar a opinião do cidadão para processos decisórios acerca do plantio, poda e remoção de árvores.	0	1 (8%)	0	5 (38%)	7 (54%)	0

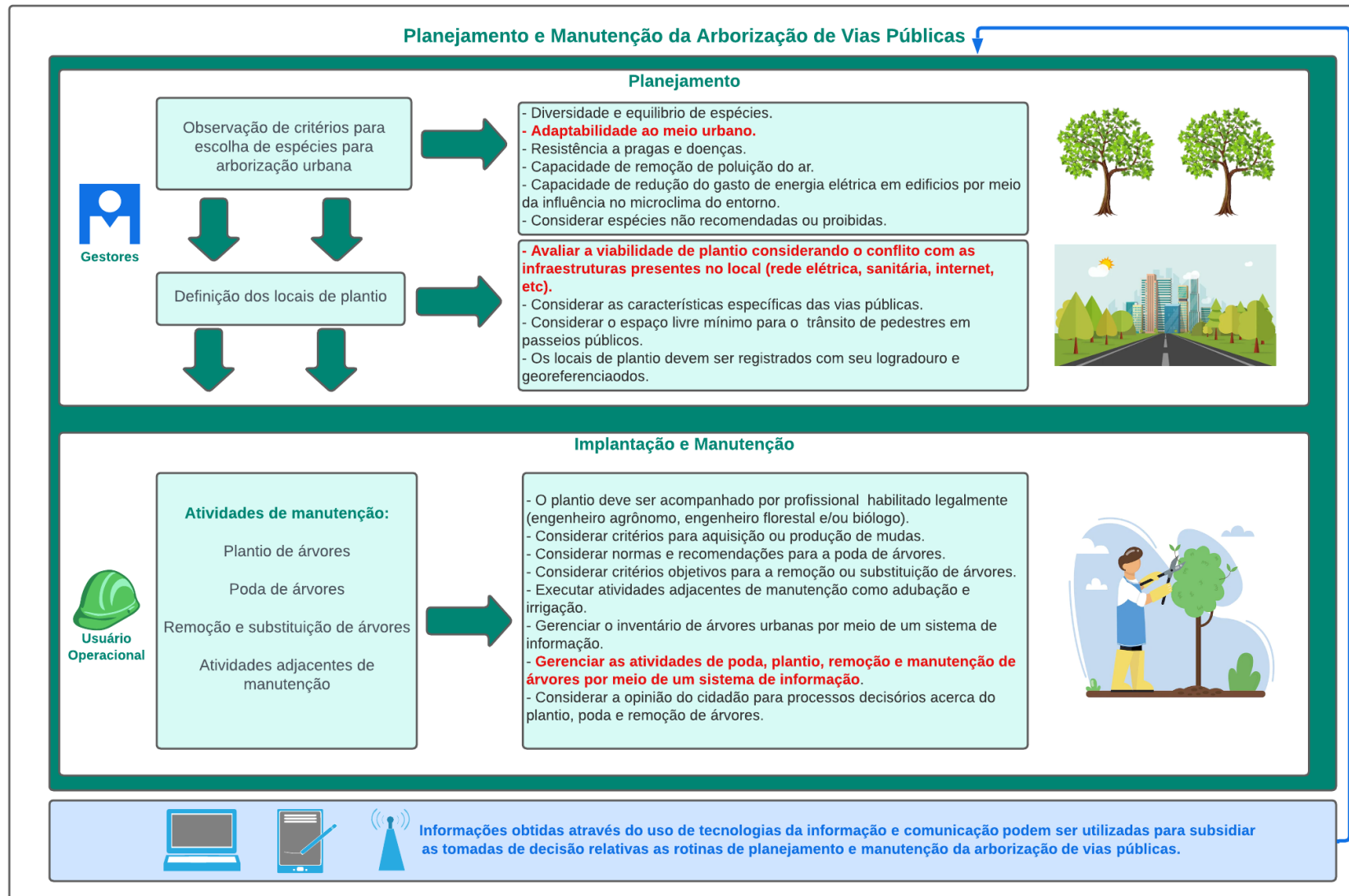
**Elaborado pelo autor (2022)**

A última seção do questionário buscou apresentar elementos que pudessem dar suporte às atividades de implantação e manutenção da arborização de vias públicas.

O primeiro item avaliado diz respeito ao acompanhamento do plantio de árvores por um profissionalmente legalmente habilitada, como um engenheiro florestal ou um engenheiro agrônomo. Esse item teve 62% de respostas considerando-o muito relevante e 23% considerando-o relevante. O framework, também considerou critérios para aquisição ou produção de mudas, esse item teve 77% de respostas elencando-o como muito relevante. Ambas as recomendações do framework “considerar normas e recomendações para a poda de árvores” e “considerar critérios objetivos para a remoção ou substituição de árvores” receberam 77% de respostas apontando-os como muito relevantes. Ainda, a execução de atividades de manutenção, como irrigação, foi considerada relevante por 38% dos especialistas e muito relevante por 54% dos especialistas. Os resultados denotam preocupação com as atividades de manutenção das árvores já plantadas nas cidades e, principalmente, com a obediência às normas e critérios para podar, remover ou substituir uma árvore.

Ainda que o *framework* indique a utilização de TIC para dar suporte aos procedimentos da segunda camada, a última parte do questionário buscou avaliar questões específicas da utilização de sistemas de informação no âmbito da arborização de vias públicas. A indicação “gerenciar o inventário de árvores urbanas por meio de um sistema de informação” mostrou-se relevante, com 4 (31%) e 8 (62%) respostas classificando-o, respectivamente, como relevante e muito relevante. O penúltimo item elencado para o *framework* foi considerado muito relevante por 85% dos especialistas e diz respeito ao registro de atividades de implantação e manutenção, como plantio e poda, utilizando sistemas de informação. Notadamente, na última parte do questionário, o item que diz respeito a participação do cidadão nos processos decisórios sobre a arborização urbana teve menor indicação de relevância comparado aos dois itens anteriores, com 54% dos especialistas considerando-o muito relevante e 38% considerando-o relevante. Ainda, para o último item, houve uma resposta indicando-o como pouco relevante. A Figura 12 apresenta o framework com destaque em vermelho para os procedimentos considerados mais

Figura 12 – Framework: camada de procedimentos para arborização de vias públicas



Em conclusão a esta seção, destaca-se, como demonstrado pelos resultados, que as respostas dos especialistas, na generalidade, corroboraram com ambas as estruturas apresentadas pelo *framework*.

## 4.2 Aplicação Web e Aplicativo Móvel

O Verdejar é uma aplicação desenvolvida para auxiliar a gestão da arborização urbana, sobretudo, possibilitando que o cidadão participe ativamente dos processos de tomada de decisão, fornecendo informações sobre as árvores do município e o seu estado. A aplicação conta com um aplicativo móvel e um módulo web administrativo.

A aplicação web e o aplicativo móvel foram desenvolvidos como complemento ao framework apresentado, com o objetivo de atestar a aplicabilidade de alguns conceitos. Todas as interfaces gráficas desenvolvidas para os *softwares* estão no Apêndice D.

Conforme já dito, o aplicativo móvel possui funcionalidades que permitem que o cidadão se aproxime da gestão da arborização urbana, possibilitando o registro de requisições de serviços acerca das árvores da cidade para um órgão responsável. Seguem abaixo as descrições das funcionalidades desenvolvidas para o aplicativo:

- A) O aplicativo permite a autenticação de usuário por meio de um e-mail e uma senha previamente cadastrados. Além disso, o aplicativo permite a entrada do usuário utilizando uma conta *google*. Caso o usuário ainda não possua um cadastro ativo, é possível fazê-lo informando os dados cadastrais necessários, como nome, e-mail e senha.
- B) O aplicativo permite a recuperação de senha. O usuário pode informar o seu e-mail de cadastro para iniciar o processo de recuperação.
- C) A tela inicial exibe as solicitações realizadas pelo usuário acerca da manutenção da arborização urbana do município. Por meio dessa tela também é possível acessar outras telas, como a tela de cadastro de nova solicitação de serviço.
- D) No aplicativo é possível visualizar as espécies de árvores disponíveis. Essas espécies são cadastradas no inventário de árvores digital da cidade por um usuário habilitado no módulo web administrativo da aplicação.



- E) Assim como as árvores, o aplicativo apresenta os tipos de solos disponíveis. Os tipos de solo são cadastrados por um usuário habilitado no módulo web administrativo da aplicação, conforme as especificidades do meio urbano.
- F) O primeiro passo para solicitar um serviço é informar a localização da árvore referente a requisição do usuário. Além da localização, é necessário informar a espécie da árvore, o tipo de solo, serviço requerido (poda, remoção, plantio etc.) e um comentário com alguma informação complementar. Caso o usuário não saiba informar a espécie da árvore e o tipo de solo, é possível selecionar a opção “não sei identificar”. Para finalizar o cadastro é necessário selecionar uma imagem da árvore referente a solicitação. A imagem pode ser selecionada da galeria de imagens do dispositivo móvel ou obtida por meio da utilização da câmera fotográfica.
- G) O aplicativo permite que o usuário visualize quais são as requisições de serviço que estão abertas e quais já foram concluídas.
- H) O aplicativo permite que o usuário avalie o atendimento prestado em relação as solicitações de serviços já concluídas. Para isso, o aplicativo usa um sistema de avaliação no qual o usuário confere nota ao atendimento em uma escala de 1 a 5.

Destaca-se que as funcionalidades do aplicativo refletem, em partes, conceitos que foram apresentados no *framework* desenvolvido. Além de possibilitar que o cidadão se aproxime dos processos decisórios da cidade, conceito atrelado a implantação de cidades inteligentes e sustentáveis, o aplicativo também possui tecnologias como armazenamento em nuvem, banco de dados em tempo real, integração com mapas e gps, dentre outras implementações.

Como sobredito, além do aplicativo móvel, uma aplicação web, considerada um módulo para os gestores e administradores, foi desenvolvida. A aplicação web tem como função gerenciar o inventário de árvores e solos e, primordialmente, responder as requisições dos cidadãos acerca dos serviços de arborização urbana solicitados. Seguem abaixo as descrições das funcionalidades desenvolvidas para o a aplicação web:

- A) Assim como no aplicativo, é necessário fazer a autenticação de usuário

para utilizar o módulo web administrativo.

B) Por meio da tela inicial é possível acessar outras telas da aplicação e visualizar o mapeamento das solicitações realizadas pelos usuários do aplicativo.

C) Para cadastrar um usuário é preciso informar seu nome completo e e-mail. Além disso, é possível habilitar esse usuário como sendo administrador da aplicação. Um usuário padrão possui acesso apenas ao aplicativo, enquanto o administrador pode acessar o módulo web. Ainda, caso o usuário deseje, é possível selecionar uma foto para o seu perfil.

D) A aplicação apresenta a listagem do inventário de árvores do município. É possível cadastrar novas árvores, editar ou excluir as existentes. Para cadastrar uma árvore é preciso informar sua descrição, espécie, imagem da árvore e, caso necessário, uma observação.

E) A aplicação apresenta a listagem dos serviços disponibilizados para as solicitações dos usuários do aplicativo. É possível cadastrar novos serviços, editar ou excluir os existentes.

F) A aplicação permite visualizar as avaliações feitas pelos usuários do aplicativo. Avaliação fica atrelado ao funcionário que a respondeu no módulo web.

Reitera-se, que ambas as aplicações atestaram a viabilidade da aplicação de conceitos e tecnologias sugeridas pelos expostos no framework desenvolvido.

#### 4.2.1 Validação das aplicações

Um grupo focal foi conduzido para validar a utilidade e a aderência aos conceitos do framework da aplicação web e do aplicativo móvel. Para tal, o grupo focal foi dividido em dois encontros. O primeiro foi realizado com o secretário de meio ambiente do município de Pato Branco e outros profissionais da secretaria. Os participantes do segundo grupo constituíram-se de mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR).

A realização do primeiro grupo focal teve como objetivo validar, sobretudo, a utilização da aplicação web, considerada um módulo para gestores. Ainda assim,

opiniões sobre o aplicativo também foram consideradas. Esse grupo contou com a participação de 5 membros profissionais ligados a secretaria do meio ambiente de Pato Branco. Antes da avaliação das aplicações, o mediador conduziu uma apresentação sobre os objetivos da pesquisa, o desenvolvimento do framework e os *softwares* desenvolvidos. Este encontro teve como objetivo elucidar as seguintes questões:

1. A aplicação pode auxiliar os processos de gestão da arborização urbana?

1.1 – Manter um inventário digital das árvores da cidade pode auxiliar os processos de gestão da arborização urbana?

