



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica  
Programa de Engenharia Urbana

Elisa de Almeida Couto

PROPOSTA DE ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO URBANO  
SUSTENTÁVEL (MÉTODO SITIUS):  
um estudo a partir da norma ISO 37120

RIO DE JANEIRO

2021



UFRJ

Elisa de Almeida Couto

PROPOSTA DE ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL  
(MÉTODO SITIUS):

um estudo a partir da norma ISO 37120

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadores: Leando Torres Di Gregorio  
Glauco Valle da Silva Coelho

Rio de Janeiro  
2021

Couto, Elisa de Almeida

PROPOSTA DE ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO  
URBANO SUSTENTÁVEL (MÉTODO SITIUS): um estudo a  
partir da norma ISO 37120 / Elisa de Almeida Couto. – 2021.  
160 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,  
Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2021.

Orientadores: Leandro Torres Di Gregorio e Glauco Valle  
da Silva Coelho.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Indicadores urbanos.  
3. Índices de sustentabilidade. 4. ISO 37120. I. Di Gregorio,  
Leandro Torres e Coelho, Glauco Valle da Silva. II.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica.



UFRJ

PROPOSTA DE ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL  
(MÉTODO SITIUS):

um estudo a partir da norma ISO 37120

Elisa de Almeida Couto

Orientadores: Leando Torres Di Gregorio  
Glauco Valle da Silva Coelho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

---

Presidente, Prof. Leandro Torres Di Gregorio, D.Sc., UFRJ

---

Prof. Glauco Valle da Silva Coelho, D.Sc., UFRJ

---

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc., UFRJ

---

Prof. Carlos Alberto Pereira Soares, D.Sc., UFF

---

Prof. Iara Negreiros, D.Sc., Facens

Rio de Janeiro  
2021

## RESUMO

COUTO, Elisa de Almeida. **PROPOSTA DE ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL (MÉTODO SITIUS)**: um estudo a partir da norma ISO 37120. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

O fenômeno da urbanização e a necessidade de se buscar, nesse novo contexto, um equilíbrio entre o crescimento econômico, bem-estar social e preservação ambiental elevaram o desenvolvimento sustentável à principal pauta das cidades. Na tentativa de monitorar e nortear as ações e políticas públicas nesse sentido, foram desenvolvidos diversos índices e sistemas de indicadores. Entretanto, muitos deles se limitam a alguma dimensão da sustentabilidade ou são de difícil interpretação. O presente estudo tem por objetivo a proposição e validação de índices de sustentabilidade a partir dos indicadores da norma ISO 37120, por meio do desenvolvimento do método *Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems* (SITIUS), auxiliando na compreensão do diagnóstico das cidades. Para isso, indicadores de uma amostra de cidades foram submetidos a técnicas de Análise Multivariada por meio do *software* Minitab. A metodologia de cálculo dos índices se baseou na atribuição de pesos tanto para os indicadores em cada índice, a partir das cargas e variâncias resultantes da Análise Fatorial, quanto para os índices temáticos, por meio de sua matriz de correlação. A validação dos métodos se deu, primeiramente, pelo Índice de Jaccard obtido na comparação com os *clusters* da Análise de Agrupamentos e, em uma segunda etapa, pelas correlações com parâmetros externos de referência para as dimensões da sustentabilidade. Como resultado foram gerados 17 índices para as seções temáticas da ISO 37120 e, por meio destes, 3 índices para os eixos do desenvolvimento sustentável. O método desenvolvido potencializa as aplicações da norma estudada e contribui para uma gestão urbana orientada à sustentabilidade por refletir o desempenho em cada dimensão.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Indicadores urbanos. Índices de sustentabilidade. Gestão urbana. Planejamento urbano.

## ABSTRACT

COUTO, Elisa de Almeida. **PROPOSAL OF SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT INDICES (SITIUS METHOD):** a study based on ISO 37120. Rio de Janeiro, 2021. Dissertation (Master's Degree application) – Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The phenomenon of urbanization and the need for balance between economic growth, social welfare, and environmental conservation have put sustainable development as one of the main issues in the cities agenda. In an attempt to monitor and guide public actions and policies in this regard, several indices and indicator systems have been developed. However, many of them are limited to a dimension of sustainability or are difficult to interpret. The present study aims to propose sustainability indices based on ISO 37120 indicators, through the development of the Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems (SITIUS) method, to help in understanding the cities diagnosis. To this end, indicators from a sample of cities were submitted to Multivariate Analysis techniques using the Minitab software. The methodology for the development of the indices was based on the assignment of weights both for the indicators in each index, based on the factor loadings and variances resulting from the Factor Analysis, and for the thematic indices, through its correlation matrix. The validation of the methods took place, first, by the Jaccard Index obtained from the comparison with the clusters of the Cluster Analysis and, in a second stage, by the correlations with external reference parameters for the dimensions of sustainability. As a result, 17 indices for the thematic sections of ISO 37120 and, through these, 3 indices for the axes of sustainable development were generated. The developed methodology enhances the applications of the studied standard and contributes to an urban management oriented to sustainability by reflecting the performance in each dimension.

**Keywords:** Sustainable development. Urban indicators. Sustainability indices. Urban management. Urban Planning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.....	29
Figura 2 - Pirâmide da informação.....	32
Figura 3 - Modelo pressão-estado-respostas (PSR).....	39
Figura 4 - Síntese da produção dos indicadores globais por ODS. ....	44
Figura 5 - ODS abordados pela ISO 37120:2018.....	55
Figura 6 - Processo de certificação pelo WCCD.....	56
Figura 7 - Certificações da ISO 37120:2014 pelo WCCD.....	57
Figura 8 - Fluxograma simplificado do Método SITIUS. ....	63
Figura 9 - Fluxograma detalhado do Método SITIUS.....	64
Figura 10 - Esquema da seleção da amostra de dados.....	67
Figura 11 - Exemplo da comparação entre o <i>ranking</i> de índices e agrupamentos. ....	87
Figura 12 - Dados de entrada para a comparação por partição. ....	88
Figura 13 - Seções-chave e seções aderentes por eixo da sustentabilidade.....	89
Figura 14 - Exemplo para os agrupamentos da Seção 5.....	99
Figura 15 - Cidades com os melhores e piores desempenhos nos índices por seção. ....	132
Figura 16 - Cidades com os melhores e piores desempenhos nos índices por eixo. ....	133
Figura 17 - Fluxograma simplificado após validação dos métodos. ....	133
Figura 18 - <i>Dashboard</i> interativo dos índices de sustentabilidade – Método SITIUS.....	134
Figura 19 - <i>Menu</i> de acesso aos índices de sustentabilidade – Método SITIUS.....	134
Figura 20 - Índices de sustentabilidade para a Seção 5 – Método SITIUS. ....	135
Figura 21 - Processo de extração de fatores para a Seção 5.....	149
Figura 22 - Agrupamentos da Seção 5. ....	152
Figura 23 - Agrupamentos da Seção 6. ....	153
Figura 24 - Agrupamentos da Seção 7. ....	153
Figura 25 - Agrupamentos da Seção 8. ....	154
Figura 26 - Agrupamentos da Seção 9. ....	154
Figura 27 - Agrupamentos da Seção 10. ....	155
Figura 28 - Agrupamentos da Seção 11. ....	155
Figura 29 - Agrupamentos da Seção 12. ....	156
Figura 30 - Agrupamentos da Seção 13. ....	156
Figura 31 - Agrupamentos da Seção 14. ....	157

Figura 32 - Agrupamentos da Seção 15. ....	157
Figura 33 - Agrupamentos da Seção 16. ....	158
Figura 34 - Agrupamentos da Seção 17. ....	158
Figura 35 - Agrupamentos da Seção 18. ....	159
Figura 36 - Agrupamentos da Seção 19. ....	159
Figura 37 - Agrupamentos da Seção 20. ....	160
Figura 38 - Agrupamentos da Seção 21. ....	160

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Princípios de Avaliação e Medição da Sustentabilidade – STAMP. ....	36
Quadro 2 - Certificações de bairros e loteamentos sustentáveis. ....	42
Quadro 3 - Caracterização dos sistemas de indicadores PCS e NBR ISO 37120. ....	44
Quadro 4 - Indicadores da ABNT NBR ISO 37120:2017 por seção.....	49
Quadro 5 - Principais técnicas de Análise Multivariada. ....	59
Quadro 6 - Agrupamento proposto para as cidades.....	68
Quadro 7 - Indicadores eliminados da análise.....	70
Quadro 8 - Cidades selecionadas para o estudo. ....	71
Quadro 9 - Lista de indicadores invertidos.....	72
Quadro 10 - Tipos de carga fatorial testados para todo modelo.....	84
Quadro 11 - Métodos de cálculo para o índice por eixo de sustentabilidade. ....	90
Quadro 12 - Parâmetros de referência para os eixos da sustentabilidade.....	92
Quadro 13 - Distribuição dos indicadores pelos fatores gerados na Análise Fatorial.....	96
Quadro 14 - Divisão do <i>ranking</i> em setores a partir dos quartis. ....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de indicadores analisados por seção da norma.....	75
Tabela 2 - Testes de KMO e Bartlett para o total de variáveis.....	76
Tabela 3 - Testes de KMO e Bartlett após a eliminação de variáveis.....	79
Tabela 4 - Distribuição das certificações do WCCD por classificação e ano.....	94
Tabela 5 - Distribuição das certificações do WCCD por continente.....	95
Tabela 6 - Resumo dos resultados da Análise a Agrupamentos.....	98
Tabela 7 - Índice de Jaccard para os métodos de cálculo do índice por seção temática.....	100
Tabela 8 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Economia.....	102
Tabela 9 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Educação.....	104
Tabela 10 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Energia.....	105
Tabela 11 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Meio Ambiente.....	106
Tabela 12 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Finanças.....	108
Tabela 13 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Resposta a Incêndios e Emergências.....	109
Tabela 14 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Governança.....	110
Tabela 15 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Saúde.....	112
Tabela 16 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Recreação.....	113
Tabela 17 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Segurança.....	114
Tabela 18 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Habitação.....	116
Tabela 19 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Resíduos Sólidos.....	117
Tabela 20 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Telecomunicações e Inovação.....	118
Tabela 21 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Transporte.....	119
Tabela 22 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Planejamento Urbano.....	121
Tabela 23 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Esgotos.....	122
Tabela 24 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Água e Saneamento.....	123
Tabela 25 - Síntese do resultado dos índices por seção da norma.....	124
Tabela 26 - Correlação entre os índices e os parâmetros de referência.....	125
Tabela 27 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Desenvolvimento Econômico.....	127
Tabela 28 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Desenvolvimento Social.....	128
Tabela 29 - <i>Ranking</i> das cidades para o Índice de Desenvolvimento Ambiental.....	129
Tabela 30 - Síntese dos resultados dos índices por eixo da sustentabilidade.....	130
Tabela 31 - Matriz de correlação para a Seção 5.....	148

Tabela 32 - Matriz fatorial inicial para a Seção 5.....	148
Tabela 33 - Matriz de correlação entre os índices por seção.....	150
Tabela 34 - Parâmetros de referência para os eixos da sustentabilidade por país.....	151

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Inversão dos dados .....	72
Equação 2 - Normalização por escore padrão .....	74
Equação 3 - Média amostral .....	74
Equação 4 - Desvio-padrão .....	74
Equação 5 - Cálculo dos índices por seção da norma.....	83
Equação 6 - Peso dos indicadores para os Métodos 1 e 2 .....	84
Equação 7 - Peso dos indicadores para o Método 3 .....	86
Equação 8 - Índice de Jaccard .....	88
Equação 9 - Índice por eixo pela Média Aritmética das Seções Aderentes .....	90
Equação 10 - Índice por eixo pela Média Ponderada das Seções Aderentes .....	90
Equação 11 - Índice por eixo pela Média Ponderada do Total de Seções.....	90

## LISTA DE SIGLAS E TERMOS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ACV** – Avaliação do Ciclo de Vida

**AQUA** – Alta Qualidade Ambiental

**BREEAM** – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

**CASBEE** – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

**CAU** – Conselho de Arquitetura e Urbanismo

**CBCS** – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

**CBIC** – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

**CDI** – *City Development Index* (Índice de Desenvolvimento da Cidade)

**CDS** – Comissão de Desenvolvimento Sustentável

**CEE-268** – Comissão de Estudo Especial de Cidades e Comunidades Sustentáveis

**CMDS** – Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável

**CMMAD** – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

**CNUMAD** – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

**CPDS** – Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21

**DGA** – Direção Geral do Ambiente (Portugal)

**DGNB** – *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (Conselho Alemão para Edifícios Sustentáveis)

**DPSIR** – Driving forces-Pressures-State-Impact-Responses (Força-motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta)

**DSR** – Driving force-State-Response (Força-motriz-Estado-Resposta)

**EEA** – *European Environment Agency*

**EF** – *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica)

**EGP-Rio** – Escritório de Gerenciamento de Projetos e Metas

**EPI** – *Environmental Performance Index* (Índice de Performance Ambiental)

**FPNQ** – Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade

**GBCB** – *Green Building Council* Brasil

**GCI<sup>2</sup>** – *Global Cities Institute*

**GCI<sup>1</sup>** – *Green City Index* (Índice Verde de Cidades)

**GCIF** – *Global City Indicators Facility*

**GEE** – Gases de Efeito Estufa

**GPI** – *Genuine Progress Indicator* (Indicador de Progresso Genuíno)

**GS** – *Genuine Savings* (Poupança Genuína)

**HCI** – *Healthy Cities Indicators*

**HDI** – *Human Development Index* (Índice de Desenvolvimento Humano – IDH)

**HPI** – *Happy Planet Index* (Índice do Planeta Feliz)

**HQE** – *Haute Qualité Environnementale*

**IAA** – Indicador de Avaliação Ambiental

**IBEC** – *Institute for Building Environment and Energy Conservation*

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IDS** – Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

**IISD** – *International Institute for Sustainable Development*

**IQR** – Amplitude Interquartil

**ISO** – *International Organization of Standardization*

**JSBC** – *Japan Sustainable Building Consortium*

**KMO** – Kaiser-Meyer-Olkin

**LEED** – *Leadership in Energy and Environmental Design*

**OCDE** – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômicos (*Organization for Economic Co-operation and Development - OECD*)

**ODM** – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

**ODS** – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

**OMS** – Organização Mundial da Saúde

**ONU** – Organização das Nações Unidas

**PCRJ** – Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro

**PCS** – Programa Cidades Sustentáveis

**PIB** – Produto Interno Bruto

**PMVA** – Programa Município VerdeAzul

**Poli-USP** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**PPP** – Purchasing Power Parity (Poder de Paridade de Compra)

**PSR** – *Pressure-State-Response* (Pressão-Estado-Resposta)

**Q1** – 1º quartil

**Q2** – 2º quartil

**Q3** – 3º quartil

**RNB** – Renda Nacional Bruta (*Gross National Income – GNI*)

**Secovi** – Sindicato da Habitação

**SIDRA** – Sistema IBGE de Recuperação de Automática

**SITIUS** – *Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems* (Índices de Sustentabilidade baseados em Indicadores Temáticos para Sistemas Urbanos)

**SSI** – *Sustainable Society Index* (Índice da Sociedade Sustentável)

**STAMP** – Princípios de Avaliação e Medição da Sustentabilidade (*Sustainability Assessment and Measurement Principles*)

**TC** – Comitê Técnico

**TIC** – Tecnologia da Informação e Comunicação

**WCCD** – *World Council on City Data*

**WI** – *Wellbeing Index* (Índice de Bem-Estar)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	19
1.2	OBJETIVOS .....	20
1.2.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>20</b>
1.2.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>21</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	21
1.3.1	<b>Reunião técnica.....</b>	<b>22</b>
1.4	METODOLOGIA.....	23
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	26
2.1.1	<b>Desenvolvimento Urbano Sustentável .....</b>	<b>30</b>
2.2	INDICADORES .....	31
2.2.1	<b>Conceito .....</b>	<b>31</b>
2.2.2	<b>Indicadores de Sustentabilidade .....</b>	<b>33</b>
2.2.3	<b>Panorama de Indicadores e Índices de Sustentabilidade.....</b>	<b>38</b>
2.2.4	<b>Indicadores de Sustentabilidade no Brasil .....</b>	<b>43</b>
2.3	NORMA ABNT NBR ISO 37120:2017 .....	47
2.3.1	<b>Estrutura da ISO 37120 .....</b>	<b>48</b>
2.3.2	<b>Histórico da Norma .....</b>	<b>53</b>
2.3.3	<b>Versão Revisada ISO 37120:2018 .....</b>	<b>54</b>
2.3.4	<b>Certificação e Banco de Dados .....</b>	<b>56</b>
2.3.5	<b>Aplicação da ISO 37120 para o Rio de Janeiro .....</b>	<b>58</b>
2.4	ANÁLISE MULTIVARIADA .....	58
2.4.1	<b>Análise Fatorial.....</b>	<b>60</b>
2.4.2	<b>Análise de Agrupamentos .....</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
3.1	COLETA, TRATAMENTO E TRANSFORMAÇÃO DE DADOS.....	66
3.1.1	<b>Substituição dos Valores Ausentes.....</b>	<b>67</b>
3.1.2	<b>Amostra de Dados Final.....</b>	<b>70</b>

3.1.3	Inversão de Valores .....	71
3.1.4	Normalização dos Dados .....	73
3.2	ANÁLISE FATORIAL .....	74
3.2.1	Matriz Fatorial Inicial.....	77
3.2.2	Número de Fatores Extraídos.....	77
3.2.3	Interpretação dos Fatores .....	79
3.3	ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS .....	81
3.3.1	Crterios para a determinação do número de grupos .....	82
3.4	CÁLCULO DOS ÍNDICES POR SEÇÃO TEMÁTICA .....	83
3.4.1	Método 1 - Cargas Fatoriais Totais Ponderadas .....	84
3.4.2	Método 2 - Cargas Fatoriais Parciais Ponderadas .....	85
3.4.3	Método 3 - Cargas Fatoriais Totais Não-Ponderadas .....	86
3.4.4	Validação dos índices por seção .....	86
3.4.5	Intervalo de valores para os índices por seção temática .....	88
3.5	CÁLCULO DOS ÍNDICES POR EIXO DA SUSTENTABILIDADE .....	89
3.5.1	Método 1 – Média Aritmética das Seções Aderentes.....	90
3.5.2	Método 2 – Média Ponderada das Seções Aderentes .....	91
3.5.3	Método 3 – Média Ponderada do Total de Seções .....	91
3.5.4	Validação dos índices por eixo da sustentabilidade.....	91
3.5.5	Intervalo de valores para os índices por eixo da sustentabilidade.....	93
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>94</b>
4.1	ANÁLISE DAS CERTIFICAÇÕES DO WCCD .....	94
4.2	ANÁLISE FATORIAL .....	96
4.3	ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS .....	97
4.4	ÍNDICES POR SEÇÃO TEMÁTICA .....	100
4.4.1	Valores resultantes .....	101
4.4.2	Síntese dos resultados dos índices por seção da norma.....	124
4.5	ÍNDICES POR EIXO DA SUSTENTABILIDADE.....	124
4.5.1	Valores resultantes .....	126
4.5.2	Síntese dos resultados dos índices por eixo da sustentabilidade .....	130
4.6	SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	131
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>136</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>139</b>

<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>150</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>152</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O acelerado crescimento experimentado pelas cidades nas últimas décadas é marcado pelo expressivo aumento da população urbana, a qual estima-se que ultrapasse 68% da população mundial até 2050 (ONU, 2019a). Tal fenômeno gerou novos desafios a serem enfrentados e agravou problemas já existentes no contexto urbano, principalmente em países em desenvolvimento, onde o crescimento se deu muitas vezes de forma desordenada (GARCIA-AYLLÓN, 2016).

A métrica do desenvolvimento urbano baseada apenas na modernização e expansão das cidades se mostrou falha e insustentável ao não considerar os impactos sociais e ambientais decorrentes. Da perspectiva social, o desenvolvimento econômico não seria o objetivo final, mas o meio pelo qual o bem-estar e a justiça social seriam alcançados, atingindo assim o “desenvolvimento socioespacial” (SOUZA, 2003).

Do ponto de vista ambiental, as mudanças climáticas fomentam as discussões sobre a urgência da redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por meio da revisão das matrizes energética adotadas, do consumo de combustíveis fósseis e mesmo de hábitos alimentares. A ameaça global demanda uma adaptação das cidades e uma nova forma de pensar o modo de gestão do fluxo de energia e materiais, o que Acsehrad (1999) classifica como um dos campos da sustentabilidade urbana, em contraponto às demandas sociais.

Viu-se, portanto, também na escala das cidades, a necessidade do equilíbrio entre crescimento econômico, desenvolvimento social e preservação ambiental, aspectos definidos na Declaração de Joanesburgo (CMDS, 2002) como os pilares, ou eixos, do desenvolvimento sustentável. O conceito de cidade sustentável, no entanto, já havia sido definido anteriormente como sendo a cidade capaz de atender às necessidades de sua população atual, sem o comprometimento de recursos para o futuro (ROGER-MACHART, 1997).

A mensuração do desempenho das cidades rumo a um desenvolvimento sustentável tem um importante papel na manutenção da harmonia entre os eixos da sustentabilidade. Nesse sentido, os indicadores de desempenho são ferramentas fundamentais para o monitoramento das cidades, a partir de seus aspectos econômicos, ambientais e sociais. Os indicadores auxiliam, assim, na identificação de pontos críticos e tendências, sendo aliados nas tomadas de

decisão por parte dos gestores, além de permitirem a comparação entre diferentes cidades a partir de parâmetros semelhantes.

Não há, entretanto, um consenso para a adoção de um conjunto específico de indicadores de sustentabilidade. Ao longo dos anos, foram desenvolvidos, no Brasil e no mundo, diversos sistemas de indicadores, cada um com elementos e metodologias próprias. Apesar da importância da adequação dos indicadores à realidade de cada local, a falta de padronização das métricas dificulta a comparação entre as diferentes cidades e, por consequência, a troca de aprendizados entre estas.

Nesse contexto, a *International Organization of Standardization* (ISO) deu origem, em 2014, à norma ISO 37120 intitulada “Desenvolvimento sustentável em comunidades – indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida”, que traz a metodologia para um conjunto de 100 indicadores, distribuídos em 17 seções. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi responsável pelo lançamento, no Brasil, da versão traduzida e adaptada da norma em 2017, permitindo que o país dispusesse de um sistema de indicadores de padronização e reconhecimento internacionais (BARATTO, 2017).

A norma, que já passou por uma revisão em 2018, representou um avanço no sentido da uniformização de indicadores de sustentabilidade. Devido ao seu caráter universal, a norma favorece a transparência das informações e o *benchmarking* entre as cidades. No entanto, limitações como a ausência de valores de referência para cada indicador e a dificuldade de definição sobre o quão sustentáveis são as cidades avaliadas, mostram os desafios de se medir a sustentabilidade urbana e a abrangência desse tema de estudo.

Além desta norma, foi elaborada a ISO 37101, que estabelece um *framework* para que as cidades se desenvolvam segundo seus objetivos e visão. Baseada no modelo de melhoria contínua, a ISO 37101 utiliza indicadores e métricas, como os da ISO 37120, para apoiar a gestão para o desenvolvimento sustentável.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo a proposição de um sistema de índices de desenvolvimento sustentável elaborado pela autora e seus orientadores, a partir dos indicadores da norma ISO 37120:2014, capazes de expressar, de forma quantitativa, sintética e

representativa, o desempenho das cidades dentro de cada um dos temas da norma e para os eixos da sustentabilidade: econômico, social e ambiental.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

São objetivos específicos do estudo:

- avaliar a aderência das cidades de todo o mundo ao conjunto de indicadores da ISO 37120;
- compreender a contribuição de cada indicador na medida do desempenho das cidades em cada um dos temas propostos pela norma;
- compreender como as seções da norma podem expressar as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável;
- desenvolver um método de elaboração de índices a partir de um conjunto de indicadores que possa ser replicada para outras amostras de cidades, como para versões atualizadas na norma;
- propor índices que permitam ordenar as cidades e gerar parâmetros de referência para os temas abordados pela ISO 37120 e para os aspectos da sustentabilidade;
- validar a metodologia proposta com base em análises estatísticas a partir de parâmetros de referência internos e externos.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

O trabalho foi motivado pela necessidade de obter dados interpretativos a partir da estrutura de indicadores fornecida pela norma ABNT NBR ISO 37120:2017, tendo em vista suas limitações nesse sentido, mas também sua importância e potencial para a pesquisa no ramo de indicadores de sustentabilidade urbana.

A proposta de construção de um sistema de índices a partir dos indicadores da norma é uma tentativa de suprir demandas advindas de estudos anteriores de aplicação da ISO 37120 para cidade do Rio de Janeiro e da análise comparativa dos resultados com indicadores de outras cidades da América Latina, como visto em Couto (2018).

A ausência de valores de referência para os indicadores, tendo em vista a dificuldade de estabelecer parâmetros internacionais, dificulta a interpretação dos resultados obtidos com a aplicação da norma, o que só se faz possível a partir de uma análise comparativa entre cidades

escolhidas. Tal avaliação, entretanto, não é capaz de fornecer uma resposta clara sobre o patamar em que cada cidade se situa do ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, o desenvolvimento de índices para os 3 aspectos da sustentabilidade representa uma importante contribuição para ampliar a visão sobre o desempenho das cidades na busca de um desenvolvimento urbano mais sustentável, funcionando, assim, como um instrumento de gestão que permite focar na melhoria das dimensões desejadas.

Uma grande vantagem da utilização do conjunto de indicadores da ISO 37120 está na universalidade destes, o que permite que sejam aplicados para qualquer localidade. A existência do banco de dados do *World Council on City Data* (WCCD) com indicadores de cidades do mundo todo possibilita, assim, um estudo mais abrangente e, por consequência, com maior potencial de alcance e aplicação. Outro ponto forte é a credibilidade da metodologia e a confiabilidade dos indicadores das cidades certificadas pelo WCCD.

Apesar da norma ter passado por uma revisão em 2018, foi adotada neste trabalho a primeira versão da ISO 37120, de 2014. A escolha se deu pela ausência de indicadores referentes à versão atualizada no banco de dados consultado, visto seu caráter recente. A metodologia desenvolvida ao longo deste estudo, no entanto, pode ser facilmente aplicada a outras versões da norma.

Por fim, ressalta-se a importância de sistemas de indicadores e índices como parâmetros de diagnóstico, planejamento, monitoramento e controle do desenvolvimento urbano sustentável, auxiliando na tomada de decisão no processo de gestão urbana integral. O uso destas ferramentas, que simplificam a comunicação dos dados de diversos setores, contribuem não apenas para o planejamento das cidades, mas também para o aumento da transparência das informações.

### **1.3.1 Reunião técnica**

O estudo, anteriormente realizado, de aplicação da norma ABNT NBR ISO 37120:2017 para o cálculo dos indicadores de desenvolvimento sustentável para o município do Rio de Janeiro (COUTO, 2018), gerou um convite da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ) para a discussão do tema junto ao Escritório de Gerenciamento de Projetos e Metas (EGP-Rio).

Na ocasião, o EGP-Rio estava alocado na Subsecretaria de Planejamento e Acompanhamento de Resultados da Casa Civil, integrando o Sistema Municipal de Gestão de Alto Desempenho. Uma das competências do Escritório é "definir a metodologia de

gerenciamento de projetos e metas no âmbito da PCRJ, dando suporte, treinamento e consultoria técnica na utilização da metodologia, ferramentas e melhores práticas em gerenciamento de projeto, metas e indicadores" (RIO DE JANEIRO, 2018).

A reunião ocorreu em novembro de 2018 e contou com a presença de membros do Banco de Indicadores, sistema institucional de acompanhamento dos indicadores estratégicos da PCRJ. No encontro foram apresentados pela autora os resultados obtidos no estudo e a análise qualitativa realizada a partir da comparação dos indicadores com os de outras cidades da América Latina e também foram apontados os obstáculos encontrados durante o processo de aplicação da norma.

Outro aspecto abordado foi a dificuldade de interpretação dos resultados, visto que a norma não traz valores de referência para seus indicadores. A análise dos valores obtidos depende, portanto, da avaliação de séries históricas ou da comparação com outras cidades, o que exige um conhecimento mais amplo sobre o contexto nos quais os dados foram levantados, como mostrou o estudo.

A Prefeitura demonstrou interesse na aplicação da ISO 37120 para a obtenção da certificação junto ao WCCD. No entanto, buscou-se o aprimoramento da *expertise* no levantamento de dados por meio da adoção de outros sistemas de indicadores como o Programa Cidades Sustentáveis. Ao contrário do WCCD, o programa brasileiro é gratuito e de mais fácil adesão.

As discussões realizadas na reunião técnica alertaram para os benefícios da existência de uma metodologia que auxilie a interpretação dos indicadores levantados pela cidade, por meio da compreensão das suas relações e de uma medida agregada que forneça um diagnóstico do desempenho da cidade sem a necessidade, em um primeiro momento, de pesquisas adicionais.

#### 1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada partiu de uma pesquisa bibliográfica, a qual consistiu em uma revisão da literatura sobre o conceito de desenvolvimento sustentável, a evolução dos indicadores de sustentabilidade, a estrutura da norma ISO 37120:2014 e as bases teóricas para a análise multivariada.

A partir de então foi desenvolvido pela autora e seus orientadores, o método nomeado *Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems* (SITIUS), que engloba

todas as etapas para o cálculo dos índices de sustentabilidade com base nos indicadores da ISO 37120.

Como primeiro passo, foram levantados os valores dos indicadores de cidades certificadas pelo *World Council on City Data*, entre 2014 e 2018, por meio do seu banco de dados, totalizando 91 certificações para 61 cidades diferentes. Uma vez tratados e transformados, estes dados foram submetidos à análise fatorial e à análise de agrupamentos por meio do *software* de estatística Minitab.

A partir dos resultados obtidos, foram propostos métodos para o cálculo de índices relativos às diversas seções da ISO 37120, com a atribuição de diferentes pesos aos indicadores, tendo como base o comportamento das variáveis da amostra. Para a seleção e validação do melhor método, comparou-se os grupos formados pelo ordenamento dos índices e os agrupamentos obtidos por meio do índice de Jaccard.

Em uma etapa posterior, índices por eixo da sustentabilidade foram calculados a partir dos índices por seção temática. Desta vez a validação se deu por meio da análise da correlação entre estes índices e parâmetros externos representativos de cada dimensão estudada: econômica, social e ambiental.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A pesquisa está estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro uma introdução ao estudo, contextualizando o tema abordado e trazendo os objetivos, motivações e metodologia que guiaram o trabalho.

O segundo capítulo é constituído pelo referencial teórico, responsável pelo embasamento da pesquisa desenvolvida. São apresentados os conceitos de desenvolvimento sustentável, desenvolvimento urbano, indicadores de sustentabilidade e da análise multivariada, além de discorrer sobre a norma ISO 37120.

A metodologia empregada na pesquisa e o método desenvolvido são detalhados no terceiro capítulo. Nele estão expostos todos os procedimentos metodológicos realizados, assim como as considerações feitas, para a obtenção dos objetivos propostos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos, o que inclui o ranqueamento das cidades para todos os índices desenvolvidos, bem como as análises decorrentes.

O quinto capítulo é dedicado às considerações finais e traz uma visão geral do trabalho realizado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico pode ser segmentado em duas partes. A primeira é composta por uma revisão a respeito da temática do desenvolvimento sustentável, passando pelos indicadores de sustentabilidade. Nesta seção também é apresentada a norma ISO 37120 que trata de indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Por fim, são revisadas características e possibilidades de utilização da Análise Multivariada e suas técnicas, abordando aspectos que servirão de base para a compreensão da metodologia desenvolvida ao longo do trabalho.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo “Desenvolvimento Sustentável” passou a ser difundido em 1987 como sendo “o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (CMMAD, 1987). Apesar da definição realizada por Brundtland continuar sendo a mais aceita mesmo depois de mais de 30 anos, as discussões acerca do conceito de desenvolvimento sustentável continuam em constante evolução.