1.2 – Manter o registro dos solos da cidade pode auxiliar os processos de gestão da arborização urbana?

1.3 – Georreferenciar as árvores da cidade podem auxiliar os processos de gestão da arborização urbana?

1.4 – Permitir que os cidadãos da cidade forneçam informações sobre as árvores e seu estado pode auxiliar os processos de gestão da arborização urbana?

2. A aplicação demonstra a aplicabilidade dos conceitos de cidades inteligentes e sustentáveis sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação?

3. A aplicação reflete – parcialmente – a aplicabilidade dos conceitos apresentados na camada conceitual do framework orientado à gestão da arborização de vias públicas?

4. De modo geral, considerando que a aplicação ainda é um protótipo, você recomendaria alguma adição, exclusão ou alteração de funcionalidade?

Os participantes do grupo demonstraram concordância com a maior parte dos itens discutidos. O secretário do meio ambiente, participante do grupo, relatou que a aplicação poderia ajudar a colocar em prática alguns dos elementos previstos para o planejamento acerca da arborização da cidade. Foi destacado pelos participantes a capacidade do aplicativo de integração com mapas e a utilização de geolocalização. Na visão dos participantes, a utilização de aplicações que possibilitem o georreferenciamento das árvores da cidade é um fator crítico para a gestão da arborização de vias públicas. Também foi mencionado que, atualmente, as requisições sobre serviços relativos à arborização são feitas, geralmente, por telefone. O gerenciamento das solicitações feitas por telefone poderia ser otimizado se substituído por um aplicativo, visto que auxiliaria o processo de requisição e

permitiria maior organização e transparência quanto a realização das solicitações de serviços.

Além disso, os participantes do grupo afirmaram que o manter um cadastro de solos onde as árvores estão plantadas não é um fator muito relevante. Sendo assim, eles sugeriram a substituição dessa função por outra que pudesse permitir o cadastro de características do meio urbano como “árvore plantada embaixo de fiação elétrica”. Neste momento, o mediador explicou que a aplicação foi desenvolvida para ser facilmente escalável e flexível e, portanto, a adição ou alteração de uma função seria possível.

Especificamente, sobre o inventário de árvores, foi mencionado pelo mediador que, caso os gestores necessitassem, a ferramenta já estaria preparada para cadastrar árvores em seu inventário digital com a informação de etiquetas. As etiquetas permitiram cadastrar e identificar individualmente cada árvores da cidade.

Por fim, os participantes elencaram uma funcionalidade que poder ser adicionada ao aplicativo: utilização *offline* e posterior sincronização de dados *online*. Essa sugestão se deu em razão de algumas regiões da cidade não possuírem acesso à internet, seja por redes *wi-fi* ou redes de telefonia móvel.

O segundo grupo, constituído por doutorandos e mestrados, teve como objetivo avaliar o aplicativo móvel, sob a perspectiva do usuário em uma cidade que adotasse a solução tecnológica. Este encontro buscou discutir as seguintes questões:

1. Sob a perspectiva da arborização urbana, você acha que a aplicação pode aproximar os cidadãos dos processos de tomada de decisão da cidade?
  - 1.1 Você considera relevante ter uma aplicação por meio da qual um cidadão possa fornecer informações sobre a cidade para os gestores públicos?
  - 1.2 Você considera relevante o acesso a tecnologias que proporcionem a participação dos cidadãos da cidade nos processos decisórios?
2. Qual a sua percepção sobre a utilidade dessa aplicação?
3. Qual a sua percepção sobre a facilidade de uso dessa aplicação?
4. Você utilizaria essa aplicação?
5. De modo geral, considerando que a aplicação ainda é um protótipo, você recomendaria alguma adição, exclusão ou alteração de funcionalidade?

Assim como no primeiro grupo, o segundo teve acesso, pelo mediador, a uma apresentação sobre os objetivos da pesquisa, o framework desenvolvido e os

*softwares.*

Após a apresentação, os participantes fizeram alguns testes em tempo real com o aplicativo. Todos os participantes já haviam instalado o aplicativo em seus celulares antes do início da reunião do grupo focal e, além dos testes durante a reunião, já haviam feito outros testes ao longo do dia. Depois da realização dos testes, os participantes do grupo não relataram erros em nenhuma das funcionalidades.

Durante a discussão todos os participantes demonstraram concordância acerca das questões supracitadas que foram norteadoras da reunião. Todavia, quanto a facilidade de uso, alguns participantes relataram que o nível de acessibilidade e usabilidade do aplicativo, embora aprovado por eles, pode dificultar seu uso por pessoas idosas ou que tenham baixa instrução. Neste caso, foi sugerido que o aplicativo tivesse uma espécie de guia para a requisição de serviços que iniciasse por uma pergunta como “qual o meu problema” e, a partir dela, sugerisse passos para completar a solicitação de um novo serviço.

Os participantes relataram que utilizariam o aplicativo e confirmaram sua utilidade, assim como a facilidade de uso. Todavia, ressaltaram que, para que o uso fosse disseminado para o resto da população, os gestores públicos de cidade deveriam criar políticas públicas que visassem a conscientização sobre o tema da arborização pública e que promovam a instrução de pessoas que possam ter dificuldade na utilização de aplicações desse tipo.

## 5 CONCLUSÃO

A preocupação com a dimensão ambiental é parte crítica da gestão de cidades inteligentes e sustentáveis. Após o advento do conceito de CIS, pesquisadores têm centrado esforços para compreender o papel da tecnologia da informação e comunicação – consideradas tecnologias habilitadoras – como suporte a operacionalização da gestão ambiental nas cidades. Especificamente, essa busca tem produzido oportunidades para otimizar processos relativos à arborização urbana, como monitoramento e gerenciamento digital do inventário de árvores e das atividades de manutenção da constituição arbórea da cidade.

Para compreender os fatores supracitados, uma revisão sistemática da literatura foi realizada para identificar os fatores críticos relativos à gestão da arborização de vias públicas, sendo eles: observação de critérios para escolha de espécies para arborização urbana; definição criteriosa dos locais de plantio; e atividades de manutenção. Além disso, buscou-se estabelecer relações entre esses fatores e sua implementação sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação, no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis. As relações evidenciadas são construídas, sobretudo, pelo uso de sistemas de informação, internet das coisas e aplicativos móveis.

Com o objetivo de criar um *framework* orientado à gestão da arborização de vias públicas, os conceitos derivados da literatura foram utilizados para criar a base conceitual da estrutura. O *framework* apresenta processos, práticas, atores e TICs aderentes à gestão da arborização de vias públicas nas CIS. O *framework* foi desenvolvido abrangendo duas camadas, uma camada conceitual com a descrição da base tecnológica e uma camada operacional com indicações de procedimentos para o planejamento, implantação e manutenção da arborização de vias públicas. As camadas abarcam tecnologias como sensoriamento, armazenamento de dados, sistemas de informação e aplicativos móveis. Além disso, o *framework* sugere o envolvimento de atores como gestores, profissionais da arborização de vias públicas e usuários finais (cidadãos).

Após o desenvolvimento, o *framework* foi validado por especialistas por meio do método Delphi. Um questionário, com perguntas fechadas e abertas, foi enviado para dois grupos de especialistas nos temas arborização urbana, cidades inteligentes e sustentáveis e tecnologia da informação e comunicação. Ambos os

grupos demonstraram pelas respostas corroborarem com a estrutura e componentes apresentados no *framework*. Como resultado das contribuições dos especialistas consultados, um novo componente foi adicionado a camada conceitual do *framework* e os itens considerados mais relevantes de ambas as camadas foram destacados em vermelho.

Além do *framework*, uma aplicação web e um aplicativo móvel foram desenvolvidos para atestar a aplicabilidade de alguns conceitos apresentados nesta pesquisa. Os softwares foram avaliados por usuários em um grupo focal dividido em dois encontros. O primeiro encontro envolveu profissionais da secretaria do meio ambiente de Pato Branco - PR, enquanto o segundo foi realizado com mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR). Ambos os grupos demonstraram significativa aceitação aos softwares e as discussões propostas nas reuniões. As aplicações desenvolvidas podem embasar a criação de outras soluções tecnológicas que busquem resolver problemas o mesmo domínio.

Ainda que tenha alcançado os objetivos propostos, esta pesquisa possui algumas limitações. Pelo tempo limite de condução da pesquisa não houve tempo hábil para implementar e testar o *framework* em um cenário empírico da gestão da arborização de vias públicas. Destaca-se o mesmo para os softwares desenvolvidos que não puderam ser submetidos a uma experiência piloto longitudinal.

Esta pesquisa objetivou contribuir para uma melhor compreensão acerca dos fatores da gestão da arborização urbana que podem ser otimizados pela aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis. Os resultados podem subsidiar gestores municipais na criação e operacionalização de políticas públicas, como parte da gestão ambiental das cidades no âmbito da arborização de vias públicas, utilizando tecnologias da informação e comunicação. Ademais, espera-se que a pesquisa contribua com a literatura no entendimento do conceito difuso de cidades inteligentes e sustentáveis e sua correlação com a dimensão ambiental, a arborização urbana e as tecnologias habilitadoras.

Como trabalhos futuros para a continuidade desta pesquisa, sugere-se a realização de um estudo de caso longitudinal para atestar empiricamente a aplicação do *framework* para a gestão de arborização de vias públicas em um município. Assim, será possível avaliar a viabilidade prática da implantação dos elementos

preconizados pelo framework. Além disso, com base nos resultados do grupo focal, objetiva-se alterações e adições aos *softwares* desenvolvidos.



## REFERÊNCIAS

- AHVENNIEMI, H. *et al.* What are the differences between sustainable and smart cities? **Cities**, v. 60, p. 234 – 245, 2017
- ALAVI, A. H. *et al.* Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, Elsevier, v. 129, n. June, p. 589 – 606, 2018. ISSN 02632241. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.067>.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 3 –21, 2015.
- ANDRACHUK, M. *et al.* Smartphone technologies supporting community-based environmental monitoring and implementation: a systematic scoping review. **Biological Conservation**, v. 237, p. 430 – 442, 2019. ISSN 0006-3207. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320719305816>.
- ASGHARI, P.; RAHMANI, A. M.; JAVADI, H. H. S. Internet of Things applications: A systematic review. **Computer Networks**, v. 148, p. 241 – 261, 2019. ISSN 1389-1286.
- BACHENDORF, C. *et al.* CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS: UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVADAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE PATO BRANCO -PR. **IGepec**, v. 23, n. 1, p. 29 – 50, Janeiro 2019.
- BACKES, D. S. *et al.* The focal group as a technique for data collection and analysis in qualitative research. **Mundo da Saude**, v. 35, n. 4, p. 438 – 442, 2011. ISSN 19803990.
- BAR-ILAN, J. Which h-index? - A comparison of WoS, Scopus and Google Scholar. **Scientometrics**, v. 74, n. 2, p. 257 – 271, 2008.
- BARCELLOS, A. *et al.* **Manual para elaboração do plano municipal de arborização urbana**. [S.l.: s.n.], 2018. ISBN 9788568772232.
- BARONA, C. O. *et al.* Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier, v. 47, n. November 2019, 2020. ISSN 16108167. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544>.
- BECKETT, K.; FREER-SMITH, P.; TAYLOR, G. The capture of particulate pollution by trees at five contrasting UK urban sites. **Arboricultural Journal**, v. 24, 2000a.
- BECKETT, K. P.; FREER-SMITH, P.; TAYLOR, G. Effective Tree Species for Local Air-Quality Management. **Journal of Arboriculture**, v. 26, n. 1, p. 13 – 19, 2000b.

BECKETT, K. P.; FREER-SMITH, P. H.; TAYLOR, G. Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution. **Environmental Pollution**, v. 99, n. 3, p. 347 –360, 1998. ISSN 02697491.

BEDNARSKA-OLEJNICZAK, D.; OLEJNICZAK, J.; SVOBODOVA, L. Towards a Smart and Sustainable City with the Involvement of Public Participation-The Case of Wroclaw. **SUSTAINABILITY**, v. 11, n. 2, jan 2019. ISSN 2071-1050.