A preocupação com as questões ambientais começou bem antes, ainda no século XIX, e ganhou força a partir da Segunda Guerra. A revolução ambiental ocorrida na década de 1940 foi motivada pelas transformações do meio ambiente decorrentes do acelerado crescimento da indústria e dos padrões de consumo (SANTOS, 2009). Outro fator relevante foi a realização de testes nucleares, o que gerou pela primeira vez a percepção de um risco ambiental de proporções globais. Eventos como a crise do petróleo e o crescimento populacional geraram incertezas sobre o futuro e intensificaram as discussões sobre sustentabilidade ao final da década de 1960 (BARBOSA, 2008).

O período marca, ainda, o início do que ficou conhecido como “Clube de Roma”, um grupo de especialistas de diversos países que se reuniram para discutir questões políticas, econômicas, sociais e de sustentabilidade ambiental. O Clube de Roma ganhou notoriedade quando, em 1972, publicou o relatório intitulado “Os Limites do Crescimento”, resultado de simulações computacionais que buscavam entender o impacto do homem no meio ambiente. As variáveis do estudo foram o crescimento populacional, produção industrial e de alimentos e aumento da poluição e da exploração de recursos naturais (MARTINS, 2015). Os resultados alertavam para a insustentabilidade do modelo de exploração de recursos do planeta.

É nesse contexto que a Organização das Nações Unidas (ONU) convoca a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em Estocolmo (Suécia) em 1972. A declaração final da conferência é tida como um Manifesto Ambiental e já alertava para o risco de danos irreversíveis ao planeta e o comprometimento dos recursos para as gerações seguintes, constituindo um marco para a defesa do meio ambiente (ONU-BR, 2019a). Maurice Strong e Ignacy Sachs participaram da redação da Declaração de Estocolmo e foram os responsáveis, respectivamente, pela criação e difusão do termo “Ecodesenvolvimento” (MONTIBELLER FILHO, 1993). O conceito, que é a base do desenvolvimento sustentável, apresentaria cinco dimensões de sustentabilidade: social, econômica, ecológica, espacial e cultural (SACHS, 1993).

Em 1983, Gro Harlem Brundtland, ex-Primeira Ministra da Noruega, médica e mestre em saúde pública, é convidada a presidir a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). A Comissão de Brundtland, como é chamada, foi responsável pela publicação do relatório “Nosso Futuro Comum”, que contém a mais conhecida, e já citada, definição de desenvolvimento sustentável, de que este é “o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (CMMAD, 1987). O relatório traz a questão da sustentabilidade para o discurso público, propondo mudanças na exploração de recursos e a reorientação de políticas e investimento em prol do alinhamento entre crescimento econômico, meio ambiente e demandas sociais.

O relatório de Brundtland expõe a incompatibilidade entre a pobreza e desigualdade social e a preservação do meio ambiente e defende a assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento, ressaltando que o desenvolvimento sustentável é de interesse de todos os países (CMMAD, 1987). A cooperação proposta não é apenas entre países, mas entre governos, organizações, indústrias e a comunidade científica. A sustentabilidade dependeria, então, de transformações políticas, tecnológicas e sociais. O relatório sofreu duras críticas, no entanto, ao atribuir a insustentabilidade à pobreza do Terceiro Mundo e minimizar o grande impacto ambiental gerado pelas atividades dos países ricos ao longo dos séculos (GONÇALVES, 2005).

As discussões levantadas pela Comissão de Brundtland levaram à realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), na cidade do Rio de Janeiro, em 1992. Conhecida como Rio 92, a conferência instituiu a Agenda 21, documento que traz um plano de ação de alcance local, nacional e global, definindo objetivos para a promoção de um desenvolvimento sustentável (CNUMAD, 1993). Dessa

forma, a Agenda 21 consolida, de vez, o conceito de desenvolvimento sustentável, ao ser o primeiro documento a traduzi-lo em ações práticas, traçando diretrizes para um desenvolvimento que concilie crescimento econômico, justiça social e manutenção dos recursos ambientais. Outro produto da Rio 92 foi a Carta da Terra, declaração de princípios básicos para a construção de uma sociedade global sustentável, que afirma que os povos são interdependentes e responsáveis uns pelos outros.

Dez anos depois, em 2002, a conferência teve sua edição seguinte em Joanesburgo, África do Sul. A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (CMDS), também conhecida como Rio+10, teve por objetivo fazer um balanço dos avanços obtidos após a Rio 92 e propor soluções para os novos desafios. No entanto, os resultados foram frustrantes e representaram até mesmo retrocessos em compromissos firmados anteriormente (GUIMARÃES; FONTOURA, 2012). Em relação a Rio+20, realizada em 2012, novamente no Rio de Janeiro, os autores apontam que o fracasso da conferência já estava anunciado em seus preparativos, com a pouca exigência de comprometimento dos chefes de Estado e discussões que pareciam se limitar ao campo teórico e acadêmico.

Uma nova agenda foi definida em 2015, na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, que aconteceu em Nova Iorque. A Agenda 2030 tem como principais pautas o combate à pobreza, a garantia de dignidade e bem-estar, a preservação ambiental e o enfrentamento das mudanças climáticas. O novo plano de ação apresenta os 17 novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são compostos por 169 metas a serem implantadas até 2030. Os ODS foram baseados nos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), de 2000 (ONU-BR, 2019b).

Os ODS (Figura 1) são: 1) erradicação da pobreza; 2) fome zero e agricultura sustentável; 3) saúde e bem-estar; 4) educação de qualidade; 5) igualdade de gênero; 6) água potável e saneamento; 7) energia limpa e acessível; 8) trabalho decente e crescimento econômico; 9) indústria, inovação e infraestrutura; 10) redução das desigualdades; 11) cidades e comunidades sustentáveis; 12) consumo e produção responsáveis; 13) ação contra a mudança global do clima; 14) vida na água; 15) vida terrestre; 16) paz, justiça e instituições eficazes; 17) parcerias e meios de implementação.



Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.  
Fonte: ONU-BR (2019b).

A ausência de rigor na definição do conceito de desenvolvimento sustentável é responsável por uma certa banalização do termo e seu uso indiscriminado nos diversos setores da sociedade. A vantagem de uma definição generalista, entretanto, seria política, permitindo sua aceitação em diversos espaços sem se limitar a um grupo ou posição específica (LÉLÉ, 1991). Gonçalves (2005) considera positiva a popularização do termo, à medida que as discussões extrapolaram as dimensões acadêmicas e do poder público e alcançaram a população, promovendo reflexões e transformando o conceito em ações por parte dos cidadãos por meio de mudanças nos hábitos de consumo e redução de desperdício.

Outras críticas ao conceito apontam a contradição dos termos “desenvolvimento” e “sustentabilidade”. A controvérsia, no entanto, é minimizada por (VEIGA, 2017), que propõe que os substantivos sejam analisados de forma separada. Para Veiga, desenvolvimento é “a possibilidade de as pessoas viverem o tipo de vida que escolheram, e com a provisão dos instrumentos e das oportunidades para que façam tais escolhas”, sendo o crescimento econômico apenas uma das dimensões do desenvolvimento.

O desenvolvimento sustentável é tratado por Veiga (2017) como uma utopia, em seu aspecto positivo, como um ideal que a civilização deveria ter para o futuro. A visão de que se trata de um processo contínuo e de longo prazo também é defendida por Bezerra e Bursztyn (2000), que apontam a necessidade de um plano de desenvolvimento nacional para orientar as políticas públicas e a sociedade. Por fim, o desenvolvimento sustentável pode ser definido com um processo de transformações institucionais, tecnológicas e de consumo, visando reduzir os impactos futuros (CANEPA, 2007).

### 2.1.1 Desenvolvimento Urbano Sustentável

Com o crescimento da população urbana, do consumo e da exploração de recursos, as cidades se tornaram pontos centrais nas discussões sobre sustentabilidade. A urbanização gera reflexos negativos como a degradação ambiental pelo uso e ocupação do solo, esgotamento de recursos, disposição inadequada de resíduos, carência de infraestruturas básicas, dificuldades de mobilidade, aumento da pobreza e da desigualdade social (GOMES, 2019). Para Abiko e Moraes (2009), tais impactos não são apenas locais, visto que as cidades constituem sistemas abertos que se comunicam com outros ambientes.

O modelo de sociedade pautado na exploração da natureza, em que a população se afasta fisicamente das fontes de energia, alimentação e demais produtos e degrada o meio ambiente, é responsável por gerar a contradição entre os termos “urbano” e “sustentável”. Segundo Costa (1999), há uma fragilidade conceitual alimentada pelas formulações teóricas destes termos nos diversos setores, como na política, nos movimentos sociais e na própria Academia. No entanto, a autora vislumbra a solução para o impasse em medidas práticas de planejamento urbano que conciliam as noções do social/urbano e do ambiental.

A discussão sobre a construção de cidades mais sustentáveis, entretanto, não pode se limitar à redução do consumo de recursos e ao aproveitamento de espaço, como previsto no modelo de cidades compactas, uma vez que o acesso às redes de infraestrutura e a exposição aos riscos ambientais é desigual entre a população. Para Acselrad (2007), apenas uma modernização ecológica não seria capaz de vencer a crise social instaurada, sendo necessário um desenvolvimento baseado na democratização das cidades, visando o combate à segregação socioespacial e garantindo o direito à cidade.

Não existiria, portanto, um modelo único ou ideal de cidade sustentável. Deve-se considerar a pluralidade de formas sociais de articulação entre o ambiental e o urbano e a possibilidade de diversos modos duráveis entre estas (ACSELRAD, 1999). Acselrad aponta a existência de diferentes matrizes no discurso da sustentabilidade urbana na proposição de novas estruturas urbanas sustentáveis.

A primeira seria a representação tecno-material, visão na qual a cidade seria estruturada por vetores de consumo e produção de rejeitos e que, dessa forma, a sustentabilidade só seria alcançada pelo ajuste desses vetores por meio de modelos de eficiência energética e do equilíbrio metabólico, análise que desconsidera as interações sociais e políticas do meio urbano. Outra matriz defende a sustentabilidade baseada na qualidade de vida, em que a materialidade

daria lugar aos modelos da pureza, cidadania e patrimônio. Por fim, a cidade é representada como um espaço de legitimação das políticas públicas, onde a sustentabilidade só seria alcançada pela reestruturação das políticas públicas tendo como base modelos de eficiência e equidade (ACSELRAD, 1999).

Apesar dos avanços promovidos pelos debates acerca do desenvolvimento sustentável ao longo das décadas, Prado (2015) questiona a existência, de fato, de cidades sustentáveis. Isso porque o ambiente urbano continuaria sendo regido pela lógica de mercado, incorporando algumas questões ambientais, mas sem que houvesse a reformulação dos processos produtivos. A exploração do conceito de cidade sustentável como uma mera estratégia de marketing, sem ações efetivas, já havia sido alertada por Emelianoff (2003) e acaba por enfraquecer o debate acerca da sustentabilidade e torná-lo superficial.

## 2.2 INDICADORES

As diversas definições atribuídas aos indicadores convergem sobre seu importante papel na simplificação e comunicação da informação a ser transmitida. Sua capacidade de apontar tendências, identificar pontos críticos e acompanhar a evolução de um fenômeno observado faz dos indicadores fortes aliados no monitoramento e tomadas de decisão. No contexto do desenvolvimento sustentável, tendo em vista o caráter temporal deste conceito, os indicadores auxiliam no entendimento dos impactos das ações passadas sobre o presente e em sua projeção para o futuro.

### 2.2.1 Conceito

De acordo com a *European Environment Agency* (EEA) (2003), um indicador é uma medida quantitativa que, ao agregar múltiplos dados, sintetiza a informação e simplifica a compreensão de fenômenos complexos. A EEA ainda aponta a importância dos indicadores para identificação de tendências e avaliação de progressos ao longo do tempo.

A visão dos indicadores como uma ferramenta quantitativa para representar a informação é compartilhada por Oliveira, Lantelme e Formoso (1995). O indicador seria uma relação numérica que tem por objetivo a comparação de seus valores com metas numéricas estabelecidas (FPNQ, 1995).

Para a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (2002), trata-se de um parâmetro, ou a resultante de parâmetros, capaz de descrever ou indicar um fenômeno de maior amplitude.

A ideia de que indicadores têm a função de explicar fenômenos de maior dimensão também é apresentada por Gallopín (1996). Segundo o autor, indicadores podem ser interpretados como variáveis e não apenas valores. Para se especificar um sistema, portanto, seria necessário atribuir variáveis que representassem de forma operacional os atributos (qualidade, características e propriedade) do mesmo.

Gallopín (1996) alerta para necessidade de se romper a visão restritiva de que os indicadores são apenas medidas quantitativas. O autor classifica os indicadores como variáveis qualitativas, variáveis ordinais e variáveis quantitativas. A utilização de variáveis qualitativas seria privilegiada na ausência de valores quantitativos, em casos de dificuldade de se mensurar os atributos (como em aspectos culturais) ou por limitações de custo.

Indicadores também poderiam ser classificados, de acordo com seu nível de agregação e de percepção (local, nacional, regional e global), como uma variável individual ou uma função (simples ou complexa) de variáveis (GALLOPÍN, 1996).

Uma função de um ou mais indicadores ou sub-índices constitui um “índice”, que seria um patamar elevado na sintetização da informação. A relação entre a quantidade de informação disponível e seu nível de condensação é apresentada pela pirâmide de informação (Figura 2).

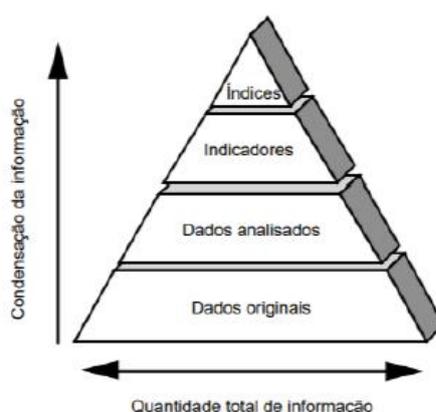


Figura 2 - Pirâmide da informação.  
Fonte: DGA (2000).

Dessa forma, os indicadores representam um modelo da realidade e não a realidade em si (BELLEN, 2005). Para Bellen, um modelo eficaz deve apresentar uma metodologia consistente e ser passível de validação.

Os atributos de um indicador, para que este corresponda a uma boa e sólida representação da realidade, foram apresentados pela EEA (2003). São estes:

- corresponder ao interesse do público-alvo;
- ser atraente aos olhos e acessível;
- ser de fácil interpretação;
- incentivar a busca por mais informações;
- ser representativo da questão ou área abordada;
- mostrar progressos em um intervalo de tempo relevante (um período no qual as alterações podem ser observadas);
- incluir um valor de referência para comparar as alterações ao longo do tempo;
- apresentar uma explicação das causas por trás das tendências;
- ser comparável com outros indicadores que descrevem áreas, setores ou atividades;
- ser cientificamente fundamentado;
- ser baseado em estatísticas sólidas.

### **2.2.2 Indicadores de Sustentabilidade**

A complexidade de se definir e avaliar o desenvolvimento urbano sustentável faz com que os indicadores tenham um papel fundamental para a construção de cidades mais sustentáveis, pois auxiliam na medição e monitoramento de suas ações destas rumo aos objetivos traçados (HIREMATH *et al.*, 2013). Sendo o desenvolvimento sustentável um sistema dinâmico de interação entre o homem e o meio ambiente, os indicadores devem ser capazes de mensurar quais processos melhor contribuem para a manutenção e perpetuação desse sistema ao longo do tempo (HÁK; MOLDAN; DAHL, 2007).

Nesse sentido, os indicadores de sustentabilidade servem de base para a avaliar o desempenho das políticas adotadas, apontar mudanças a serem feitas e projetar ações futuras para tornar as cidades mais sustentáveis (GHOSH; VALE; VALE, 2006). Como ferramenta de simplificação e comunicação das informações para a comunidade, os indicadores também desempenham um importante papel. Tratam-se de elementos concretos que embasam as demandas da população por medidas mais sustentáveis no setor público e privado, mas que

também promovem a reflexão dos impactos de ações individuais na construção da sustentabilidade (MACLAREN, 1996).

Grande parte dos sistemas de indicadores foi criada para tratar assuntos específicos (como indicadores ambientais, econômicos, de saúde, educação, entre outros) e, embora representem aspectos importantes na compreensão do desenvolvimento sustentável, não constituem por si só indicadores de sustentabilidade. Hák, Moldan e Dahl (2007) criticam essa abordagem por esta não ser capaz de representar a interação entre as diferentes áreas. Para os autores, um indicador de sustentabilidade deve refletir o todo e não as partes. Segundo Bellen (2005), “os problemas complexos do desenvolvimento sustentável requerem sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou a agregação de diferentes indicadores”.

Para Maclaren (1996), o que distingue um indicador de sustentabilidade urbana de simples indicadores ambientais, econômicos ou sociais é o fato do primeiro possuir características de:

- Integração – quando um indicador é relevante para mais de uma área, podendo ser um indicador simples ou resultado da combinação de dois ou mais indicadores;
- Prospecção – quando é capaz de medir o progresso rumo a equidade intergeracional. Podem ser indicadores de tendência (permitindo ações reativas) ou indicadores preditivos (permitindo ações proativas a partir de modelos de projeção);
- Distribuição – quando é capaz de medir a equidade intrageracional de uma sociedade ou região geográfica. Um exemplo são os indicadores que apontam para desigualdades sociais ou possibilitam identificar se a fonte de degradação ambiental é local ou não-local;
- Contribuição de várias partes interessadas – quando o indicador é desenvolvido com a participação de diversos setores da sociedade, o que o torna mais confiável e mais representativo.

Segundo a autora, um indicador de sustentabilidade pode não ser capaz de reunir os três primeiros aspectos, mas deve apresentar ao menos um destes. Já a última característica é importante para todos os indicadores urbanos. Um sistema de indicadores deve possuir todas estas características se analisado o conjunto de seus elementos.

O nível de agregação dos dados é outro aspecto a ser avaliado na construção e escolha de indicadores de sustentabilidade. Se por um lado indicadores muito agregados facilitam a comunicação da informação, por outro podem comprometer a análise do fenômeno ou a

identificação do problema. Bellen (2005) destaca a importância da condensação da informação, seja em indicadores ou índices, no processo de monitoramento da sustentabilidade e no processo decisório em seu mais alto nível de tomada de decisão.

Bellen (2005) pondera, no entanto, que os dados que compõem os indicadores agregados devem estar estratificados de acordo com setores da sociedade ou sua distribuição espacial. Bossel (1999) alerta que a perda de informação é inerente ao processo de agregação e que este pode ameaçar a saúde do sistema, principalmente na combinação de indicadores de diferentes setores e unidades de medida.

Nesse contexto, o papel da comunidade científica não estaria restrito ao processo de elaboração dos indicadores de sustentabilidade, mas se estenderia no auxílio da compreensão da informação transmitida por estes, comunicando suas implicações, deficiências, interpretações e uso possíveis (GALLOPÍN, 1996).

Outro decisivo fator na etapa de seleção de um indicador de sustentabilidade é o autor dessa escolha. Sob esta perspectiva existem dois modelos para o desenvolvimento dos indicadores: *bottom-up* e *top-down*. O primeiro consiste num processo de escolha liderado pelos cidadãos e de aplicação limitada aos níveis local ou regional. Já no segundo modelo, os indicadores são definidos por especialistas e possuem alcance global (VERMA; RAGHUBANSHI, 2018).

A seleção de indicadores por especialistas tende a levar em consideração aspectos como a aplicabilidade dos indicadores, o acesso a dados e as limitações de tempo e recursos. Por outro lado, a comunidade tende a priorizar as demandas socioeconômicas e institucionais, negligenciando aspectos importantes da sustentabilidade (DAWODU; CHESHMEHZANGI; WILLIAMS, 2019). Os autores propõem a fusão entre as abordagens, incluindo ao modelo *top-down* uma etapa participativa por meio de questionários junto à população.

Alguns requisitos a serem observados na busca por indicadores de desenvolvimento sustentável foram enumerados por Bossel (1999) e resumem as especificidades já apresentadas desta ferramenta. São estes:

- Indicadores de desenvolvimento sustentável são necessários para orientar as políticas e decisões em todos os níveis da sociedade: bairro, cidade, município, estado, região, nação, continente e mundo;

- Esses indicadores devem representar todas as preocupações importantes: uma coleção de indicadores de diversas áreas não é suficiente se não houver uma abordagem mais sistemática que considere a interação dos sistemas e seu ambiente;
- O número de indicadores deve ser o menor possível capaz de atender as necessidades, devendo ser ao mesmo tempo compacto e abrangente;
- O processo de seleção de um conjunto de indicadores deve ser participativo, garantindo que estejam refletidas as visões e valores da comunidade ou região para a qual foi desenvolvido. Os indicadores devem ser claramente definidos, reproduzíveis, inequívocos, compreensíveis e práticos;
- Deve ser facilmente possível deduzir a viabilidade e sustentabilidade dos desenvolvimentos atuais e comparar com caminhos de desenvolvimento alternativos;
- É necessário que haja uma estrutura, um processo e critérios para encontrar um conjunto adequado de indicadores de desenvolvimento sustentável.

É no contexto de crescentes discussões sobre a necessidade de criação de indicadores de sustentabilidade que, em 1996, um grupo de pesquisadores e especialistas de todas as partes do mundo se reúnem em Bellagio, na Itália, para revisar os métodos de avaliação do desenvolvimento sustentável e sintetizá-los em um documento. O resultado foi o estabelecimento dos “Princípios de Bellagio”, 10 princípios que serviriam como diretrizes para todo o processo de avaliação, incluindo a escolha dos indicadores e de sua estrutura, sua interpretação e comunicação dos resultados (HARDI; ZDAN, 1997).

Um novo encontro promovido em Bellagio pela IISD (*International Institute for Sustainable Development*) e a OCDE, em 2009, teve o intuito de revisar os princípios, eliminando algumas ambiguidades e duplicações e dando ênfase a alguns pontos (PINTÉR *et al.*, 2012). Os 8 princípios resultantes receberam o nome de Princípios de Avaliação e Medição da Sustentabilidade (STAMP - *Sustainability Assessment and Measurement Principles*) e estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Princípios de Avaliação e Medição da Sustentabilidade – STAMP.

#### 1. VISÃO ORIENTADA E METAS

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável será orientada pelo objetivo de proporcionar bem-estar dentro da capacidade da biosfera de sustentá-lo para as gerações futuras.

## 2. CONSIDERAÇÕES ESSENCIAIS

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável levará em consideração:

- o sistema social, econômico e ambiental subjacente como um todo e as interações entre seus componentes, incluindo questões relacionadas à governança;
- a dinâmica e interações entre tendências atuais e fatores de mudança;
- riscos, incertezas e atividades que podem ter um impacto para além das fronteiras;
- implicações para a tomada de decisão, incluindo *trade-offs* e sinergias.

## 3. ESCOPO ADEQUADO

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável adotará:

- horizonte de tempo apropriado para capturar os efeitos de curto e longo prazo das decisões políticas atuais e das atividades humanas;
- um âmbito geográfico adequado.

## 4. ESTRUTURA E INDICADORES

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável será baseada em:

- uma estrutura conceitual que identifique os domínios dentro dos quais os principais indicadores de avaliação do progresso devem ser classificados;
- métodos de medição padronizados, sempre que possível, visando a comparabilidade;
- comparação dos valores dos indicadores com as metas, tanto quanto possível.

## 5. TRANSPARÊNCIA

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável irá:

- garantir que os dados, indicadores e resultados da avaliação sejam acessíveis ao público;
- explicar as escolhas, premissas e incertezas que determinam os resultados da avaliação;
- divulgar fontes e métodos de obtenção dos dados;
- divulgar todas as fontes de financiamento e possíveis conflitos de interesse.

## 6. COMUNICAÇÃO EFICIENTE

Visando uma comunicação eficaz, para atrair o maior público possível e minimizar o risco de uso indevido, a avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável irá:

- usar linguagem simples e clara;
- apresentar informações de maneira adequada e objetiva a fim de transmitir confiança;
- usar ferramentas visuais e gráficos inovadores para ajudar na interpretação e transmissão da ideia;
- disponibilizar os dados com o máximo de detalhes possíveis e confiáveis.

### 7. AMPLA PARTICIPAÇÃO

Para fortalecer sua legitimidade e relevância, a avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável deve:

- encontrar maneiras apropriadas de refletir as opiniões do público, ao mesmo tempo em que exerce liderança ativa;
- envolver-se desde o início com os usuários da avaliação, para que ela melhor atenda às suas necessidades.

### 8. CONTINUIDADE E CAPACIDADE

A avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável exigirá:

- medições contínuas;
- capacidade de resposta às mudanças;
- investimento para desenvolver e manter capacidade adequada;
- aprendizado e aprimoramento contínuos.

Fonte: PINTÉR et al., 2012.

## 2.2.3 Panorama de Indicadores e Índices de Sustentabilidade

A necessidade da criação de ferramentas capazes de mensurar o avanço em direção ao desenvolvimento sustentável já era prevista no Relatório de Brundtland, em 1987. A temática ganhou força com a Agenda 21, estabelecida como meta global na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento de 1992.

A Agenda 21, em seus capítulos 8 e 40, previa a criação de indicadores para monitoramento e avaliação da sustentabilidade, em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais (CNUMAD, 1995). O documento não delegava apenas a responsabilidade aos países e suas organizações, como também estabelecia que as Nações Unidas, em cooperação com outros organismos, atuariam na elaboração de recomendações para a criação dos indicadores, nos níveis nacional, regional e global. Surge, então, a Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS).

A partir de 1995, surgem movimentos que trazem novas perspectivas na elaboração de indicadores de sustentabilidade. Estes se baseiam na construção de coleções ecléticas de indicadores, conhecidas como “dashboards”, ou na composição de índices. Até então, a maioria das abordagens tinha como ponto de partida dados econômicos para se chegar a indicadores de bem-estar econômico ou progresso genuíno (VEIGA, 2010).

Os sistemas de indicadores podem ter suas estruturas baseadas no modelo Pressão-Estado-Resposta (PSR – *Pressure – State – Response*), em temas que abordem as dimensões da sustentabilidade ou, ainda, no fluxo de material e energia (HUANG; WU; YAN, 2015).

O modelo PSR (Figura 3) foi desenvolvido em 1991 pela OCDE, sendo pioneiro na elaboração de indicadores ambientais. Os indicadores de pressão correspondem às pressões no meio ambiente exercidas pelas atividades humanas, os indicadores de estado apontam a qualidade do ambiente e a disponibilidade de recursos enquanto os indicadores de resposta estão relacionados às reações da sociedade frente às questões ambientais (BELLEN, 2005). O modelo permite, assim, a observação da interdependência entre meio ambiente e sociedade.

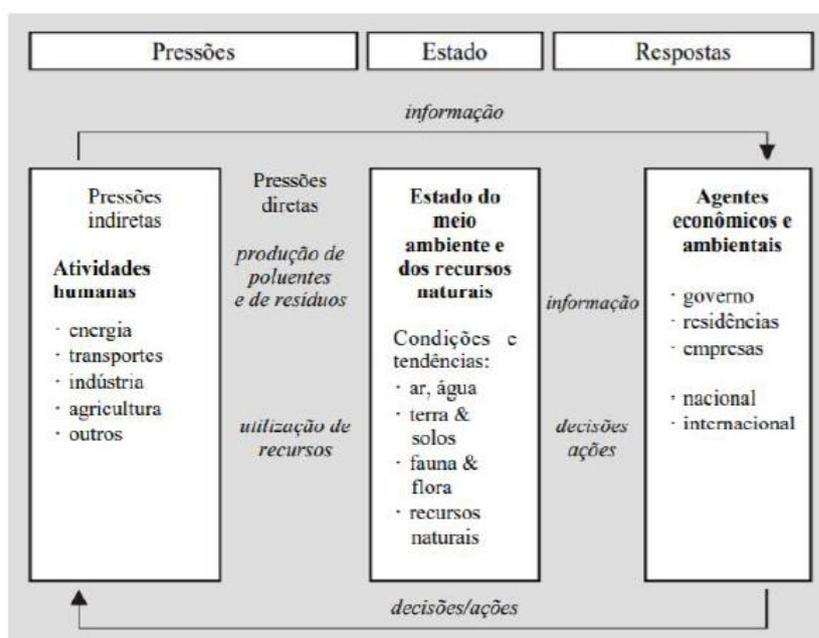


Figura 3 - Modelo pressão-estado-respostas (PSR).

Fonte: OCDE (2002).

Outras diversas versões foram criadas a partir do sistema PSR, entre as quais se destacam o modelo Força-motriz – Estado – Resposta (DSR – *Driving force – State – Response*), utilizado pelas Nações Unidas em 1996 e o modelo Força-motriz – Pressão – Estado – Impacto – Resposta (DPSIR – *Driving forces – Pressures – State – Impact – Responses*), desenvolvido pela EEA (MALHEIROS; PHILIPPI JR.; COUTINHO, 2008). O sistema DPSIR funciona como um ciclo no qual a força-motriz são as atividades que causam pressões sobre o meio ambiente, alterando sua qualidade ou estado e gerando impactos sobre os ecossistemas e à saúde humana que demandam respostas da sociedade e, conseqüentemente, a modificação desta força-motriz (EEA, 2003).

Sistemas de indicadores orientados por temáticas apresentam estruturas mais flexíveis e são organizados de acordo com as dimensões econômicas, sociais, ambientais e institucionais da sustentabilidade (HUANG; WU; YAN, 2015). Os autores apontam os indicadores desenvolvidos pela CDS em 2001 como o conjunto de indicadores mais influentes dentre os que apresentam esta estrutura. Esta versão foi revisada em 2007, resultando em um sistema com 96 indicadores divididos em 14 temas e 44 subtemas (ONU, 2007).

Esse conjunto de indicadores de sustentabilidade é fruto de um trabalho de seis anos das Nações Unidas. O Programa de Trabalho da CDS teve início em 1995 e foi dividido em três fases, nas quais contou com o apoio de governos e de organizações não-governamentais (ONU, 2001). A primeira fase consistiu no desenvolvimento de uma ficha metodológica para os indicadores selecionados e resultou na publicação do Livro Azul (“*Blue Book*”). Nesta fase, tentou-se inicialmente utilizar o modelo DSR, mas este foi substituído pela classificação por temas e subtemas. Na segunda fase foi realizada a capacitação dos países voluntários e a aplicação experimental dos indicadores. Por fim, na terceira fase os resultados foram avaliados e os indicadores passaram por uma última revisão antes da publicação em 2001.

Se os indicadores da CDS estavam alinhados aos Objetivos do Milênio, o lançamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável com Agenda 2030, de 2015, fez com que a ONU estabelecesse uma nova estrutura de indicadores em 2017. Para monitorar o progresso dos países na tentativa de alcançar as metas estabelecidas para se atingir os ODS, foi definido um conjunto de 244 indicadores (ONU, 2017). No entanto, o número real de indicadores é de 232, já que 9 deles são utilizados no monitoramento de mais de uma meta. Em 2019 foi lançado um banco de dados global, uma plataforma onde é possível acompanhar os indicadores de acordo com o país e o ano selecionado (ONU, 2019b).

Outros exemplos de sistemas de indicadores de alcance global são o *Healthy Cities Indicators* (HCI), da Organização Mundial da Saúde (OMS); o *Global Urban Indicators Database*, uma plataforma de 103 indicadores da ONU-Habitat que permite a comparação entre cidades (ONU-Habitat, 2019); e a ISO 37120, com indicadores apresentados na plataforma do *World Council on City Data* (WCCD).

A estrutura de temas e subtemas também é muito adotada por cidades e países de forma isolada. Um exemplo pioneiro foi visto no Reino Unido, em 1999, quando este elaborou um conjunto de indicadores econômicos, ambientais e sociais. O documento chamado “*A Better Quality of life*” propunha um desenvolvimento sustentável pautado na melhoria da qualidade

de vida (UK, 2005). Uma nova estratégia para o desenvolvimento sustentável foi proposta pelo Reino Unido em 2005, como o uso de indicadores para o monitoramento dos principais aspectos do país. Foram estabelecidas, ainda, 4 áreas prioritárias: o consumo e produção sustentáveis; as mudanças climáticas e a energia; a preservação dos recursos naturais e a recuperação ambiental; e o desenvolvimento de comunidades sustentáveis (UK, 2005).