BETIOL, L. S.; UEHARA, T. H. K. **Compra sustentável: A força do consumo público e empresarial para uma economia verde e inclusiva.** [S.l.: s.n.], 2012. ISBN 9788587426208.

BIBRI, S. E. A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies. **Sustainable Cities and Society**, v. 38, p. 758 – 794, 2018a. ISSN 2210-6707.

BIBRI, S. E. The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier, v. 38, n. December 2017, p. 230 – 253, 2018b. ISSN 22106707. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>.

BIBRI, S. E.; KROGSTIE, J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. **Sustainable Cities and Society**, v. 31, p. 183 – 212, 2017. ISSN 2210-6707.

BICAN, P. M.; BREM, A. Digital Business Model, Digital Transformation, Digital Entrepreneurship: Is there a sustainable “digital”? **Sustainability (Switzerland)**, MDPI, v. 12, 7 2020. ISSN 20711050.

BIONDI, D. **Floresta urbana: conceitos e terminologias.** Curitiba: A Autora, 2015.

BIONDI, D.; ALTHAUS, M. **Árvores de rua de Curitiba: cultivo e manejo.** Curitiba: FUPEF, 2005.

BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. (2015). Gestão da Arborização de Ruas-Estudo de Caso na Cidade de Curitiba, PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 9, n. 4, p. 132-150.

BOBROWSKI, R.; FERREIRA, R. L. C.; BIONDI, D. DESCRIÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS POR MEIO DE DIFERENTES FORMAS DE EXPRESSÃO DA DOMINÂNCIA E DA DENSIDADE. **Ciência Florestal**, p. 1167 – 1178, 2016. ISSN 0103-9954.

BRASIL. **LEI nº 10.257.** 2001.

BRYMAN, A.; BELL, E. **Business Research Methods.** 3. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 2011.

BURNHAM, J. F. Scopus database: A review. **Biomedical Digital Libraries**, v. 3, 2006.

CAMAGNI, R. Lo sviluppo urbano sostenibile: Le ragioni e i fondamenti di un programma di ricerca. **Economia e Pianificazione Della Città Sostenibile**, p. 13 – 51, 1996.

CAMAGNI, R.; CAPELLO, R.; NIJKAMP, P. Towards sustainable city policy: An economy-environment technology nexus. **Ecological Economics**, v. 24, n. 1, p. 103– 118, 1998.

CARAGLIU, A.; BO, C. del; NIJKAMP, P. Smart cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, v. 18, n. 2, p. 65 – 82, 2011. ISSN 10630732.

CASTELNOVO, W.; MISURACA, G.; SAVOLDELLI, A. Smart Cities Governance: The Need for a Holistic Approach to Assessing Urban Participatory Policy Making. v. 34, n. 6, p. 724 – 739, 12 2016. Acesso em: 2020-02-27T00:00:00+00:00.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. *et al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Elsevier, 2018. ISBN 9788535291346. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=JO1oDwAAQBAJ>.

CHEN, M.; LIU, W.; LU, D. Challenges and the way forward in China's new-type urbanization. **Land Use Policy**, v. 55, p. 334 – 339, 2016. Cited By 201. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84938231320&doi=10.1016%2Fj.landusepol.2015.07.025&partnerID=40&md5=cc5e541872e4ce4815edccf2015c32fb>.

CHOURABI, H. *et al.* Understanding smart cities: An integrative framework. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, n. January, p. 2289 – 2297, 2012. ISSN 15301605.

COCCHIA, A. **Smart and Digital City: A Systematic Literature Review**. In: Dameri R., Rosenthal-Sabroux C. (eds) *Smart City*. [s.n.], 2014. ISBN 978-3-319-06159-7. Disponível em: <http://www.springer.com/series/10440>.

COHEN, B. Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. **Technology in Society**, v. 28, n. 1-2, p. 63 – 80, 2006. Cited By 899.

CRUMPTON, C. D. *et al.* Assessing the ASEAN Smart Cities Network (ASCN) via the Quintuple Helix Innovation Framework, with Special Regard to Smart City Discourse, Civil Participation, and Environmental Performance. **International Journal of Urban Sustainable Development**, v. 13, n. 1, p. 97 – 116, 2021.

DAMERI, R. P. Searching for Smart City definition: a comprehensive proposal. **International Journal of Computers & Technology**, v. 11, n. 5, p. 2544 – 2551, 2013.

DAMERI, R. P.; COCCHIA, A. Smart City and Digital City : Twenty Years of Terminology Evolution. **X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS 2013**, p. 1 – 8, 2013.

DIAS, A.; LIEBSCHER, S. GRUPO FOCAL: técnica de coleta de dados em

pesquisas qualitativas. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 10, n. 2, p. 1 – 12, 2000. ISSN1809-4783.

DIN, I. U. *et al.* Machine learning in the Internet of Things: Designed techniques for smart cities. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier B.V., v. 100, p. 826 – 843, 2019. ISSN 0167739X.

FALAGAS, M. E. *et al.* Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses. **FASEB Journal**, v. 22, n. 2, p. 338 – 342, 2008

FERNANDES, V., ANDREOLI, C., BRUNA, G., PHILIPPI Jr, A. (2021). History and Evolution of the Environmental Management System in Brazil. *Historia Ambiental Latinoamericana Y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, 11(2), 275-310. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2021v11i2.p275-310>

GAUR, A. *et al.* Smart city architecture and its applications based on IoT. **Procedia Computer Science**, Elsevier Masson SAS, v. 52, n. 1, p. 1089 – 1094, 2015. ISSN 18770509.

GIBSON, D. V.; DEARING, J. W. Technopoleis: Themes and Conclusions. **The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, and Global Networks.**, 1993.

GIFFINGER, R. *et al.* City-ranking of European medium-sized cities. n. October, 2007.

GIFFINGER, R.; GUDRUN, H. Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? **ACE: architecture, city and environment**, v. 4, n. 12, p. 7 – 26, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. [S.l.]: Atlas, 2008.

GIRARD, L. F.; LOMBARDI, P.; NIJKAMP, . **International journal of services technology and management**, v. 12, p. 111 – 115, 2009.

GIRARDI, P.; TEMPORELLI, A. Smartainability: A Methodology for Assessing the Sustainability of the Smart City. **Energy Procedia**, v. 111, p. 810 – 816, 2017. ISSN 1876-6102.

HAALAND, C.; BOSCH, C. K. van den. Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier GmbH., v. 14, n. 4, p. 760 – 771, 2015. ISSN 16108167. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>.

HAASE, D. *et al.* Greening cities – To be socially inclusive? About the alleged paradox of society and ecology in cities. **Habitat International**, v. 64, p. 41 – 48, 2017.

HALL, P. Creative cities and economic development. **Urban Studies**, v. 37, n. 4, p. 639 – 649, 2000. ISSN 00420980.

HAMMI, B. *et al.* IoT technologies for smart cities. **IET Networks**, v. 7, n. 1, p. 1 – 13, 2018. ISSN 20474962.

HATUKA, T. *et al.* The Political Premises of Contemporary Urban Concepts: The Global City, the Sustainable City, the Resilient City, the Creative City, and the Smart City. **Planning Theory and Practice**, v. 19, n. 2, p. 160 – 179, 2018.

HÖJER, M.; WANGEL, J. Smart sustainable cities: Definition and challenges. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 310, p. 333 – 349, 2014.

IBGE. **IBGE - População do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 05 jun 2021.

ISMAGILOVA, E. *et al.* Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. **International Journal of Information Management**, v. 47, p. 88– 100, 2019.

JIN, J. *et al.* An information framework for creating a smart city through internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 1, n. 2, p. 112 – 121, 2014. ISSN 23274662.

JONG, M. D. *et al.* Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; Making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 25 – 38, 2015.

KOMNINOS, N. Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence. **Intelligent Buildings International**, v. 3, n. 3, p. 172 – 188, 2011. ISSN 17508975.

KONIJNENDIJK, C. C. *et al.* Defining urban forestry - A comparative perspective of North America and Europe. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 4, n. 3-4, p. 93 – 103, 2006. ISSN 16108167.

KOURTIT, K.; NIJKAMP, P. Smart cities in the innovation age INTRODUCTION. **Innovation-the European Journal of Social Science Research - INNOVATION**, v. 25, p.93 – 95, 2012.

KOURTIT, K.; NIJKAMP, P. Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities – An experiment on stockholm. **Land Use Policy**, v. 71, p. 24 – 35, 2018. ISSN 0264-8377.

KOURTIT, K.; NIJKAMP, P.; ARRIBAS, D. Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, Routledge, v. 25, n. 2, p. 229 – 246, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13511610.2012.660330>.

KUNEN, Adriana. **Análise das áreas verdes do município de Pato Branco - PR, e suas relações com as mudanças urbanísticas e ambientais**. 2018. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

LEWIS, D. Urban forestry: Management for local authorities. **Arboricultural Journal**, v. 15, n. 3, p. 265 – 277, 1991. ISSN 21681074.

LI, F. *et al.* How smart cities transform operations models: A new research agenda for operations management in the digital economy. **Production Planning and Control**, Taylor and Francis Ltd., v. 27, p. 514 – 528, 4 2016. ISSN 13665871.

LI, X. *et al.* Remote sensing in urban forestry: Recent applications and future directions. **Remote Sensing**, v. 11, n. 10, 2019. ISSN 20724292.

LIM, C.; CHO, G.; KIM, J. Understanding the linkages of smart-city technologies and applications: Key lessons from a text mining approach and a call for future research. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 170, 2021. ISSN 0040-1625.

LIMA, T. C. S. de; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálysis**, v. 10, n. spe, p. 37–45, 2007. ISSN 1414-4980.

LOMBARDI, P. *et al.* Modelling the smart city performance. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, Routledge, v. 25, n. 2, p. 137 – 149, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13511610.2012.660325>.

LU, H. P.; CHEN, C. S.; YU, H. Technology roadmap for building a smart city: An exploring study on methodology. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier B.V., v. 97, p. 727– 742, 2019. ISSN 0167739X.

MACHADO JUNIOR, C. *et al.* Do Brazilian cities want to become smart or sustainable? **Journal of Cleaner Production**, Elsevier Ltd, v. 199, p. 214 – 221, 2018. ISSN 09596526. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.072>.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 346 p.

MARSAL-LLACUNA, M.; COLOMER-LLINÀS, J.; MELÉNDEZ-FRIGOLA, J. Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 90, p. 611 – 622, 2015. ISSN 0040-1625.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. A INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE FLORESTA URBANA NO MICROCLIMA DO ENTORNO IMEDIATO. **Ciência Florestal**, v. 28, n. n. 3, p. 997 – 1007, jul.-set. 2018.

MERGEL, I.; EDELMANN, N.; HAUG, N. Defining digital transformation: Results from expert interviews. **Government Information Quarterly**, Elsevier Ltd, v. 36, 10 2019. ISSN 0740624X.

MILANO, M. S. Métodos de amostragem para avaliação de arborização de ruas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA**. São Luís: [s.n.], 1994. p. 163– 168.

MINCEY, S. K. *et al.* Structuring institutional analysis for urban ecosystems: A key to sustainable urban forest management. **Urban Ecosystems**, v. 16, p. 553 – 571, 9 2013. ISSN 10838155.

MITCHELL, B. **Resource and Environmental Management**. 2. ed. Londres: Routledge, 2013. 392 p. ISBN 9781315847771.

MOHAMUDALLY, N.; ARMOOGUM, S. Citizen empowerment in newly born smart cities in Mauritius. In: . [S.l.: s.n.], 2019.

MORA, H. *et al.* A comprehensive system for monitoring urban accessibility in smart cities. **Sensors (Switzerland)**, v. 17, n. 8, p. 1 – 26, 2017. ISSN 14248220.

MORGENROTH, J. *et al.* Urban tree diversity-Taking stock and looking ahead. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier GmbH, v. 15, p. 1 – 5, 2016. ISSN 16108167

MORGAN, D. L. **The focus group guidebook**. Sage publications, 1998

NADKARNI, S.; PRÜGL, R. Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research. **Management Review Quarterly**, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, v. 71, p. 233 – 341, 4 2021. ISSN 21981639.

NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. **ACM International Conference Proceeding Series**, n. February 2014, p. 282 – 291, 2011.

NITOSLAWSKI, S. A. *et al.* Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier B.V., v. 51, 2019. ISSN 22106707. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101770>.

NOWAK, D. J. *et al.* A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 34, n. 6, p. 347 – 358, 2008. ISSN 02785226.

NOWAK, D. J. *et al.* Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. **Environmental Pollution**, v. 193, p. 119 – 129, 2014. ISSN 18736424.

NOWAK, D. J. *et al.* Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier, v. 29, n. October 2017, p. 40 – 48, 2018. ISSN 16108167. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.

NOWAK, D. J. *et al.* Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. **Urban Ecosystems**, v. 19, n. 4, p. 1455 – 1477, 2016. ISSN 15731642.

NOWAK, D. J. *et al.* Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. **Journal of Arboriculture**, v. 28, n. 3, p. 113 – 122, 2002. ISSN 02785226.

OCDE. **A territorial approach to the Sustainable Development Goals in Paraná, Brazil**. Paris, 2021.

ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 05 jun 2021.

O'RIORDAN, T. **Environmental Science for Environmental Management**. 2. ed. Londres:Routledge, 2014. 538 p. ISBN 9781315839592.

ORLOWSKI, A.; ROMANOWSKA, P. **Smart Cities Concept: Smart Mobility**

Indicator. **Cybernetics and Systems**, Taylor & Francis, v. 50, n. 2, p. 118 – 131, 2019. ISSN 10876553. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01969722:2019:1565120>.

PARDO-GARCIA, N. *et al.* Sustainable and Resource Efficient Cities platform – SureCity holistic simulation and optimization for smart cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 701 – 711, 2019.

PARK, E.; POBIL, A. P. del; KWON, S. J. The role of Internet of Things (IoT) in smart cities: Technology roadmap-oriented approaches. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 5, p. 1 – 13, 2018. ISSN 20711050.

PLATTS, K. W. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, MCB UP Ltd, v. 13, n. 8, p. 4 – 17, jan 1993. ISSN 0144-3577.

PLATTS, K. W. *et al.* Testing manufacturing strategy formulation processes. **International Journal of Production Economics**, v. 56-57, p. 517 – 523, 1998.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PUIU, D. *et al.* CityPulse: Large Scale Data Analytics Framework for Smart Cities. **IEEE Access**, v. 4, p. 1086 – 1108, 2016.

RANA, M. Urbanization and sustainability: Challenges and strategies for sustainable urban development in Bangladesh. **Environment, Development and Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 237 – 256, 2011. Cited By 77.

RASHID, Z. *et al.* Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities. **Future Generation Computer Systems**, v. 76, p. 248 – 261, 2017. ISSN 0167739X.

RATHORE, M. M. *et al.* Exploiting IoT and big data analytics: Defining Smart Digital City using real-time urban data. **Sustainable Cities and Society**, Elsevier B.V., v. 40, p. 600 – 610, 2018. ISSN 22106707.

REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods>. Acesso em: 22 abr 2019.

ROCHA SALLES, Fernanda *et al.* Social capital in a social network: Curitiba, a city for cars. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 57, n. 4, p. 519-530, 2022.

ROY, S.; BYRNE, J.; PICKERING, C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier GmbH., v. 11, n. 4, p. 351 – 363, 2012. ISSN 16188667.

RUSSO, G. L. *et al.* Mendeley: An easy way to manage, share, and synchronize papers and citations. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 131, n. 6, p. 946e– 947e, 2013.

SANCHEZ, L. *et al.* SmartSantander: IoT experimentation over a smart city



testbed. **Computer Networks**, Elsevier B.V., v. 61, p. 217 – 238, 2014. ISSN 13891286. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2013.12.020>.

SANTANA, E. F. Z. *et al.* Software platforms for smart cities: Concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture. **ACM Computing Surveys**, v. 50, n. 6, 2017. ISSN 15577341.

SCHLEICHER, J. M. *et al.* Application Architecture for the Internet of Cities: Blueprints for Future Smart City Applications. **IEEE Internet Computing**, v. 20, n. 6, p. 68 – 75, 2016. ISSN 10897801.

SHIN, T. Using Delphi for a Long-Range Technology Forecasting, and Assessing Directions of Future R&D Activities: The Korean Exercise. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 58, n. 1-2, p. 125 – 154, 1998.

SIKDER, A. K. *et al.* IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. **2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2018**, v. 2018-Janua, p. 639 – 645, 2018.

SILVA, B. N.; KHAN, M.; HAN, K. Big data analytics embedded smart city architecture for performance enhancement through real-time data processing and decision-making. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 2017, 2017.

SILVA, B. N.; KHAN, M.; HAN, K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 38, p. 697 – 713, 2018.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. Metodologia Da Pesquisa E Do Trabalho. **Ufsc**, n. January, 2014.

SKINNER, R. *et al.* The Delphi method research strategy in studies of information systems. **Communications of the Association for Information Systems**, Association for Information Systems, v. 37, p. 31 – 63, 2015. ISSN 15293181.

SKULMOSKI, G. J.; HARTMAN, F. T.; KRAHN, J. The Delphi Method for Graduate Research. **Journal of Information Technology Education**, v. 6, p. 1 – 21, 2007.

STEURER, J. The Delphi method: An efficient procedure to generate knowledge. **Skeletal Radiology**, v. 40, n. 8, p. 959 – 961, 2011. ISSN 03642348.

SU, K.; LI, J.; FU, H. Smart city and the applications. **2011 International Conference on Electronics, Communications and Control, ICECC 2011 - Proceedings**, p. 1028 – 1031, 2011.

TASOULAS, E. *et al.* Development of a GIS Application for Urban Forestry Management Planning. **Procedia Technology**, Elsevier B.V., v. 8, n. April 2014, p. 70 – 80, 2013. ISSN 22120173.

TENOPIR, C. *et al.* Academic users' interactions with ScienceDirect in search tasks: Affective and cognitive behaviors. **Information Processing and Management**, v. 44, n. 1, p. 105 – 121, 2008.

THUZAR, M. Urbanization in Southeast Asia: Developing smart cities for the future? In: THUZAR, M. (Ed.). **Regional Outlook**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 96 – 100. ISBN 9789814311694.

TOMIĆ, PUPEK, K.; PIHIR, I.; FURJAN, M. T. Smart City initiatives in the context of digital transformation - scope, services and technologies. **Management (Croatia)**, University of Split - Faculty of Economics, v. 24, p. 39 – 54, 2019. ISSN 18463363

UÇAR, Z.; AKAY, A. E.; BILICI, E. Towards green smart cities: Importance of Urban forestry and urban vegetation. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 44, n. 4/W3, p. 399 – 403, 2020. ISSN 16821750.

UN. **World Population Prospects 2019: Highlights**. Nova Iorque, 2019.

URBAN SYSTEMS. **Ranking Connected Smart Cities 2021**. 2021. Disponível em: <https://ranking.connectedsmartcities.com.br>. Acesso em: 10 set de 2021.

VERHOEF, P. C. et al. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. **Journal of Business Research**, Elsevier Inc., v. 122, p. 889 – 901, 1 2021. ISSN 01482963.

WASHBURN, D.; SINDHU, U. Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives. **Growth**, 2009.

YANG, J. *et al.* The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 3, n. 2, p. 65 – 78, 2005. ISSN 16108167.

YIGITCANLAR, T. *et al.* Understanding ‘smart cities’: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. **Cities**, v. 81, p. 145 – 160, 2018.

ZHANG, X. The trends, promises and challenges of urbanisation in the world. **Habitat International**, v. 54, p. 241 – 252, 2016. Cited By 94.

ZHENG, Y. *et al.* Visual sensitivity versus ecological sensitivity: An application of GIS in urban forest park planning. **Urban Forestry and Urban Greening**, Elsevier GmbH., v. 41, p. 139 – 149, 2019. ISSN 16108167. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.010>.

**APÊNDICE A – DEFINIÇÕES DE CIDADES  
INTELIGENTES**

**Quadro 11 – Definições de cidades inteligentes (expandido)**

Definição	Origem
Uma cidade que monitora as condições de todas as suas principais infraestruturas e recursos, incluindo: estradas, pontes, túneis, metrô, aeroportos, portos marítimos, comunicações, água, energia e até mesmo alguns edifícios importantes. Essas cidades podem otimizar a utilização de recursos, planejar suas atividades de manutenção preventiva e monitorar aspectos de segurança, melhorando os serviços para seus cidadãos.	Hall (2000)
A cidade inteligente é uma cidade com bom desempenho nas dimensões: economia inteligente, pessoas inteligentes, governança inteligente, mobilidade inteligente, meio ambiente inteligente e vida inteligente. Uma cidade inteligente geralmente se refere à pesquisa e identificação de soluções inteligentes que permitem às cidades modernas melhorar a qualidade dos serviços prestados aos cidadãos.	Giffinger <i>et al.</i> (2007)
Uma cidade inteligente caracteriza-se pelo uso de tecnologias de computação para tornar a infraestrutura crítica de uma cidade, que incluem a administração municipal, educação, saúde, segurança pública, imobiliário, transporte e utilitários - mais inteligentes, interconectados e eficientes.	Washburn e Sindhu (2009)
Uma cidade para ser inteligente precisa investir em capital humano e social. Também é necessário que as TICs sejam utilizadas para alcançar o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida.	Caragliu, Bo e Nijkamp (2011)
Uma cidade inteligente utiliza informações em sua infraestrutura física para a melhoria de serviços e fatores críticos da cidade, como: mobilidade urbana, conservação de energia, qualidade do ar e da água, identificação e resolução rápida de problemas, utilização de dados para melhores tomadas de decisão.	Nam e Pardo (2011)
Cidades como territórios com grande capacidade de aprendizagem e inovação. Essas características associam-se com a criatividade de sua população, suas instituições de criação de conhecimento e sua infraestrutura digital utilizada para comunicação e gestão do conhecimento.	Komninos (2011)
Cidade inteligente é o resultado da combinação entre a cidade digital e a internet das coisas.	Su, Li e Fu (2011)

---

As cidades inteligentes do futuro precisarão de políticas de desenvolvimento urbano sustentável onde todos os residentes, incluindo os pobres, possam viver bem. As cidades inteligentes apresentam-se como cidades que oferecem alta qualidade de vida aos cidadãos. Os objetivos de uma cidade inteligente devem ser alcançados através da utilização de TIC

Thuzar (2011)

A aplicação de tecnologia da informação e comunicação (TIC) com seus efeitos no capital humano / educação, capital social e relacional.

Lombardi *et al.* (2012)

Ademais, as questões ambientais são frequentemente associadas às cidades inteligentes.

As cidades inteligentes são o resultado de estratégias criativas e intensivas em conhecimento que visam o aprimoramento do nível socioeconômico, ecológico, logístico e o desempenho competitivo das cidades. Essas cidades são baseadas em uma combinação promissora de capital humano, infraestrutura, capital social e capital empreendedor.

Kourtit e Nij-kamp (2012)

As cidades inteligentes têm alta produtividade, pois têm uma participação relativamente alta de pessoas altamente instruídas, empregos intensivos em conhecimento, atividades criativas e iniciativas voltada para a sustentabilidade.

Kourtit, Nijkamp e Arribas (2012)

Uma cidade inteligente é uma área geográfica bem definida, na qual altas tecnologias, como TIC, logística e produção de energia, cooperam para criar benefícios para os cidadãos. Atores como universidades, instituições de pesquisa e empresas com alta tecnologia são essenciais na produção de ideias e soluções para as cidades inteligentes. Essas cidades inteligentes são construídas através de uma perspectiva “de baixo para cima”, em que a base é constituída de tecnologias habilitadoras e na ponta há as práticas de governança.

Dameri (2013)

Iniciativas de cidades inteligentes tentam melhorar o desempenho urbano usando dados, informações e tecnologias da informação (TI) para fornecer serviços eficientes aos cidadãos.