O terceiro tipo de sistema de indicadores é o baseado no fluxo de material e energia. Indicadores de sustentabilidade aplicados ao contexto urbano seriam construídos segundo a abordagem do metabolismo urbano, como o indicador de pegada ecológica. Outra estrutura de indicadores estaria baseada no conceito de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (HUANG; WU; YAN, 2015), uma ferramenta que permite a avaliação do impacto ambiental de um produto ao longo de todo seu ciclo de vida (REX; BAUMANN, 2008). O entrave, no entanto, estaria na representação da sustentabilidade como um todo, visto que na Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida o estudo de indicadores sociais ainda apresenta muitas lacunas (KUHNNEN; HAHN, 2017).

Os índices compostos que são relevantes para o desenvolvimento sustentável urbano e que englobam ao menos dois aspectos da sustentabilidade foram levantados por Huang, Wu e Yan (2015), são eles:

- Pegada Ecológica (*Ecological Footprint* – EF)
- Índice Verde de Cidades (*Green City Index* – GCI<sup>1</sup>)
- Índice de Desenvolvimento da Cidade (*City Development Index* – CDI)
- Índice de Performance Ambiental (*Environmental Performance Index* – EPI)
- Indicador de Progresso Genuíno (*Genuine Progress Indicator* – GPI)
- Poupança Genuína (*Genuine Savings* – GS)
- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH ou *Human Development Index* – HDI)
- Índice do Planeta Feliz (*Happy Planet Index* – HPI)
- Índice de Bem-Estar (*Wellbeing Index* – WI)
- Índice da Sociedade Sustentável (*Sustainable Society Index* – SSI)

Além de indicadores e índices para monitoramento do desenvolvimento sustentável de países, regiões e cidades, surgiram no cenário mundial diversos processos de certificação para bairros e loteamentos. Muitas dessas certificações são variantes de sistemas já existentes para avaliação da sustentabilidade de edificações. O sistema de certificação pioneiro foi o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), criado no Reino Unido

na década de 1990. Depois deste surgiram outros como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o HQE (*Haute Qualité Environnementale*), o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*), o DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) e o Green Star.

O Quadro 2 mostra as versões desses sistemas criadas para certificação de bairros e loteamentos sustentáveis.

Quadro 2 - Certificações de bairros e loteamentos sustentáveis.

SISTEMA	PAÍS	VERSÃO	APLICAÇÃO
BREEAM	Reino Unido	BREEAM <i>Communities</i>	Projetos de desenvolvimento urbano <sup>1</sup>
LEED	Estados Unidos	LEED <i>Neighborhood Development (ND)</i>	Projetos de desenvolvimento de novas zonas ou de renovação local <sup>1</sup>
HQE	França	HQE <i>Urban Planning and Development</i>	Projetos de desenvolvimento urbano <sup>2</sup>
CASBEE	Japão	CASBEE <i>for Urban Development</i>	Projetos para zonas e áreas urbanas <sup>1</sup>
DGNB	Alemanha	DGNB <i>Urban District</i>	Bairros urbanos (área mínima de 2 ha) <sup>2</sup>
Green Star	Austrália	<i>Green Star Communities</i>	Desenvolvimento de bairros ou escala comunitária <sup>1</sup>

Fonte: PIRES (2017)<sup>1</sup>. ALLIANCE HQE-GBC FRANCE (2016)<sup>2</sup>. Adaptado pela autora.

A certificação CASBEE desenvolveu, ainda, uma versão para a escala das cidades, a CASBEE *for Cities*. Em sua versão piloto, o sistema se baseou nos indicadores dos ODS e nos da norma ISO 37120 (JSBC; IBEC, 2015). O WCCD também é um sistema de certificação para cidades, mas se difere dos demais por não medir a performance destas, como será visto na seção dedicada a esta certificação.

## 2.2.4 Indicadores de Sustentabilidade no Brasil

No Brasil, a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 (CPDS) foi a responsável por coordenar o desenvolvimento de uma Agenda 21 nacional, entre 1996 e 2002. A Agenda 21 Brasileira foi criada para ser um instrumento de planejamento participativo na busca pelo desenvolvimento sustentável. Em 2003, a Agenda 21 ganhou caráter de Programa, sendo incorporada ao Plano Plurianual 2004/2007 do governo. Como Programa, visava ações que promovessem a implementação da Agenda 21 Brasileira e a criação de Agendas 21 Locais (BRASIL, 2019a).

No mesmo ano em que a Agenda 21 Brasileira é concluída, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) lança os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS), conjunto de indicadores de sustentabilidade pioneiros no país. A elaboração dos IDS seguiu as recomendações fornecidas no Livro Azul da CDS, mantendo a abordagem sobre as dimensões ambiental, social, econômica e institucional. O IBGE, no entanto, fez adaptações, optando por excluir certos indicadores e incluir outros, como os referentes a desigualdade racial (IBGE, 2015).

Novas edições dos IDS foram lançadas em 2004, 2008, 2010, 2012 e 2015, passando por aprimoramentos e revisões ao longo desse período. Os IDS foram também incorporados ao SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação de Automática), plataforma de dados do IBGE, onde podem ser encontradas séries históricas dos indicadores em nível nacional, por região e por estado. A última atualização dos indicadores no SIDRA foi realizada em 2017 (IBGE, 2017).

As adaptações e aprimoramentos do sistema de indicadores, no entanto, não foram capazes de promover uma real integração entre os IDS e a Agenda 21 Brasileira (MALHEIROS; PHILIPPI JR.; COUTINHO, 2008). Os autores apontam deficiências nos IDS na abordagem de importantes temas para o desenvolvimento sustentável e a dificuldade de sua utilização para acompanhar os avanços da aplicação da Agenda 21 no país.

Com a criação da Agenda 2030 e dos 17 ODS, foi estabelecido um novo sistema de 244 indicadores para monitorar o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o IBGE lançou uma plataforma de Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A plataforma, que ainda está sendo atualizada, apresenta os indicadores enunciados pela ONU que foram construídos pelo IBGE e instituições parceiras. Para cada indicador dos ODS já disponível, são fornecidos os valores dos dados utilizados, a série histórica dos valores do

indicador e sua ficha metodológica. A Figura 4 mostra o avanço do trabalho realizado pelo IBGE na produção dos 244 indicadores.

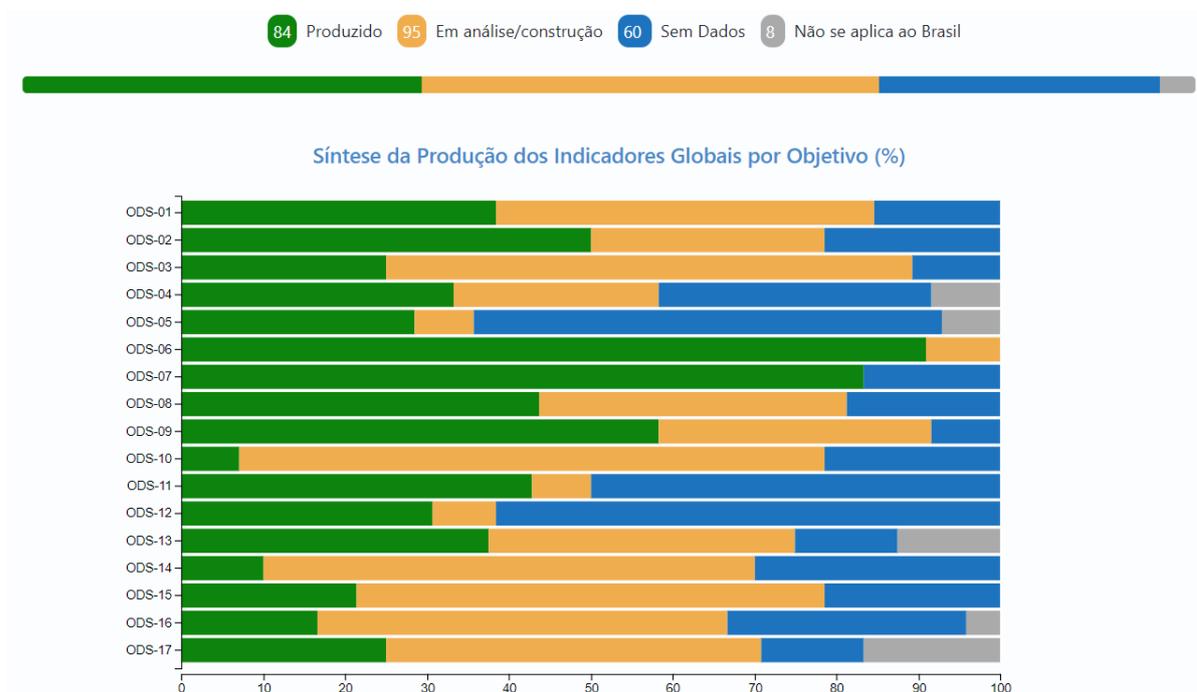


Figura 4 - Síntese da produção dos indicadores globais por ODS.  
Fonte: IBGE (2021).

A desvantagem de sistemas de indicadores em nível nacional é que estes são insuficientes para responder as demandas de informação na escala municipal (VEIGA, 2009). Nesse contexto, foram criados sistemas de indicadores para avaliar o desenvolvimento sustentável de cidades brasileiras, entre os quais se destacam o Programa Cidades Sustentáveis (PCS) e a norma ABNT NBR ISO 37120:2017. O Quadro 3 traz a comparação entre estes.

Quadro 3 - Caracterização dos sistemas de indicadores PCS e NBR ISO 37120.

PARÂMETRO	PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS	ABNT NBR ISO 37120 :2017
Ano de criação	2011	2017 (no Brasil)
Aplicação	Cidades brasileiras	Cidades, municipalidades e governos locais ao redor do mundo

<b>PARÂMETRO</b>	<b>PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS</b>	<b>ABNT NBR ISO 37120 :2017</b>
<b>Número de indicadores</b>	260	100
<b>Eixos temáticos</b>	12	17
<b>Periodicidade</b>	Anual	Anual
<b>Tipo de indicadores</b>	Quantitativos (81%) e qualitativos (19%)	Quantitativos (100%)
<b>Informações</b>	Fórmulas; relação com o ODS e meta da agenda 2030; exemplos mundiais de boas práticas (por eixo)	Fórmulas; definições detalhadas; fonte de dados; notas adaptadas para o Brasil
<b>Plataforma</b>	Plataforma Cidades Sustentáveis	WCCD

Fonte: COUTO; DI GREGORIO, 2020.

O Programa Cidades Sustentáveis foi lançado em parceria pela Rede Nossa São Paulo, a Rede Social Brasileira por Cidades Justas e Sustentáveis e o Instituto Ethos, em 2011. Seus 260 indicadores estão distribuídos em 12 eixos temáticos inspirados no Compromisso de Aalborg (PCS, 2019), são eles:

- Governança;
- Bens naturais Comuns;
- Equidade, Justiça Social e Cultura de Paz;
- Gestão local para Sustentabilidade;
- Planejamento e Desenho Urbano;
- Cultura para Sustentabilidade;
- Educação para a Sustentabilidade e Qualidade de Vida;
- Economia Local Dinâmica, Criativa e Sustentável;
- Consumo Responsável e Opções de Estilo de Vida;
- Melhor Mobilidade, Menos Tráfego;
- Ação Local para a Saúde;
- Do Local para o Global.

O Programa dispõe, ainda, de uma plataforma na qual é possível comparar as mais de 200 cidades que aderiram ao sistema de indicadores. A adesão é gratuita e realizada a partir da assinatura de uma carta-compromisso. Nela o representante da cidade se compromete a divulgar um número mínimo de indicadores, definido pelo tamanho de sua população, por meio do documento chamado Diagnóstico do Município.

A comparação entre as abordagens do PCS e da ISO 37120 foi proposta por Couto e Di Gregorio (2020), a partir da análise dos indicadores do PCS um a um e da distribuição destes entre os eixos da norma ISO. Concluiu-se que mais de 50% dos indicadores do PCS tratam dos temas de educação, governança, economia e saúde, resultando numa avaliação mais detalhada destes. Enquanto isso, a ISO 37120 engloba mais aspectos da sustentabilidade, mas de forma superficial. Outra diferença é o alcance dos sistemas, uma vez que o PCS aborda informações inerentes ao contexto brasileiro, não podendo ser expandido para cidades de outros países.

Outro sistema de indicadores brasileiro é o Programa Município VerdeAzul (PMVA), lançado pelo Governo do Estado de São Paulo em 2007. Com foco na agenda ambiental das cidades, o PMVA ranqueia os municípios para 10 Diretivas, são elas: Município Sustentável; Estrutura e Educação Ambiental; Conselho Ambiental; Biodiversidade; Gestão das Águas; Qualidade do Ar; Uso do Solo; Arborização Urbana; Esgoto Tratado; e Resíduos Sólidos (SÃO PAULO, 2020). A posição global do município é dada a partir da avaliação do Indicador de Avaliação Ambiental (IAA) resultante.

Uma característica dos indicadores para as cidades brasileiras é que, em geral, estão mais associados ao conceito de Cidades Inteligentes que ao de Cidades Sustentáveis (MACHADO JÚNIOR *et al.*, 2018). Indicadores para avaliar cidades inteligentes devem abordar, além dos 3 pilares da sustentabilidade, o aspecto digital. Em um estudo com diversas cidades de pequeno, médio e grande porte, Machado Júnior *et al.* (2018) constataram que o aspecto digital tende a ser privilegiado em relação ao ambiental.

Critérios de sustentabilidade foram também aplicados em escala ainda mais reduzida, como é o caso de certificações de bairros e loteamentos. No Brasil, a certificação internacional LEED ND pode ser conseguida por meio do *Green Building Council* Brasil (GBCB, 2015). Há ainda a certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) para bairros e loteamentos, versão brasileira da certificação francesa HQE, aplicada no país pela Fundação Vanzolini (2015).

Quanto a critérios desenvolvidos no Brasil, o Selo Casa Azul ganha destaque. Trata-se de uma avaliação da Caixa Econômica Federal para os projetos habitacionais que financia. Os

diferentes níveis de selo são dados de acordo com o número de critérios de ordem socioambiental atendidos pelo empreendimento (BRASIL, 2019b).

### 2.3 NORMA ABNT NBR ISO 37120:2017

Intitulada “Desenvolvimento sustentável em comunidades – indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida” a norma ABNT NBR ISO 37120 é a primeira a tratar sobre cidades sustentáveis no Brasil. Ela consiste na tradução da norma internacional ISO 37120:2014 e sua adaptação à realidade brasileira.

A norma apresenta 17 eixos temáticos, que juntos somam 100 indicadores, classificados em cada seção como sendo essenciais ou de apoio. Com o objetivo avaliar o desempenho dos serviços urbanos e a qualidade de vida da população, a norma aborda aspectos econômicos, sociais e ambientais das cidades (ABNT, 2017). Dentro das seções, cada indicador é definido e tem suas metodologias de cálculo apresentadas.

A ISO 37120 surge em um contexto de acelerado crescimento das cidades. Dados da ISO (2014) apontam que de todo o Produto Interno Bruto (PIB) produzido no planeta, 70% tem origem nas cidades e que população destas representa 53% da população mundial, com estimativas de que esse número se aproxime de 70% até 2050. No Brasil, a população urbana representava cerca de 84% da população total em 2010, segundo o censo, e a previsão é que mais de 90% da população brasileira seja urbana já em 2030 (FERRETTI, 2016).

O desafio de garantir cidades mais sustentáveis, resilientes e prósperas, com serviços urbanos de qualidade e bem-estar da população motivou a criação destes indicadores de desenvolvimento sustentável. O sistema de indicadores seria uma ferramenta para monitorar o desempenho das cidades, apontar pontos críticos e, assim, auxiliar no planejamento urbano e na tomada de decisão dos gestores.

O alcance da norma é bem vasto, já que seu escopo prevê sua implementação em cidades, municipalidades ou governos locais, independente do seu tamanho ou localização. A facilidade de aplicação da ISO 37120 é um fator fundamental para a padronização de indicadores de desenvolvimento sustentável em escala global, favorecendo a comparação entre diferentes localidades e incentivando o intercâmbio de experiências e boas práticas entre estas.