Marsal- Llacuna, Colomer- Llinàs e Meléndez- Frigola (2015)

**APÊNDICE B – PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO**

**Quadro 12 – Portfólio Bibliográfico da Pesquisa**

<b>Artigo</b>	<b>Autor</b>
Urban forestry: Management for local authorities	Lewis (1991)
Technopoleis: Themes and Conclusions	Gibson e Dearing (1993)
Towards sustainable city policy: An economy environment technology nexus	Camagni, Capello e Nijkamp (1998)
Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution	Beckett, Freer-Smith e Taylor (1998)
The capture of particulate pollution by trees at five contrasting UK urban sites	Beckett, Freer-Smith e Taylor (2000a)
Effective Tree Species for Local Air-Quality Management	Beckett, Freer-Smith e Taylor (2000b)
Creative cities and economic development	Hall (2000)
Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide	Nowak <i>et al.</i> (2002)
The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction	Yang <i>et al.</i> (2005)
Defining urban forestry - A comparative perspective of North America and Europe	Konijnendijk <i>et al.</i> (2006)
City-ranking of European medium-sized cities	Giffinger <i>et al.</i> (2007)
Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives	Washburn e Sindhu (2009)
Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities?	Giffinger e Gudrun (2010)
Understanding consumer acceptance of mobile payment services: An empirical analysis	Schierz <i>et al.</i> (2010)
Smart city and the applications	Su, Li e Fu (2011)
Urbanization in Southeast Asia: Developing smart cities for the future?	Thuzar (2011)
Smart cities in Europe	Caragliu, Bo e Nijkamp (2011)
Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence	Komninos (2011)
Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions	Nam e Pardo (2011)
Modelling the smart city performance	Lombardi <i>et al.</i> (2012)
Understanding smart cities: An integrative framework	Chourabi <i>et al.</i> (2012)

---

Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps	Kourtit, Nijkamp e Arribas (2012)
Predicting consumer decisions to adopt mobile commerce: Cross country empirical examination between China and Malaysia	Chong <i>et al.</i> (2015)
A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones	Roy, Byrne e Pickering (2012)
Smart cities in the innovation age INTRODUCTION	Kourtit e Nijkamp (2012)
Tree and forest effects on air quality and human health in the United States	Nowak <i>et al.</i> (2014)
Smart sustainable cities: Definition and challenges	Höjer e Wangel (2014)
SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed	Sanchez <i>et al.</i> (2014)
The moderating effect of experience in the adoption of mobile payment tools in Virtual Social Networks: The m-Payment Acceptance Model in Virtual Social Networks (MPAM-VSN)	Liébana-Cabanillas, Sánchez- Fernández e Muñoz-Leiva (2014)
An information framework for creating a smart city through internet of things	Jin <i>et al.</i> (2014)
Smart city architecture and its applications based on IoT	Gaur <i>et al.</i> (2015)
Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative	Marsal-Llacuna, Colomer-Llinàs e Meléndez-Frigola (2015)
Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives	Albino, Berardi e Dangelico (2015)
Explain the intention to use smartphones for mobile shopping	Agrebi e Jallais (2015)
Determinants of intention to use the mobile banking apps: An extension of the classic TAM model	Muñoz-Leiva, Climent-Climent e Liébana-Cabanillas (2017),
What are the differences between sustainable and smart cities?	Ahvenniemi <i>et al.</i> (2017)
A comprehensive system for monitoring urban accessibility in smart cities	Mora <i>et al.</i> (2017)
Smartainability: A Methodology for Assessing the Sustainability of the Smart City	Girardi e Temporelli (2017)

---



---

Big data analytics embedded smart city architecture for performance enhancement through real-time data processing and decision-making	Silva, Khan e Han (2017)
Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities	Rashid <i>et al.</i> (2017)
Exploiting IoT and big data analytics: Defining Smart Digital City using real-time urban data	Rathore <i>et al.</i> (2018)
The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability	Bibri (2018b)
IoT-enabled smart lighting systems for smart cities	Sikder <i>et al.</i> (2018)
Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health	Nowak <i>et al.</i> (2018)
A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies	Bibri (2018a)
The role of Internet of Things (IoT) in smart cities: Technology roadmap-oriented approaches	Park, Pobil e Kwon (2018)
IoT technologies for smart cities	Hammi <i>et al.</i> (2018)
Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends	Alavi <i>et al.</i> (2018)
Machine learning in the Internet of Things: Designed techniques for smart cities	Din <i>et al.</i> (2019)
Smartphone technologies supporting community-based environmental monitoring and implementation: a systematic scoping review	Andrachuk <i>et al.</i> (2019)
Technology roadmap for building a smart city: An exploring study on methodology	Lu, Chen e Yu (2019)
Visual sensitivity versus ecological sensitivity: An application of GIS in urban forest park planning	Zheng <i>et al.</i> (2019)
Remote sensing in urban forestry: Recent applications and future directions	Li <i>et al.</i> (2019)

---

---

Internet of Things applications: A systematic review	Asghari, Rahmani e Javadi (2019)
Smarter ecosystems for smarter cities? A review of trends, technologies, and turning points for smart urban forestry	Nitoslawski <i>et al.</i> (2019)
Towards green smart cities: Importance of Urban forestry and urban vegetation	Uçar, Akay e Bilici (2020)
Trends in Urban Forestry Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis	Barona <i>et al.</i> (2020)
Understanding the linkages of smart-city technologies and applications: Key lessons from a text mining approach and a call for future research	Lim, Cho e Kim (2021)
Assessing the ASEAN Smart Cities Network (ASCN) via the Quintuple Helix Innovation Framework, with Special Regard to Smart City Discourse, Civil Participation, and Environmental Performance	Crumpton <i>et al.</i> (2021)
A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services	Nowak <i>et al.</i> (2008)
Structuring institutional analysis for urban ecosystems: A key to sustainable urban forest management	Mincey <i>et al.</i> (2013)
Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review.	Haaland e Bosch (2015)
DESCRIÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS POR MEIO DE DIFERENTES FORMAS DE EXPRESSÃO DA DOMINÂNCIA E DA DENSIDADE	Bobrowski, Ferreira e Biondi (2016)
Urban tree diversity-Taking stock and looking ahead	Morgenroth <i>et al.</i> (2016)
Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY	Nowak <i>et al.</i> (2016)
Manual para elaboração do plano municipal de arborização urbana	Barcellos <i>et al.</i> (2018)
A INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE FLORESTA URBANA NO MICROCLIMA DO ENTORNO IMEDIATO.	Martini, Biondi e Batista (2018)
How smart cities transform operations models: A new research agenda for operations management in the digital economy.	LI <i>et al.</i> , (2016)

---

---

Defining digital transformation: Results from expert interviews	Mergel, Edeçmann e Haug (2019)
Smart City initiatives in the context of digital 'transformation - scope, services and Technologies	Tomiciř c-pupek, 'Pihir e Furjan (2019)
Digital Business Model, Digital Transformation, Digital Entrepreneurship: Is there a sustainable "digital"?	Bican e Brem (2020)
Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research	Nadkarni e Prügł (2021)
Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda	Verhoef <i>et al.</i> (2021)
Gestão da Arborização de Ruas-Estudo de Caso na Cidade de Curitiba, PR.	Bobrowski e Biondi (2015).

---

**Elaborado pelo autor (2022).**

**APÊNDICE C – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DE  
CONTEÚDO DE UMA DAS RSL**

## RESULTADOS DA RSL

Neste apêndice são demonstrados os resultados da revisão sistemática de literatura realizada para a construção do portfólio bibliográfico sobre a síntese da avaliação sobre adoção e sucesso de aplicativos móveis em cidades inteligentes

### Análise bibliométrica

A análise bibliométrica iniciou-se pela identificação dos cinco artigos mais relevantes do portfólio bibliográfico. Para isso, utilizou-se como critério o número citações que cada artigo possuía no Google Acadêmico. Desta análise, destaca-se a presença de dois artigos em que a autoria Francisco Liébana-Cabanillas e Francisco Muñoz-Leiva se repete. Os resultados detalhados da análise são demonstrados no Quadro 1.

**Quadro 13 - Artigos com mais citações no portfólio bibliográfico**

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Periódico</b>	<b>Ano</b>	<b>Citações</b>
Schierz, Paul Gerhardt; Schilke, Oliver; Wirtz, Bernd W.	Understanding consumer acceptance of mobile payment services: An empirical analysis	Electronic Commerce Research and Applications	2010	1127
Chong, Alain Yee-Loong; Chan, Felix T. S.; Ooi, Keng- Boon	Predicting consumer decisions to adopt mobile commerce: Cross country empirical examination between China and Malaysia	Decision Support Systems	2012	551
Agrebi, Sinda; Jallais, Joel	Explain the intention to use smartphones for mobile shopping	Journal of Retailing and Consumer	2015	305

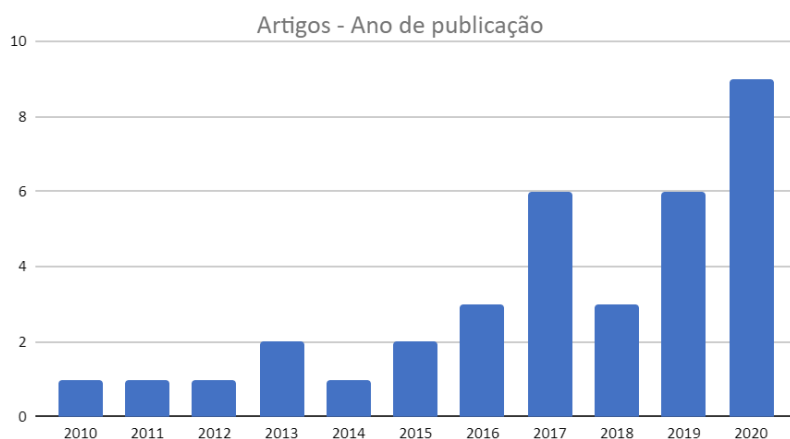
## Services

Liébana-Cabanillas, Francisco; Sánchez-Fernández, Juan; Muñoz-Leiva, Francisco	The moderating effect of experience in the adoption of mobile payment tools in Virtual Social Networks: The m-Payment Acceptance Model in Virtual Social Networks (MPAM-VSN)	International Journal of Information Management	2014	179
Muñoz-Leiva, F.; Climent-Climent, S.; Liébana-Cabanillas, F.	Determinants of intention to use the mobile banking apps: An extension of the classic TAM model	Spanish Journal of Marketing - ESIC	2017	169

**Fonte: Elaborado pelos autores**

O portfólio bibliográfico também foi classificado pelo ano de publicação dos artigos. O resultado dessa análise evidencia que há um crescimento, na última década, no número de publicações com a temática investigada, conforme mostra a Figura 1. Esse resultado relaciona-se diretamente com o aumento do uso e interesse pelos aplicativos móveis a partir do ano de 2010.

**Gráfico 1 - Distribuição dos artigos do PB por ano de publicação**

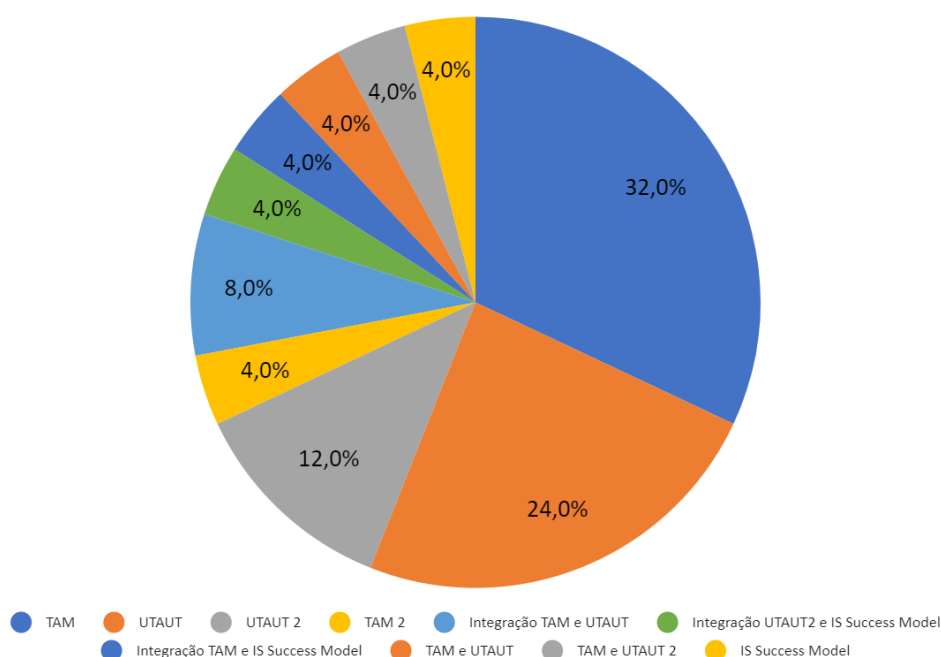


**Fonte: Dados da Pesquisa**



Quanto à utilização dos modelos nos artigos do portfólio bibliográfico, deve-se evidenciar a predominância de TAM (32 %), UTAUT (24 %), UTAUT 2 (12 %), totalizando 68% das pesquisas. A distribuição completa pode ser vista na Figura 3.

**Gráfico 3 - Distribuição dos artigos do PB por modelo utilizado**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

Como supracitado nesta seção, a análise de conteúdo centrou-se também em identificar os tópicos de interesse relacionados aos aplicativos móveis apresentados em cada artigo. Os resultados dividem-se em: compras e pagamentos (40 %), banco móvel (17,1 %), turismo (8,6 %), educação (8,6 %), alimentação e restaurantes (5,7 %), saúde (2,9 %), transporte (2,9 %), finanças (2,9 %), acessibilidade (2,9 %) e alertas de emergência (2,9 %). Ainda há 5,7 % do total de artigos que investigam o uso geral de aplicativos móveis, sem especificar o seu tipo ou objetivo. Desta análise, destaca-se a proeminência do tópico “compras e pagamentos”, seguido do tópico “banco móvel”.

Quanto ao método científico usado em cada artigo, todos os estudos empregaram o uso de *survey* para coleta dos dados. Ademais, 32 artigos de um total de 35, utilizaram técnicas de equações estruturais para análise dos dados. Ressalta-se também o uso de estatística descritiva, regressão linear múltipla e análise fatorial em 1 artigo cada uma. O resultado denota predominância significativa do uso de



equações estruturais para análise de dados.

Em relação à abordagem das pesquisas: 32 artigos apresentam abordagem quantitativa, enquanto 3 tem abordagem mista (quantitativa e qualitativa). O resultado demonstra o domínio da abordagem quantitativa nos artigos do portfólio bibliográfico. Ainda, é possível dizer que a abordagem, neste caso, tem intrínseca relação com o método *survey* e o uso de equações estruturais.

Denota-se com os resultados, principalmente, que há carência em pesquisas qualitativas que utilizam modelos para avaliar a aceitação e o sucesso de sistemas de informação. Também se destaca que há lacunas e oportunidades de pesquisa em explorar aplicativos provedores de serviços urbanos, pois grande parte dos artigos analisados concentra-se na análise de aplicativos de pagamento digital. Também é possível afirmar que há uma lacuna em pesquisa que utilizem *IS Success Model* para avaliar o sucesso de aplicativos móveis.

## **Conclusões e considerações finais**

Esta pesquisa concentrou-se em revisar a literatura científica acerca da avaliação da aceitação e sucesso dos aplicativos em um contexto de cidades inteligentes. Como resultado, o presente estudo identificou as características principais dos artigos publicados na última década que investigam o tema. No entanto, a pesquisa possui algumas limitações inerentes às escolhas empregadas no estudo. A não utilização do termo "*smart city*" para a busca nas bases de dados digitais possibilitou o acesso a resultados menos restritos, porém, por outro lado, essa estratégia fez com que alguns dos artigos analisados não fizessem menção direta ao contexto das cidades inteligentes. Uma busca mais específica, ainda que restritiva, poderia revelar apenas os artigos que investigam os aplicativos no âmbito das cidades. Todavia, ainda assim, as dimensões propostas por Giffinger *et al.* (2007) foram utilizadas para enquadrar cada artigo analisado em um escopo dentro da perspectiva das cidades inteligentes - assim, os que não cumpriram este critério, foram excluídos do portfólio bibliográfico. Ainda, ressalta-se que este estudo considerou apenas os modelos TAM, UTAUT e IS Success Model e suas variações na estratégia de busca. Um estudo que abrangesse outras teorias como Teoria da Ação Racional (TRA), Teoria Comportamento Planejado (TPB), Modelo de Utilização

de PC (MPCU), Teoria da Difusão de Inovação (DOI), Modelo Motivacional (MM) e Teoria Social Cognitiva (SCT), poderia apresentar resultados mais precisos.

Os resultados deste artigo denotam que há predominância em estudos quantitativos na área investigada. Ainda, a maior parte dos artigos analisados apresentam o modelo TAM, enquanto um número ínfimo de estudos utilizou, *IS Success Model*. Quanto ao tópico de interesse, a maioria dos artigos investigou aplicativos voltados para compras e pagamentos *online*. Esses resultados sugerem lacunas e oportunidades pertinentes para pesquisas futuras.

Como complemento a esta pesquisa espera-se futuramente analisar cada construto utilizado nos modelos empregados em cada artigo analisado. Ademais, como trabalho futuro, pretende-se utilizar os resultados e tendências identificadas neste artigo para embasar o desenvolvimento de aplicações no contexto das cidades inteligentes através dos conceitos chave - bem como dos construtos - extraídos dos principais modelos utilizados para mensurar aceitação e sucesso em aplicativos móveis.

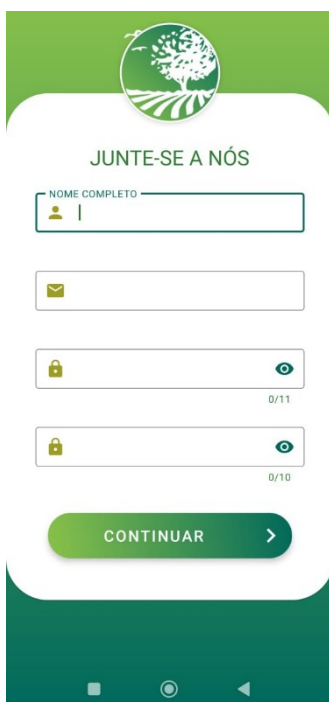
**Apêndice D – TELAS DO APLICATIVO E DA  
APLICAÇÃO MÓVEL**

Figura 13 – Tela de autenticação de usuário



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 – Tela de cadastro de usuário



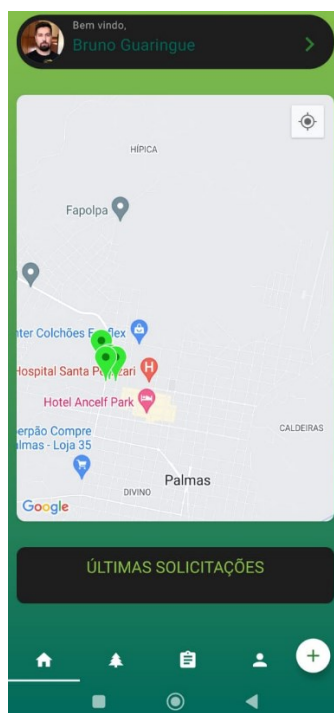
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 15 – Tela para recuperação de senha**



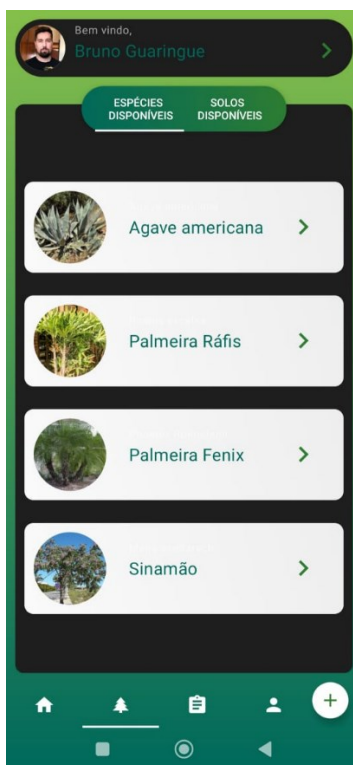
**Fonte: Elaborado pelo autor.**

**Figura 16 – Tela inicial**



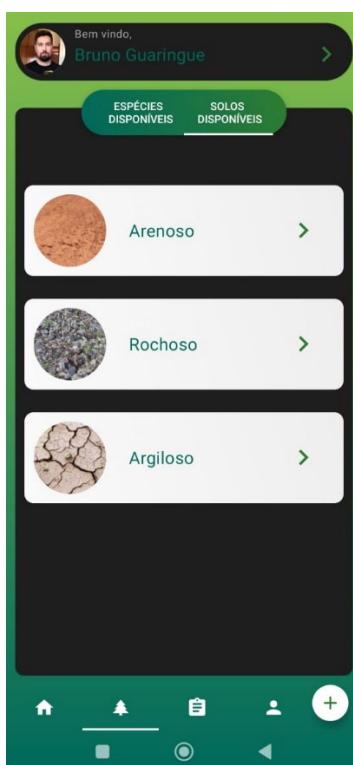
**Fonte: Elaborado pelo autor.**

Figura 17 – Tela de espécies de árvores disponíveis



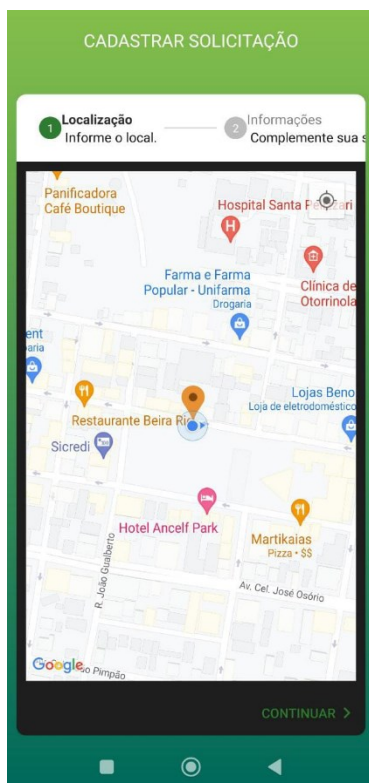
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Tela de solos disponíveis



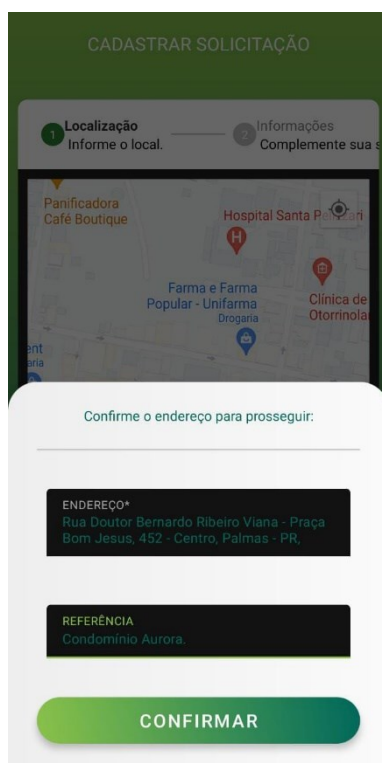
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Tela de Cadastro de Solicitação (Localização)

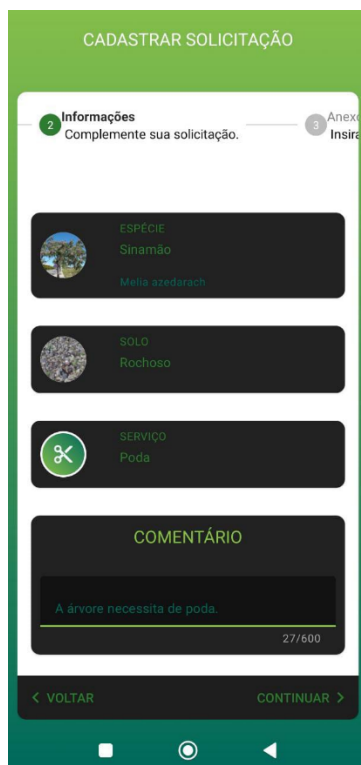


Fonte: Elaborado pelo autor.