A possibilidade de se confrontar indicadores de diferentes cidades, ou de um mesmo local ao longo do tempo, é um fator chave, visto que a norma não estabelece parâmetros de

referência para seus indicadores. Assim, sua interpretação é restrita a uma análise comparativa dos resultados.

Além dos benefícios já citados, como a medição do desempenho das cidades e o compartilhamento de boas práticas, a ISO apresenta outras vantagens da aplicação da norma, como:

- a) maior eficácia da governança e dos serviços ofertados;
- b) metas e parâmetros internacionais de comparação;
- c) valores de referência locais, permitindo a obtenção de uma série histórica e auxiliando no planejamento;
- d) tomada de decisão mais consciente por parte de políticos e gestores;
- e) troca de experiências entre as cidades;
- f) reconhecimento por parte de entidades internacionais e do governo, o que pode atrair investimentos e favorecer financiamentos;
- g) criação de uma referência para o desenvolvimento sustentável;
- h) aumento da transparência das informações, atraindo investimentos;
- i) adoção de um conjunto de indicadores confiáveis, visto a credibilidade e abrangência da entidade.

A ISO 37120 representa, ainda, uma importante ferramenta na condução de um planejamento urbano que vise a construção de cidades inteligentes (SABRI *et al.*, 2015). A razão seria a importância de dados geoespaciais para o cálculo da maioria dos indicadores, além da necessidade de ferramentas inovadoras que integrassem dados geoespaciais aos dados da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

Além disso, a ISO 37120 compõe de uma família de normas que tratam de indicadores urbanos, que conta ainda com a ISO 37122, de indicadores para cidades inteligentes e a ISO 37123, de indicadores para cidades resilientes.

### **2.3.1 Estrutura da ISO 37120**

São apresentadas três classificações para os indicadores na norma: essenciais, de apoio e de perfil. Os 46 indicadores essenciais e os 54 de apoio estão divididos em 17 temas que

tratam dos serviços urbanos e da qualidade de vida nas cidades. É para este conjunto de 100 indicadores que norma estabelece metodologias de cálculo. Os essenciais, seriam os indicadores ditos indispensáveis para a compreensão das cidades, ao passo que os de apoio seriam os recomendáveis. Enquanto isso, os 39 indicadores de perfil trariam informações básicas que constituiriam uma referência para a escolha das cidades a serem comparadas.

Para cada tema abordado é destinada uma seção, assim os 17 temas estão distribuídos entre as seções 5 e 21 da norma. Não há, entretanto, nenhuma hierarquia entre as seções. Em cada uma destas, os indicadores são apresentados por tópicos que apontam generalidades, requisitos, notas e eventualmente dão indícios sobre fontes de dados e interpretação de resultados. O rigor da norma se apresenta nos requisitos de cada indicador, quando é apresentado seu cálculo e são definidos o formato e critérios de obtenção dos dados que o compõem.

Visando a adaptação da norma para o Brasil, a ABNT acrescentou notas brasileiras para alguns indicadores. Estas notas auxiliam a traçar um paralelo com a realidade brasileira, apontando quais seriam os termos utilizados no país, os dados locais correspondentes e suas possíveis fontes de consulta.

O Quadro 4 apresenta os indicadores da ABNT NBR ISO 37120:2017, distribuídos em suas respectivas seções. Em negrito estão destacados os indicadores essenciais, sendo os demais os de apoio.

Quadro 4 - Indicadores da ABNT NBR ISO 37120:2017 por seção.

SEÇÃO	INDICADOR
Economia	<b>5.1. Taxa de desemprego da cidade</b>
	<b>5.2. Valor de avaliação de propriedades comerciais e industriais como uma porcentagem do valor de avaliação total de todas as propriedades</b>
	<b>5.3. Porcentagem da população abaixo da linha da pobreza</b>
	5.4. Porcentagem da população com emprego em tempo integral
	5.5. Taxa de desemprego de jovens
	5.6. Número de empresas por 100 000 habitantes
	5.7. Número de novas patentes por 100 000 habitantes por ano
Educação	<b>6.1. Porcentagem da população feminina em idade escolar matriculada em escolas</b>

SEÇÃO	INDICADOR
	<b>6.2. Porcentagem de estudantes com ensino primário completo: taxa de sobrevivência</b>
	<b>6.3. Porcentagem de estudantes com ensino secundário completo: taxa de sobrevivência</b>
	<b>6.4. Relação estudante/professor no ensino primário</b>
	6.5. Porcentagem de população masculina em idade escolar matriculada em escolas
	6.6. Porcentagem de população em idade escolar matriculada em escolas
	6.7. Número de indivíduos com ensino superior completo por 100 000 habitantes
	Energia
<b>7.2. Porcentagem de habitantes da cidade com fornecimento regular de energia elétrica</b>	
<b>7.3. Consumo de energia de edifícios públicos por ano (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	
<b>7.4. Porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis, como parte do consumo total de energia da cidade</b>	
7.5. Uso total de energia elétrica <i>per capita</i> (kWh/ano)	
7.6. Número médio de interrupções de energia elétrica por consumidor por ano	
7.7. Duração média das interrupções de energia elétrica (em horas)	
Meio Ambiente	<b>8.1. Concentração de material particulado fino (PM 2.5) (x10<sup>-6</sup> g/m<sup>3</sup>)</b>
	<b>8.2. Concentração de material particulado (PM 10) (x10<sup>-6</sup> g/m<sup>3</sup>)</b>
	<b>8.3. Emissão de gases de efeito estufa, medida em toneladas <i>per capita</i></b>
	8.4. Concentração de NO <sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio) (x10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup> )
	8.5. Concentração de SO <sub>2</sub> (dióxido de enxofre) (x10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup> )
	8.6. Concentração de O <sub>3</sub> (ozônio) (x10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup> )
	8.7. Poluição sonora
	8.8. Variação percentual em número de espécies nativas
Finanças	<b>9.1. Taxa de endividamento (expansão do serviço da dívida como uma porcentagem da receita própria do município)</b>
	9.2. Despesas de capital como porcentagem de despesas totais
	9.3. Porcentagem da receita própria em função do total das receitas
	9.4. Porcentagem dos impostos recolhidos em função dos impostos cobrados
Resposta a Incêndios e Emergências	<b>10.1. Número de bombeiros por 100 000 habitantes</b>
	<b>10.2. Número de mortes relacionadas a incêndios por 100 000 habitantes</b>
	<b>10.3. Número de mortes relacionadas a desastres naturais por 100 000 habitantes</b>

SEÇÃO	INDICADOR
	10.4. Número de bombeiros voluntários e em tempo parcial por 100 000 habitantes
	10.5. Tempo de resposta dos serviços de emergência a partir do primeiro chamado (minutos)
	10.6. Tempo de respostas do Corpo de Bombeiros a partir do primeiro chamado (minutos)
Governança	<b>11.1. Porcentagem de participação dos eleitores nas últimas eleições municipais em função do total de eleitores aptos a votar</b>
	<b>11.2. Porcentagem de mulheres eleitas em função do número total de eleitos na gestão da cidade</b>
	11.3. Porcentagem de mulheres empregadas na gestão da cidade
	11.4. Número de condenações de servidores da cidade por corrupção e/ou subornos por 100 000 habitantes
	11.5. Representação de cidades: número de autoridades locais eleitas para o cargo por 100 000 habitantes
	11.6. Porcentagem de eleitores registrados em função da população com idade para votar
Saúde	<b>12.1. Expectativa média de vida (anos)</b>
	<b>12.2. Número de leitos hospitalares por 100 000 habitantes</b>
	<b>12.3. Número de médicos por 100 000 habitantes</b>
	<b>12.4. Taxa de mortalidade de crianças menores de cinco anos a cada 1 000 nascidos vivos</b>
	12.5. Número de pessoas da equipe de enfermagem e obstetrícia por 100 000 habitantes
	12.6. Número de profissionais de saúde mental por 100 000 habitantes
	12.7. Taxa de suicídio por 100 000 habitantes
Recreação	13.1. Área em metros quadrados, de espaços públicos de recreação cobertos <i>per capita</i>
	13.2. Área, em metros quadrados, de espaços públicos de recreação ao ar livre <i>per capita</i>
Segurança	<b>14.1. Número de agentes de polícia por 100 000 habitantes</b>
	<b>14.2. Número de homicídios por 100 000 habitantes</b>
	14.3. Crimes contra a propriedade por 100 000 habitantes
	14.4. Tempo de resposta da polícia a partir do primeiro chamado (minutos)
	14.5. Taxa de crimes violentos por 100 000 habitantes

SEÇÃO	INDICADOR
Habitação	<b>15.1. Porcentagem da população urbana morando em favelas</b>
	15.2. Número de sem-teto por 100 000 habitantes
	15.3. Porcentagem de moradias sem títulos de propriedade registrados
Resíduos Sólidos	<b>16.1. Porcentagem da população urbana com coleta regular de resíduos sólidos (domiciliar)</b>
	<b>16.2. Total de coleta de resíduos sólidos municipais <i>per capita</i> (toneladas)</b>
	<b>16.3. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos que são reciclados</b>
	16.4. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários
	16.5. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos para incineração
	16.6. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos queimados a céu aberto
	16.7. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos dispostos em lixões a céu aberto
	16.8. Porcentagem de resíduos sólidos dispostos por outros meios
	16.9. Geração de resíduos perigosos <i>per capita</i> (toneladas)
	16.10. Porcentagem de resíduos urbanos perigosos não reciclados
Telecomunicações e Inovação	<b>17.1. Número de conexões de <i>internet</i> por 100 000 habitantes</b>
	<b>17.2. Número de conexões de telefone celular por 100 000 habitantes</b>
	17.3. Número de conexões de telefone fixo por 100 000 habitantes
Transporte	<b>18.1. Quilômetros de sistema de transporte público de alta capacidade por 100 000 habitantes</b>
	<b>18.2. Quilômetros de sistema de transporte público de média capacidade por 100 000 habitantes</b>
	<b>18.3. Número anual de viagens em transporte público <i>per capita</i></b>
	<b>18.4. Número de automóveis privados <i>per capita</i></b>
	18.5. Porcentagem de passageiros que se deslocam para o trabalho de forma alternativa ao automóvel privado
	18.6. Número de veículos motorizados de duas rodas <i>per capita</i>
	18.7. Quilômetros de ciclovias e ciclofaixas por 100 000 habitantes
	18.8. Mortalidades de trânsito por 100 000 habitantes
	18.9. Conectividade aérea (número de partidas de voos comerciais sem escalas)
Planejamento Urbano	<b>19.1. Áreas verdes (hectares) por 100 000 habitantes</b>
	19.2. Número de árvores plantadas anualmente por 100 000 habitantes
	19.3. Porcentagem de área de assentamentos informais em função da área total da cidade
	19.4. Relação empregos/habitação

SEÇÃO	INDICADOR
Esgotos	<b>20.1. Porcentagem da população urbana atendida por sistemas de coleta e afastamento de esgoto</b>
	<b>20.2. Porcentagem de coleta do esgoto, que não recebeu qualquer tratamento</b>
	<b>20.3. Porcentagem do esgoto da cidade que recebe tratamento primário</b>
	<b>20.4. Porcentagem do esgoto da cidade que recebe tratamento secundário</b>
	<b>20.5. Porcentagem do esgoto da cidade que recebe tratamento terciário</b>
Água e Saneamento	<b>21.1. Porcentagem da população da cidade com serviço de abastecimento de água potável</b>
	<b>21.2. Porcentagem da população da cidade com acesso a uma fonte de água adequada para o consumo</b>
	<b>21.3. Porcentagem da população da cidade com acesso a saneamento melhorado</b>
	<b>21.4. Consumo doméstico total de água <i>per capita</i> (litros por dia)</b>
	21.5. Consumo total de água <i>per capita</i> (litros por dia)
	21.6. Valor médio anual de horas de interrupção do abastecimento de água por domicílio (horas)
	21.7. Porcentagem das perdas de água (água não faturada)

Fonte: ABNT (2017). Adaptado pela autora.

### 2.3.2 Histórico da Norma

A estrutura da ISO 37120 teve como base o conjunto de indicadores do Centro de Indicadores da Cidade Global (*Global City Indicators Facility*, GCIF), abrigado pelo Instituto das Cidades Globais (*Global Cities Institute*, GCI<sup>2</sup>), na Universidade de Toronto (GCI<sup>2</sup>, 2017). O GCIF já tinha como objetivo a criação de uma rede de cidades, em que seria possível a comparação de indicadores e o compartilhamento de conhecimentos e boas práticas entre seus membros. Para manter o sistema de padronização de indicadores, o GCIF contava, ainda, com o apoio do Banco Mundial e do Governo de Ontário, no Canadá (HOORNWEG; FREIRE, 2013).

Originalmente o conjunto de indicadores era dividido em 20 temas pertinentes ao desenvolvimento sustentável, estes eram classificados entre serviços urbanos ou qualidade de vida. O projeto piloto contou com os dados disponibilizados por nove cidades parceiras de países como o Brasil, Colômbia, Estados Unidos e Canadá. O projeto se expandiu e a plataforma

*online* para compartilhamento de dados passou a contar com indicadores de mais de 200 cidades, distribuídas por todos os continentes (MCCARNEY, 2013).

A fim de aumentar o rigor técnico e a confiabilidade dos indicadores, foi criado pela ISO o Comitê Técnico para cidades sustentáveis (TC-268). O comitê foi encarregado de refinar os indicadores do GCIF e suas metodologias, o que originou a ISO 37120:2014, lançada na Cúpula das Cidades Globais (*Global Cities Summit*). O TC-268 é responsável pela elaboração de outras normas na mesma temática, como a ISO 37122:2019 – Indicadores para Cidades Inteligentes e a ISO 37123:2019 – Indicadores para Cidades Resilientes.

#### 2.3.2.1 A norma no Brasil

No Brasil, a norma foi publicada pela ABNT como NBR ISO 37120:2017. A versão brasileira é fruto do trabalho da Comissão de Estudo Especial de Cidades e Comunidades Sustentáveis (CEE-268), espelho da TC-268. Presidida pelo professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), Alex Abiko, a CEE-268 foi responsável pela tradução da norma para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade e à legislação vigentes no país.

A criação da CEE-268, em 2015, foi uma demanda do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), grupo que já contava com a participação de Abiko. Segundo o professor, a academia carecia de uma métrica brasileira para indicadores de desenvolvimento sustentável (BARATTO, 2017). Tendo em vista a numerosa quantidade de métodos existentes no mundo e a falta de padronização entre estes, a adoção de uma norma ISO, de credibilidade e alcance mundiais, se mostrou a escolha mais adequada.

A elaboração da norma contou também com a contribuição de outras instituições como o extinto Ministério das Cidades, a Caixa Econômica Federal, o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) e o Sindicato da Habitação (Secovi).

#### 2.3.3 Versão Revisada ISO 37120:2018

Após quatro anos da sua primeira versão, a ISO 37120:2014 passou por um processo de revisão pelo comitê técnico TC-268, dando lugar a ISO 37120:2018. A organização também passou a relacionar a norma aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, indicando a contribuição da ISO 37120 para 9 ODS (Figura 5) dos 17 totais. O novo documento, publicado pela ABNT em 2021, traz algumas alterações em sua estrutura e eixos temáticos (ISO, 2018).

Destaca-se a participação ativa da comissão ABNT/CEE-268, da qual a autora é membro atuante, na revisão da norma. Foram levantados diversos pontos de alteração ao texto da ISO 37120, de acordo com especificidades observadas a partir da realidade brasileira.

Com a revisão, foi retirada a seção de Resposta a Incêndios e Emergências, que teve parte de seus indicadores incorporados à temática de segurança. Surgiram, ainda, três novas seções: População e Condições Sociais; Esporte e Cultura; e Agricultura Urbana/Local e Segurança Alimentar. Em outros casos, os títulos das seções sofreram algumas alterações, como a seção de Meio Ambiente, na qual foi acrescido o termo “Mudanças Climáticas”. A seção Águas e Saneamento, passou a se chamar apenas Águas em 2018 e a seção Habitação teve seu termo em inglês alterado de “*Shelter*” para “*Housing*”.