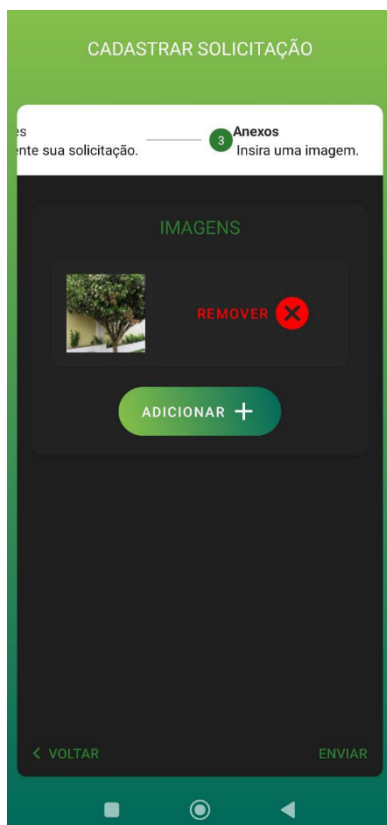
Figura 20 - Tela de Cadastro de Solicitação (Confirmação de Endereço)



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 21 – Tela de Cadastro de Solicitações (Informações da Solicitação)**

Fonte: Elaborado pelo autor.

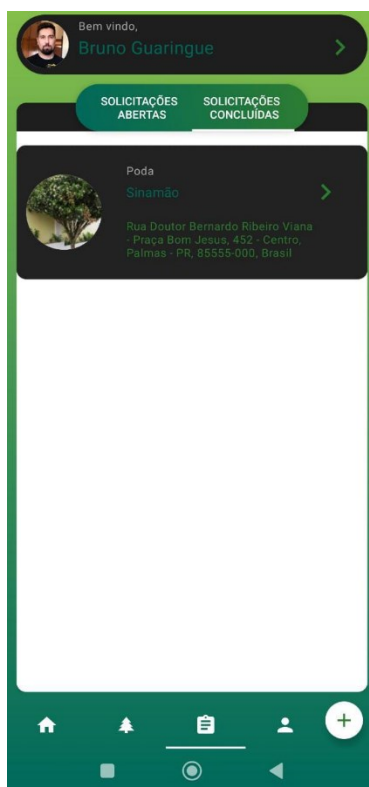
**Figura 22 – Tela de Cadastro de Solicitações (Inserção de Imagem da Solicitação)**

Fonte: Elaborado pelo autor.



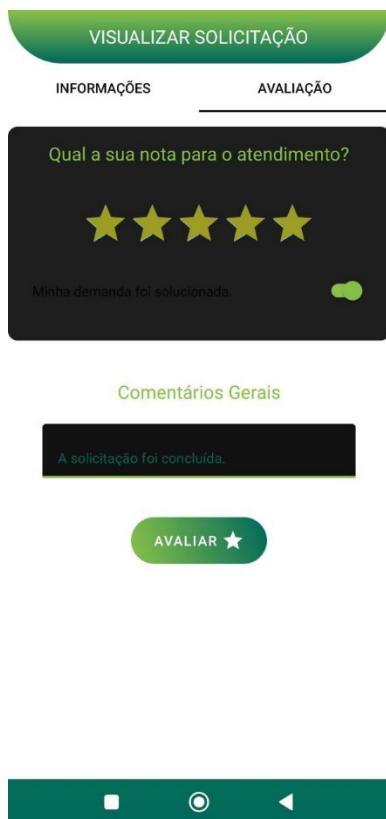
**Figura 23 – Tela de Solicitações Abertas**

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 24 – Tela de Solicitações Concluídas**

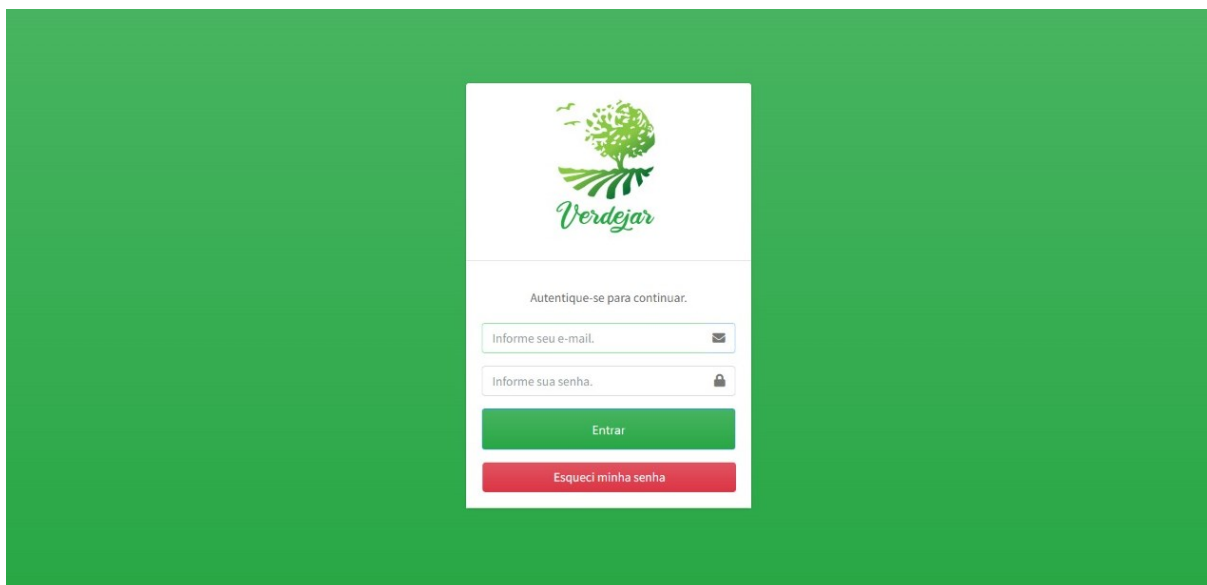
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Tela de Avaliação do Atendimento da Solicitação



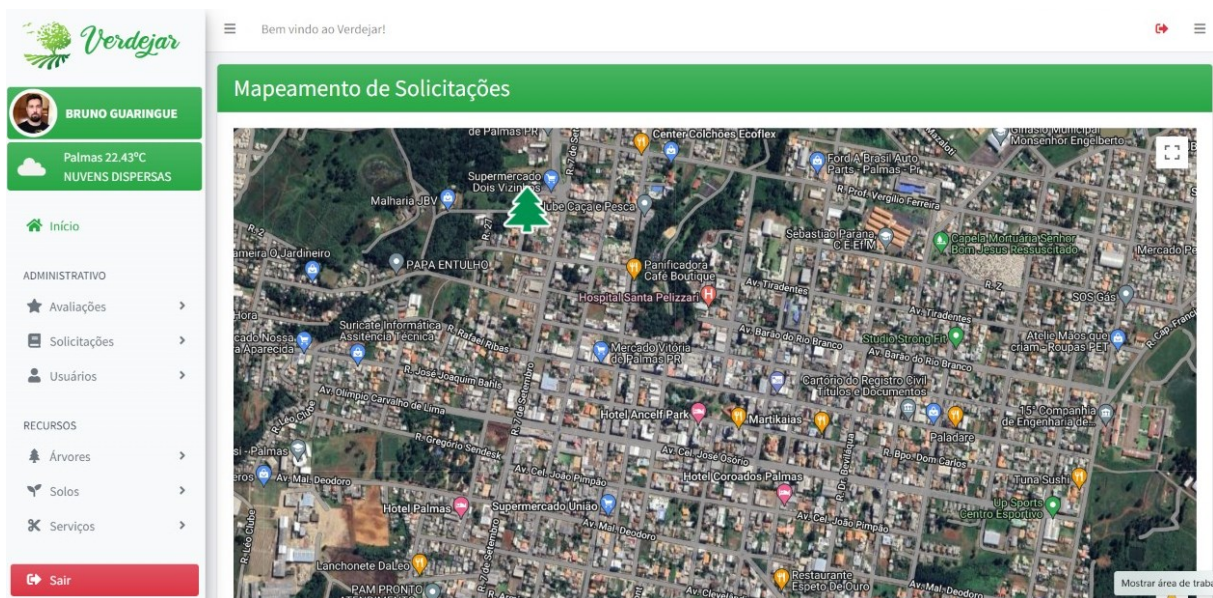
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Tela de autenticação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Tela inicial



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28– Tela de Usuários

**Usuários**

Pesquise... + Novo

Imagem	Nome ↑↓	E-mail ↑↓	Habilitado ↑↓	Administrador ↑↓	Opções
	Eduardo Luiz Alba	eduardoalba@gmail.com	Sim	Sim	
	Bruno Guaringue Trindade	bruno.guaringue@gmail.com	Sim	Sim	
	Bruno Guaringue	brunoguaringue@hotmail.com	Sim	Sim	
	eduardo luiz alba	eduardoalba@hotmail.com	Sim	Sim	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Tela de árvores do inventário

**Árvores**

Pesquise... + Novo

Imagem	Descrição ↑↓	Espécie ↑↓	Opções
	Agave americana	Agave americana	
	Palmeira Ráfis	Rhapis excelsa	
	Palmeira Fenix	Phoenix Roebeleni	
	Sinamão	Melia azedarach	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Tela de Solos

The screenshot displays the 'Solos' screen. On the left sidebar, the user 'BRUNO GUARINGUE' is logged in from Palmas, with a temperature of 15.96°C and 'CÉU LIMPO' (Clear Sky). The sidebar includes options for 'Início', 'ADMINISTRATIVO' (Avaliações, Solicitações, Usuários), 'RECURSOS' (Árvores, Solos, Serviços), and 'Sair'. The main content area has a search bar and a '+ Novo' button. Below is a table with columns: 'Imagem', 'Descrição ↑↓', 'Observação ↑↓', and 'Opções'.

Imagem	Descrição ↑↓	Observação ↑↓	Opções
	Arenoso		
	Rochoso		
	Argiloso		

At the bottom of the table, there are navigation arrows: << < 1 > >>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Tela de Serviços.

The screenshot displays the 'Serviços' screen. The sidebar and header are identical to the previous screen, but the weather information shows 22.43°C and 'NUVENS DISPERSAS' (Scattered Clouds). The main content area has a search bar and a '+ Novo' button. Below is a table with columns: 'Descrição ↑↓' and 'Opções'.

Descrição ↑↓	Opções
Irrigação	
Adubação	
Poda	
Plantio	

At the bottom of the table, there are navigation arrows: << < 1 > >>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 – Tela de Cadastro de Árvores

**Cadastro de Árvore**

Descrição\*  
Insira a descrição da árvore

Espécie\*  
Insira a espécie da árvore

Observação

Imagem  
Alterar Imagem

Campos marcados com \* são de preenchimento obrigatório.

Salvar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Tela de Cadastro de Solos

**Cadastro de Solo**

Descrição\*  
Insira a descrição do solo

Observação

Imagem  
Alterar Imagem

Campos marcados com \* são de preenchimento obrigatório.

Salvar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 – Tela de Cadastro de Usuários

**Cadastro de Usuário**

**Nome Completo\***  
Insira o nome completo do usuário

**E-mail\***  
Insira o e-mail do usuário

X Acesso Padrão

✓ Habilitado

Campos marcados com \* são de preenchimento obrigatório.

Salvar




Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Tela de avaliação dos usuários

Bem vindo ao Verdejar!

**Avaliações**

Pesquise...

Funcionário ↑↓	Data da Avaliação ↑↓	Nota ↑↓	Solucionada ↑↓	Opções
Bruno Guaringue	15/08/22 18:39	5.0	Sim	  

<< < 1 > >>

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Apêndice E – QUESTIONÁRIO E TERMO DE  
CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**



# Framework orientado à gestão da arborização de vias públicas para cidades inteligentes e sustentáveis

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da pesquisa: Framework orientado à gestão da arborização de vias públicas para cidades inteligentes e sustentáveis

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones:

Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto, [schenatto@utfpr.edu.br](mailto:schenatto@utfpr.edu.br), (46) 9922-7427 ;  
Bruno Guaringue Trindade, [bruno.guaringue@gmail.com](mailto:bruno.guaringue@gmail.com), (46)98832-4633.

Local de realização da pesquisa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Endereço, telefone do local: Via do Conhecimento, s/n, Km 01, Pato Branco – PR.  
(46)3220 -2511.