Figura 5 - ODS abordados pela ISO 37120:2018.  
Fonte: ISO (2018). Adaptado pela autora.

Dentro de cada seção foram criados novos indicadores, alguns foram excluídos, enquanto outros tiveram sua classificação alterada, entre essenciais, de apoio e de perfil. Certos indicadores de perfil passaram também a fazer parte do corpo da norma, sendo incorporados a determinadas seções, como ocorreu nos temas Economia, Energia, Finanças, Habitação, População e Condições Sociais, Transporte e Planejamento Urbano.

Em sua nova versão a ISO 37120 passa a contar com 45 indicadores essenciais, 59 indicadores de apoio e 24 indicadores de perfil, dispostos em 19 temas. Entre as seções 5 e 23 da norma, os indicadores essenciais e de apoio continuam sendo apresentados na mesma estrutura entre generalidade, requisitos e eventuais informações sobre fontes ou interpretação.

Os novos indicadores, no entanto, ainda não foram incorporados à plataforma do WCCD. A ausência de uma amostra de cidades certificadas em conformidade com a versão revisada da ISO 37120 foi o fator que impossibilitou a adoção da norma atualizada no presente estudo. Apesar disso, a metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser facilmente estendida

à nova versão da norma mediante uma amostra representativa de cidades e seus respectivos indicadores.

### 2.3.4 Certificação e Banco de Dados

Além do processo de normatização, foi desenvolvido um sistema de certificação a partir dos indicadores da ISO 37120:2014 (Figura 6). O conselho responsável pela certificação é o *World Council on City Data* (WCCD), lançado juntamente com a norma durante a Cúpula das Cidades Globais. O WCCD conta com o apoio e consultoria de líderes de cidades e organizações que atuam na promoção de uma agenda global para a padronização de indicadores para as cidades.

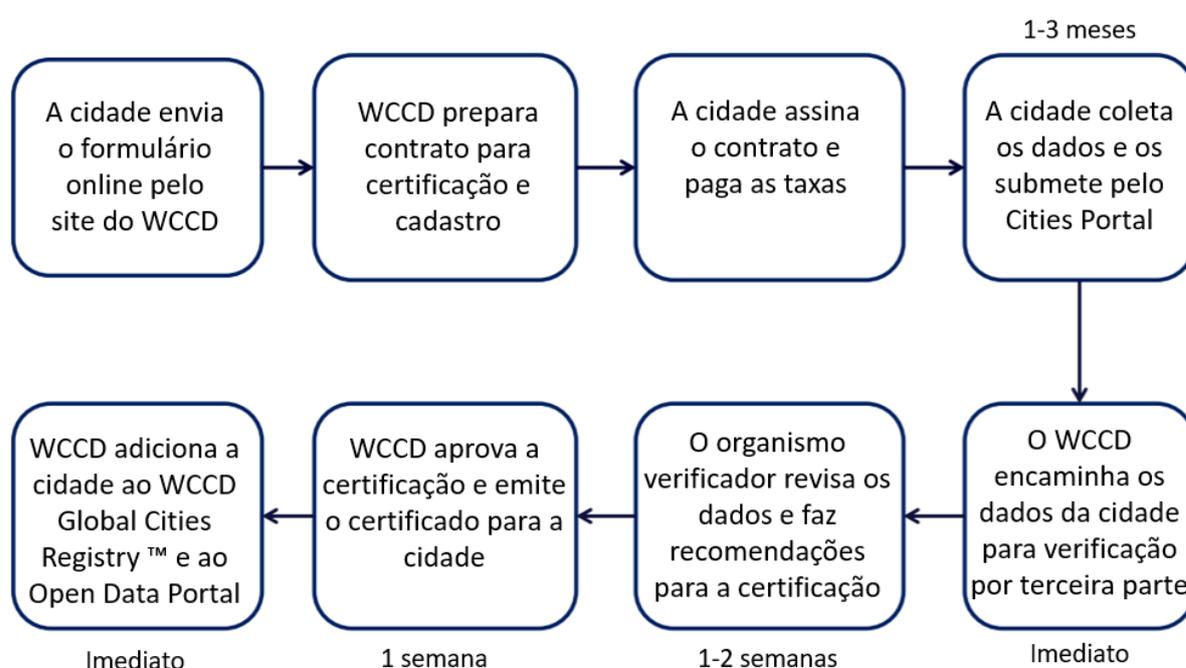


Figura 6 - Processo de certificação pelo WCCD.

Fonte: CITYNET (2016). Adaptado pela autora.

As certificações são anuais e incluem a cidade no *Global Cities Registry™*, lista das cidades certificadas pelo WCCD. O banco de dados com todos os indicadores de desenvolvimento sustentável fornecidos pelas cidades pode ser acessado a partir do *Open Data Portal*. A plataforma apresenta uma interface que favorece a comparação entre as cidades, um dos principais objetivos da norma.

Nela é possível visualizar a lista completa de indicadores de até 5 cidades ao mesmo tempo, visualizar as cidades que disponibilizaram um indicador específico, por meio da função

“Map”, ou analisar até 3 indicadores para um grupo de 30 cidades simultaneamente, por meio da função “Graph”. A observação da tendência do comportamento dos indicadores para uma mesma cidade ao longo do tempo está prevista na função “Trends”, que será construída com a certificação contínua das cidades participantes.

Embora no processo de obtenção do certificado seja realizada uma verificação por terceira parte, cujo custo é incluído na taxa cobrada pelo WCCD, Negreiros (2018) aponta que o conselho não apresenta de fato uma acreditação para este sistema de certificação, o que pode comprometer a confiabilidade dos dados.

Além disso, certificação não considera o desempenho das cidades em cada indicador. A avaliação é feita pelo número de indicadores disponibilizados no ano de referência, ou seja, pelo grau de transparência destas cidades. Este é um aspecto importante, capaz de gerar interpretações equivocadas quanto aos diferentes níveis de certificação. As cinco classificações para os certificados estão apresentadas na Figura 7 e são:

- aspirante – 30 a 45 indicadores essenciais;
- bronze – 46 a 59 indicadores, sendo 46 indicadores essenciais e os demais de apoio;
- prata – 60 a 75, sendo 46 indicadores essenciais e os demais de apoio;
- ouro – 76 a 90, sendo 46 indicadores essenciais e os demais de apoio;
- platina – 91 a 100, sendo 46 indicadores essenciais e os demais de apoio.



Figura 7 - Certificações da ISO 37120:2014 pelo WCCD.

Fonte: CITYNET (2016).

Atualmente o WCCD já realizou 110 certificações, para o total de 67 cidades diferentes, todas elas tendo como referência a primeira versão da norma, a ISO 37120:2014.

### 2.3.5 Aplicação da ISO 37120 para o Rio de Janeiro

A aplicação da ISO 37120:2017 para a cidade do Rio de Janeiro foi objeto de um estudo acadêmico anterior realizado pela autora do presente trabalho. O levantamento de dados para a cidade permitiu o cálculo de 60 dos 100 indicadores estabelecidos pela norma. Destes, 30 são indicadores essenciais e ou outros 30 são indicadores de apoio (COUTO, 2018). O resultado obtido corresponderia à certificação aspirante se submetido ao WCCD.

O processo de coletas de dados para a capital fluminense evidenciou dificuldades quanto à aplicação da norma para as cidades brasileiras. O primeiro entrave é em relação à periodicidade dos dados, como o caso do censo demográfico do IBGE, que é realizado a cada 10 anos e foi fundamental para o trabalho. Esse fator fez com que os indicadores, em 2017, fossem calculados tendo como referência o ano de 2010, data do último censo até aquele momento. Outras dificuldades na obtenção dos dados dizem respeito à ausência ou incompatibilidade da padronização dos indicadores e à falta de clareza quanto aos critérios e metodologias adotados.

Os indicadores calculados para o Rio de Janeiro foram, ainda, comparados com os das cidades da América Latina certificadas pelo WCCD, como uma tentativa de interpretar os resultados encontrados. Na ocasião, as cidades disponíveis no banco de dados eram Bogotá, Buenos Aires, Guadalajara e León. A análise comparativa se deu para cada um dos 100 indicadores da norma e apontou para um melhor desempenho de Buenos Aires em relação às demais cidades, atuando como *benchmark* para a maioria destes indicadores (COUTO, 2018).

## 2.4 ANÁLISE MULTIVARIADA

A Análise multivariada engloba uma série de técnicas estatísticas que permitem a análise de múltiplas variáveis interrelacionadas, de maneira que a interpretação dos seus efeitos conjuntos só será possível quando feita de forma integrada (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Apesar do conceito ter se originado no início do século XX, o desenvolvimento das técnicas multivariadas só foi possível com o avanço tecnológico, notadamente com o advento da programação computacional (VICINI, 2005). A aplicação da análise multivariada, portanto, é realizada na maioria dos casos por meio de *softwares* de estatística que permitem o processamento de um grande conjunto de dados de forma rápida e precisa.

Cabe ao pesquisador, no entanto, a escolha da técnica adequada aos objetivos do estudo, o tratamento dos dados de entrada e a interpretação dos resultados. Ao longo do processo de análise o pesquisador tem que tomar decisões a partir de critérios muitas vezes subjetivos, exigindo conhecimento das técnicas aplicadas e do campo estudado (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

As técnicas multivariadas são, em muitos casos, extensões de técnicas univariadas. Elas podem ser divididas, de acordo com a relação estabelecida entre as variáveis, em técnicas de dependência e técnicas de interdependência.

Nas técnicas de dependência, uma variável ou um conjunto de variáveis dependentes são explicados por variáveis identificadas como independentes. Dentro deste grupo as técnicas podem, ainda, ser categorizadas segundo o número de variáveis dependentes ou pela escala de medida das variáveis (métricas/não-métricas).

Já nas técnicas de interdependência, as variáveis não podem ser definidas como dependentes ou independentes. Nesse caso o conjunto de variáveis é analisado como um todo de forma a se extrair uma estrutura derivada da original.

As principais técnicas multivariadas estão apresentadas no Quadro 5, de acordo com sua classificação.

Quadro 5 - Principais técnicas de Análise Multivariada.

<b>TÉCNICAS DE DEPENDÊNCIA</b>	<b>TÉCNICAS DE INTERDEPENDÊNCIA</b>
Regressão múltipla e correlação múltipla	Análise de agrupamentos
Análise discriminante múltipla e regressão logística	Análise de componentes principais e análise dos fatores comuns (análise fatorial)
Análise de correlação canônica	Mapeamento perceptual (escalonamento multidimensional)
Análise multivariada de variância e covariância	Modelagem de equações estruturais e análise fatorial confirmatória
Análise conjunta	Análise de correspondência

Fonte: HAIR JÚNIOR *et al.* (2009).

A análise fatorial e a análise de agrupamentos são técnicas de interdependência métricas. Enquanto a primeira condensa a informação em fatores para reduzir o número de variáveis, a segunda propõe uma divisão dos objetos em grupos a partir dos valores de suas variáveis.

### 2.4.1 Análise Fatorial

A análise fatorial tem como principal objetivo definir uma nova estrutura em que dimensões compostas (fatores) sejam capazes de condensar os dados contidos nas numerosas variáveis originais, com a menor perda de informação possível. Esses fatores seriam conjuntos de variáveis altamente correlacionadas entre si (HAIR JÚNIOR *et al*, 2009). A aplicação da análise fatorial para a matriz de correlação das variáveis é o tipo mais comum e recebe o nome de Análise Fatorial R. No entanto, também é possível fazer esta análise sobre os respondentes, o que corresponde a Análise Fatorial Q.

Com esta técnica é possível resumir ou reduzir os dados. O resumo se daria pela definição de fatores que, em menor número que as variáveis originais, conseguem representar a quase totalidade da variabilidade dos dados. As contribuições das variáveis em cada fator são chamadas de “cargas fatoriais”. Já a redução ocorre quando para cada fator é atribuído um valor empírico único (score fatorial) que passa a representá-lo e permite que este substitua as primeiras variáveis. Esses recursos permitem uma melhor compreensão dos dados por parte dos pesquisadores, funcionando como um interessante ponto de partida para outras análises multivariadas subsequentes.

A extração de fatores pode ser feita utilizando-se duas técnicas distintas. A primeira é a extração via componentes principais, a qual considera a variância total e é recomendada quando o objetivo principal é a redução de dados. A outra forma de extração possível é via fatores comuns que, considerando apenas a variância compartilhada, é o modelo mais adequado em aplicações teóricas bem especificadas (HAIR JÚNIOR *et al*, 2009). A variância total pode ser dividida em variância comum (compartilhada), única e de erro. A variância comum é aquela que é compartilhada com todas as variáveis da análise e pode ser explicada pelas correlações entre variáveis. Já a variância única é específica de cada variável, enquanto a variância de erro é associada aos erros e aleatoriedades do fenômeno estudado (HAIR JÚNIOR *et al*, 2009).

### 2.4.2 Análise de Agrupamentos

A análise de agrupamentos tem por objetivo definir subgrupos de indivíduos ou objetos, de forma que elementos de um mesmo grupo se pareçam mais entre si do que com elementos de outros grupos (HAIR JÚNIOR *et al*, 2009). Se por um lado a análise fatorial examina as variáveis a partir das correlações entre estas, a análise de agrupamentos particiona a população a partir da avaliação da proximidade (distância) das múltiplas variáveis.

A identificação de grupos significativos dentro de uma população tem uma importante aplicação na redução de dados, já que permite a análise a partir de subgrupos menores. Outra finalidade é a geração de hipóteses, pois o agrupamento dá indícios sobre a relação entre os objetos na população estudada.

O primeiro passo no processo de agrupamento é estabelecer a medida de similaridade que será utilizada. As medidas de distâncias, que podem ser calculadas de variadas maneiras, são as mais recomendadas para essa técnica. Segundo Hair Júnior *et al.* (2009), os principais tipos são:

- Distância euclidiana: é a medida mais utilizada. Para melhor compreensão, pode-se pensar em um caso para apenas duas variáveis, em que a distância em linha reta entre dois objetos situados pelas coordenadas (X,Y) corresponderia à hipotenusa do triângulo retângulo formado, onde os catetos são as distâncias nos eixos das ordenadas e abcissas;
- Distância euclidiana quadrada (ou absoluta): pode ser usada para reforçar valores extremos;
- Distância de Mahalanobis: uma medida padronizada de distância que considera a correlação entre variáveis, sendo mais recomendada para variáveis altamente correlacionadas;
- Distância *city-block* (de Manhattan): corresponde à soma dos valores absolutos das diferenças das coordenadas. Não é recomendada para variáveis altamente correlacionadas;

Outro passo importante é a escolha do algoritmo de agrupamento que será utilizado, o que define a forma com que os grupos são formados, objeto a objeto. Os algoritmos podem ser classificados em hierárquicos, não-hierárquicos ou combinados. Quando o número de agrupamentos não é conhecido e deseja-se explorar diversas soluções, os métodos hierárquicos são mais adequados. Os principais métodos hierárquicos apresentados por Hair Júnior *et al.* (2009) são:

- Ligação simples (método do vizinho mais próximo): define a semelhança entre os agrupamentos a partir da menor distância destes para qualquer objeto fixo. A desvantagem é a formação de longas cadeias sinuosas quando os agrupamentos são mal planejados;

- Ligação completa (método do vizinho mais distante): a similaridade é baseada na distância máxima entre os objetos. O problema do encadeamento é eliminado, porém o método sofre muita interferência de observações atípicas;
- Ligação média: a similaridade entre agrupamentos é definida pela média de todos os objetos em cada grupo. É menos afetado por variações atípicas;
- Ligação centroide: a similaridade se dá pela distância entre os centroides diferentes agrupamentos. Centroides podem ser definidos como os valores médios calculados sobre as observações dos valores das variáveis em cada grupo;
- Método Ward: a distância é calculada a partir do quadrado da distância euclidiana entre variáveis dos objetos no mesmo agrupamento. É recomendado para quando são esperados agrupamentos com tamanhos próximos, porém sofre muita interferência de observações atípicas.

### 3 METODOLOGIA

A escolha do objeto de estudo foi influenciada pela necessidade de se aprofundar nas análises sobre os indicadores de sustentabilidade urbana, tendo em vista outros estudos já realizados na área, como a aplicação da ISO 37120 para o Rio de Janeiro. Nesse sentido, a reunião técnica junto à Prefeitura do Rio de Janeiro também contribuiu para a definição da abordagem do presente trabalho.