## A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

### 1. Apresentação da pesquisa.

As cidades inteligentes utilizam tecnologia da informação e comunicação (TIC) para proverem serviços avançados e inovadores para seus cidadãos. Esses serviços possuem como objetivo alcançar pontos centrais propostos para as cidades inteligentes, como a melhora da qualidade de vida e a gestão sustentável de recursos naturais. A dimensão ambiental é parte intrínseca da aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis na gestão do espaço urbano. Todavia, ainda que pesquisadores tenham tentado estabelecer relações entre as CIS e fatores ambientais, estudos recentes denotam que, especificamente, a relação entre as CIS e as práticas de arborização urbana é pouco explorada. O objetivo desta pesquisa é estruturar um framework conceitual e operacional para a gestão da arborização de vias públicas no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis, sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação. Neste contexto, esta pesquisa pretende contribuir para uma melhor compreensão acerca dos fatores da gestão da arborização urbana que podem ser acessados e otimizados pela aplicação do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis. Os resultados podem subsidiar gestores e decisores municipais na criação e operacionalização de políticas públicas, como parte da gestão ambiental das cidades, utilizando tecnologias da informação e comunicação. Ademais, espera-se que a pesquisa contribua com a literatura no entendimento do conceito difuso de cidades inteligentes e sustentáveis e sua correlação com a dimensão ambiental, a arborização urbana e as tecnologias habilitadoras.

### 2. Objetivos da pesquisa.

Esta pesquisa pretende compreender a aplicabilidade dos conceitos de cidades inteligentes e sustentáveis na operacionalização de práticas de gestão da arborização de vias públicas sob a perspectiva da tecnologia da informação e comunicação.

3. Participação na pesquisa.

Ao concordar com este TCLE, o participante será direcionado ao questionário. O tempo estimado para responder ao questionário é de 10 a 15 minutos.

4. Confidencialidade.

É garantido ao participante o sigilo de sua identidade e confidencialidade de suas respostas.

5. Riscos e Benefícios.

5a) Riscos: A pesquisa não apresenta quaisquer tipos de riscos aos respondentes.

5b) Benefícios: Reitera-se, como dito na apresentação da pesquisa, que as respostas ajudarão a estruturar um framework para embasar processos decisórios acerca da gestão da arborização de vias públicas.

6. Critérios de inclusão de respondentes:

6a) Inclusão: Professores, pesquisadores e profissionais que atuem em engenharia florestal ou áreas afins, tecnologia da informação e comunicação ou áreas afins e cidades inteligentes e sustentáveis ou áreas afins.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

É garantido ao participante: a) deixar o estudo a qualquer momento sem penalização; b) de receber esclarecimentos em qualquer etapa da pesquisa e c) receber o resultado da pesquisa.

Caso queira receber esclarecimentos e/ou os resultados da pesquisa, envie um e-mail com a sua solicitação para: [bruno.guaringue@gmail.com](mailto:bruno.guaringue@gmail.com)

8. Ressarcimento e indenização.

Não se aplica, uma vez que a pesquisa não gera custo ou dano ao participante.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR).

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, Telefone: (41) 3310-4494, e-mail: [coep@utfpr.edu.br](mailto:coep@utfpr.edu.br).

B) CONSENTIMENTO

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste

estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

TEMPO ESTIMADO PARA RESPONDER AO QUESTIONÁRIO 10-15 MINUTOS.

\*Obrigatório

1. Nome do respondente: \*

---

2. Declaro aceito participar da pesquisa supra-apresentada. \*

*Marcar apenas uma oval.*

Sim, aceito participar da pesquisa.

3. Assinale a alternativa que melhor represente o seu perfil. \*

*Marcar apenas uma oval.*

Pesquisador e docente da área de engenharia florestal ou áreas afins.

Pesquisador e docente da área de tecnologia da informação e comunicação ou áreas afins.

Pesquisador e docente da área de cidades inteligentes e sustentáveis ou áreas afins.

Profissional que atue em áreas correlatas a engenharia florestal ou áreas afins.

Profissional que atue em áreas correlatas a tecnologia da informação e comunicação ou áreas afins.

Profissional que atue em áreas correlatas às cidades inteligentes e sustentáveis ou áreas afins.

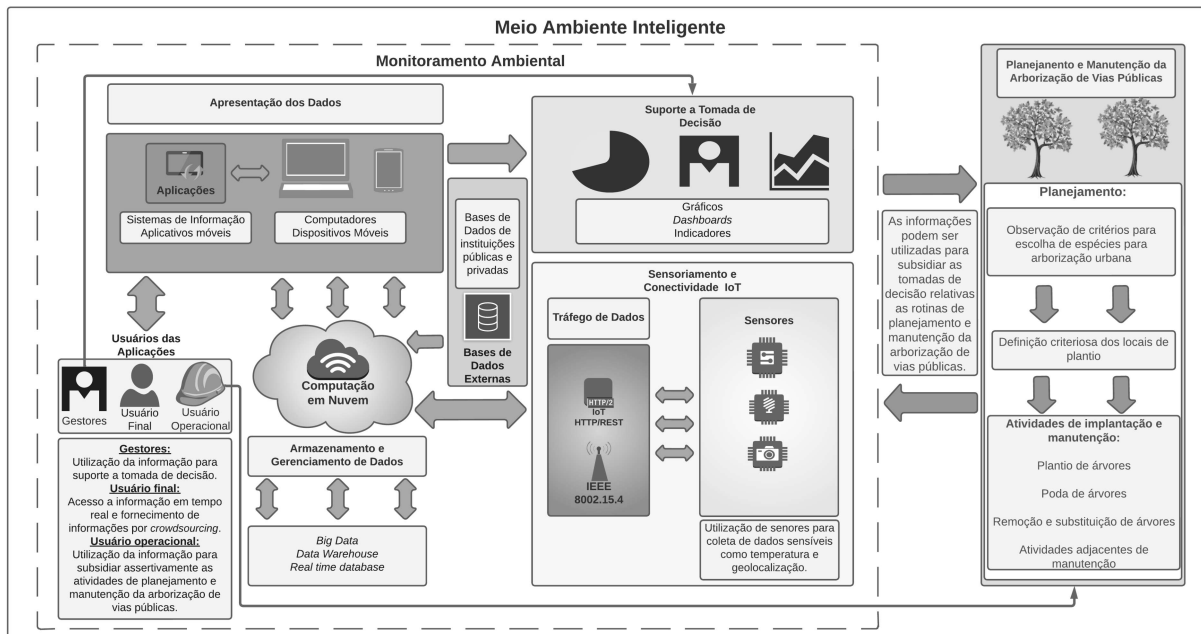
Framework -  
Camada  
Conceitual:  
Tecnologia da  
Informação e  
Comunicação

Para maiores esclarecimentos consulte o Anexo I presente no e-mail de convite para participação na pesquisa.

Meio Ambiente Inteligente: Giffinger et al. (2007); Giffinger e Gudrun (2010); Alavi et al. (2018); Bibri (2018).

Tecnologia da Informação e Comunicação e IoT: Jin et al. (2014); Puiu et al. (2016); Bibri (2018); Yigitcanlar et al. (2018); Nitoslawski et al. (2019); Uçar, Akay e Bilici (2020).

## Tecnologia da Informação e Comunicação





**aplicações  
móveis.**

---

**Utilização de bases de dados externas (instituições públicas e privadas) para obtenção de informações que podem ser utilizadas para subsidiar processos decisórios acerca da arborização de vias públicas.**

**Utilização de tecnologias para armazenamento de gerenciamento de dados como data warehouse (armazém de dados) e real time database (banco de dados em tempo real).**

**Apresentação dos dados acerca da arborização de vias públicas em tempo real por meio de sistemas de informação e aplicativos móveis.**

**Participação dos gestores municipais, subsidiados por tecnologias da**

**informação, nos processos decisórios de planejamento da arborização de vias públicas.**

---

**Participação dos usuários operacionais, subsidiados por tecnologias da informação, na execução de rotinas de trabalho da arborização de vias públicas.**

**Participação dos cidadãos (usuários finais), subsidiados por tecnologias da informação, para acesso e fornecimento de informações relativas a arborização de vias públicas.**

**Utilização de sistemas de informação que apresentem gráficos, relatórios, dashboards e indicadores para subsidiar os processos de tomada de decisão.**

---

5. Você alteraria, excluiria ou adicionaria algum componente ao framework? Caso a resposta for "sim", discorra sobre a sua contribuição no espaço abaixo. Caso a resposta for "não", deixe o espaço abaixo em branco.

---



---



---



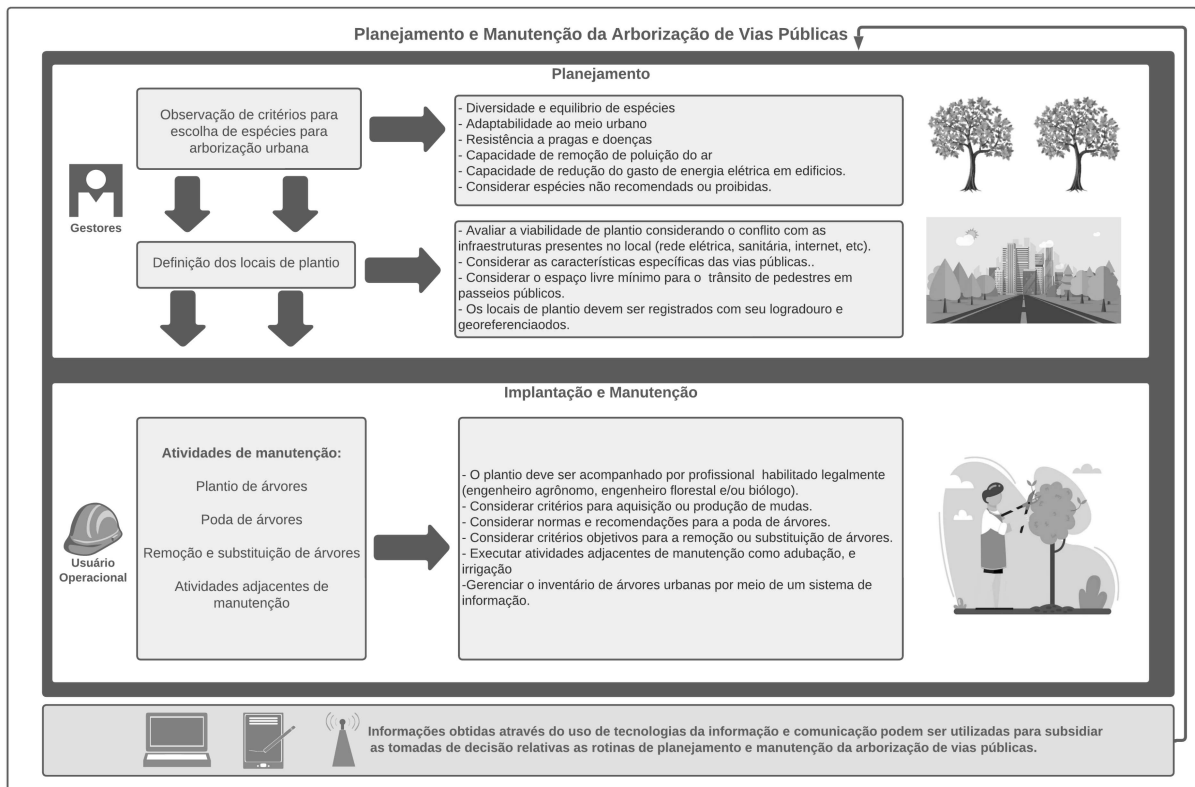
---

Framework -  
Camada  
Operacional:  
Planejamento  
e Manutenção  
da Arborização  
de Vias  
Públicas

Para maiores esclarecimentos consulte o Anexo I presente no e-mail de convite para participação na pesquisa.

Arborização de Vias Públicas: Nowak et al. (2008); Mincey et al. (2013); Haaland e Bosch (2015); Bobrowski, Ferreira e Biondi (2016); Morgenroth et al. (2016); Nowak et al. (2016); Barcellos et al. (2018); Martini, Biondi e Batista (2018); Nowak et al. (2018).

### Planejamento e Manutenção da Arborização de Vias Públicas











**árvores urbanas  
por meio de um  
sistema de  
informação.**

---

**Gerenciar as  
atividades de  
poda, plantio,  
remoção e  
manutenção de  
árvores por  
meio de um  
sistema de  
informação.**

**Considerar a  
opinião do  
cidadão para  
processos  
decisórios  
acerca do  
plantio, poda e  
remoção de  
árvores.**

---

9. Você alteraria, excluiria ou adicionaria algum componente ao framework? Caso a resposta for "sim", discorra sobre a sua contribuição no espaço abaixo. Caso a resposta for "não", deixe o espaço abaixo em branco.

---

---

---

---

---

---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

**Google** Formulários