Uma vez definido como principal objetivo da pesquisa a criação de índices a partir dos indicadores da norma ISO 37120:2014, foi seguida uma série de processos para a construção e validação desses índices, segundo o método *Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems* (SITIUS), desenvolvido pela autora e seus orientadores. Podendo ser dividido em 3 grandes etapas: definição da amostra, análises multivariadas e cálculo dos índices, o método SITIUS está resumido no fluxograma da Figura 8 e tem seus processos detalhados no fluxograma da Figura 9.

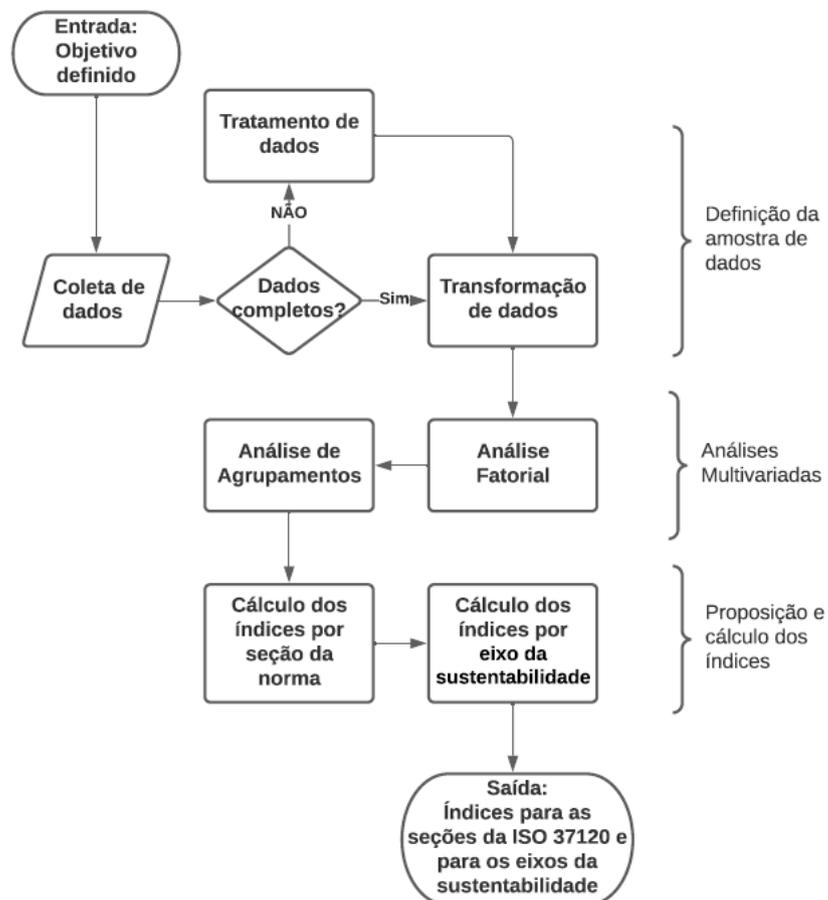


Figura 8 - Fluxograma simplificado do Método SITIUS.  
Fonte: COUTO; DI GREGORIO; COELHO, 2020.

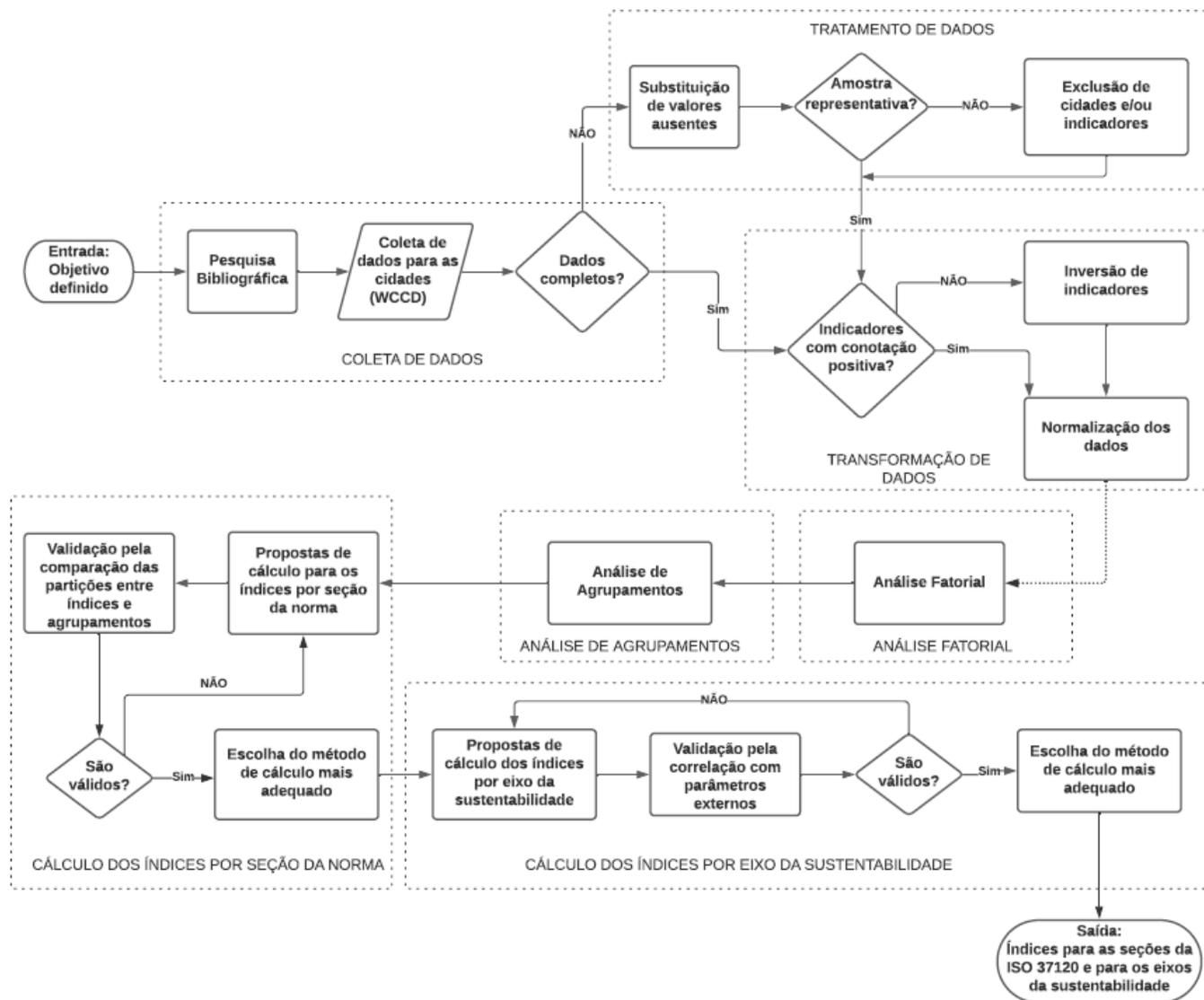


Figura 9 - Fluxograma detalhado do Método SITIUS.

Fonte: COUTO; DI GREGORIO; COELHO, 2020.

O primeiro procedimento foi a realização de uma pesquisa bibliográfica que permitisse contextualizar o estudo no meio em que está inserido. Buscou-se referências para discutir o conceito de desenvolvimento sustentável, sua evolução e implicações, para fornecer um panorama de indicadores de sustentabilidade no Brasil e no mundo, para apresentar a norma ISO 37120 e, por fim, para introduzir os conceitos de Análise Multivariada. Nesse processo foram consultados livros, periódicos e publicações institucionais, tanto nacionais quanto internacionais.

As principais bases de pesquisa utilizadas foram Scopus e Science Direct e Scielo, disponibilizadas pelo Portal Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil. Foram pesquisadas palavras-chave como “sustainability”, “sustainable development”, “urban sustainable development” e “ISO 37120”, termos combinados posteriormente com “indicators” e “index”. A seleção dos artigos citados consistiu nos processos de leitura exploratória, com base em seus resumos; de leitura seletiva, a partir da leitura integral dos textos selecionados; e de identificação de outros artigos citados ao longo destes ou que os tenham citado, por meio de uma revisão *looking backward and forward*.

A pesquisa bibliográfica foi seguida do levantamento dos indicadores das cidades que adotaram a norma e obtiveram a certificação do WCCD. As informações foram retiradas do banco de dados do Conselho e passaram por um processo de tratamento de dados, com a substituição de valores ausentes por valores representativos para os grupos de cidades e a eliminação de variáveis e observações da amostra. Os dados resultantes passaram ainda por processos de transformação, dando origem a uma matriz de dados normalizados utilizada nas análises posteriores.

Na tentativa de compreender o comportamento das variáveis e como elas se relacionam entre si, partiu-se para uma análise multivariada. Utilizou-se, para tanto, o *software* de estatística Minitab. A primeira técnica adotada foi a análise fatorial exploratória dos dados, em que foram definidos o número de fatores a serem extraídos, assim como a distribuição dos indicadores nesses fatores.

A partir das cargas fatoriais dos indicadores dentro de cada fator e da variância destes fatores, foram propostas diferentes abordagens para o desenvolvimento de índices relativos a cada uma das seções da norma. Todas elas consistem na atribuição de diferentes pesos aos indicadores que compõem as seções.

A segunda técnica multivariada utilizada foi a análise de agrupamentos. Seu objetivo é identificar grupos de observações dentro a amostra a partir da análise do comportamento das variáveis. Além de ajudar a compreender o comportamento dos indicadores, a análise pôde auxiliar no processo de validação dos índices desenvolvidos na pesquisa por meio da avaliação da proximidade entre o ordenamento obtido pelos valores dos índices e os grupos de cidades resultantes da técnica de agrupamentos. A validação se deu, portanto, pela comparação de partições a partir da análise dos índices de Jaccard.

Já validado e selecionado o método de cálculo mais adequado para os índices por seção temática da norma, o passo seguinte consistiu na tentativa de elaboração de índices para os três eixos do desenvolvimento sustentável: econômico, social e ambiental. Nesta etapa, diferentes métodos de cálculo foram propostos, baseando-se na ideia de temas-chave ou aderentes a cada dimensão da sustentabilidade.

Para a escolha e validação do melhor método, foram selecionados parâmetros de referência externos que pudessem representar os eixos da sustentabilidade, individualmente. Assim, foi avaliada a matriz de correlação entre os índices calculados e os valores dos parâmetros de referência para as cidades representantes de cada país da amostra.

### 3.1 COLETA, TRATAMENTO E TRANSFORMAÇÃO DE DADOS

Para o cálculo dos índices foram utilizados os valores de indicadores disponibilizados por diversas cidades a partir da plataforma do WCCD. Os dados foram extraídos em novembro de 2018, data de início do estudo.

As etapas percorridas para se chegar na matriz de dados que foi utilizada nas análises estatísticas ao longo trabalho estão resumidas no esquema da Figura 10.

Na ocasião o WCCD havia fornecido 91 certificações anuais para 61 cidades diferentes. No caso de cidades que apresentavam indicadores para mais de um ano de referência, foram mantidos apenas os dados da certificação mais recente. Buscou-se, assim, evitar possíveis distorções causadas com a repetição de cidades na amostra.

Observou-se, no entanto, que muitas localidades apresentavam diversas lacunas em seus indicadores. Assim, uma nova triagem foi realizada de acordo com a classificação da certificação das cidades. Cidades com certificação aspirante foram descartadas por não possuírem todos os indicadores essenciais disponíveis, sendo mantidas todas as demais a partir da certificação bronze.

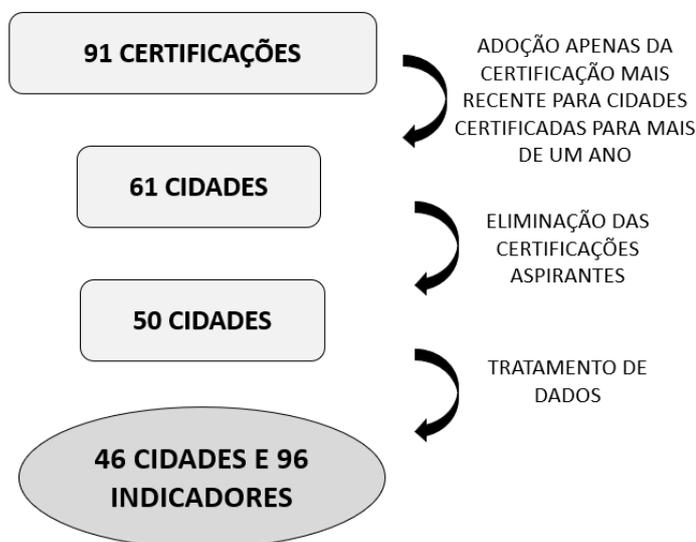


Figura 10 - Esquema da seleção da amostra de dados.

Desta forma, restaram 50 cidades com todos os indicadores essenciais preenchidos. No entanto, quase a totalidade destas continuaram apresentando lacunas nos indicadores de apoio, em maior ou menor quantidade.

Apesar de ser possível a realização de uma rotina que eliminasse os valores ausentes, ou seja, que representasse os indicadores a partir de vetores com diferentes tamanhos de amostras, a solução não foi adotada. Isso porque a existência de vetores com tamanho distintos limitaria a aplicação de outras técnicas estatísticas.

Para solucionar a questão da ausência de certos indicadores, nos casos em que o percentual de valores ausentes era suficientemente pequeno, foi proposta uma metodologia para substituir os espaços vazios por valores representativos. Nesse processo foram excluídos indicadores indisponíveis para a maioria da amostra e foram descartadas, ainda, outras cidades.

### 3.1.1 Substituição dos Valores Ausentes

A proposta se baseou na divisão das 50 cidades de acordo com seus países de origem e da separação destes em grupos de países com alguma proximidade, segundo critérios já preconcebidos, seja por localização geográfica, nível de desenvolvimento ou fatores histórico-culturais. O objetivo era substituir o valor ausente pela média dos valores deste mesmo indicador dentro do grupo estabelecido de cidades.

As 50 cidades estão situadas em 20 países diferentes, os quais foram separados em 7 grupos distintos. O Quadro 6 apresenta o agrupamento proposto para os países e o número de cidades por país e por grupo.

Quadro 6 - Agrupamento proposto para as cidades.

<b>GRUPO</b>	<b>PAÍSES</b>	<b>Nº DE CIDADES POR PAÍS</b>	<b>Nº DE CIDADES POR GRUPO</b>
América Anglo-Saxônica e Oceania	Austrália	2	16
	Canadá	9	
	Estados Unidos	5	
Europa Ocidental	Bélgica	1	14
	Holanda	6	
	Espanha	2	
	Inglaterra	2	
	Noruega	1	
	Portugal	2	
Leste Europeu	Polónia	1	4
	Croácia	2	
	Geórgia	1	
América Latina	Argentina	1	5
	México	4	
Oriente Médio	Jordânia	1	4
	Emirados Árabes Unidos	1	
	Arábia Saudita	2	
Sudeste Asiático e Ásia Oriental	Filipinas	1	3
	Taiwan	2	
Sul Asiático	Índia	4	4

O continente americano foi subdividido em América Latina, com 5 cidades, e América Anglo-Saxônica, sendo neste último incorporadas as cidades da Austrália, totalizando 16 cidades neste grupo. A Europa foi dividida em Europa Ocidental e Leste Europeu, representados por 14 e 4 cidades, respectivamente. Por fim, os países da Ásia foram separados segundo os grupos do Oriente Médio, com 4 cidades; Sul Asiático, também com 4 cidades; e Sudeste Asiático e Ásia Oriental com, respectivamente, 1 e 2 cidades, sendo os últimos unidos devido ao baixo número de elementos.

Apesar de não haver uma classificação que relacione a Oceania e a América Anglo-Saxônica, este grupo foi proposto partindo da hipótese de que as cidades dos países anglo-saxões seriam as que apresentariam indicadores mais próximos aos das cidades da Austrália. A

associação da Oceania com alguma outra região era necessária, visto que com apenas 2 cidades australianas não seria possível extrair a média para preencher os valores ausentes.

Para validação da hipótese de que Estados Unidos, Canadá e Austrália poderiam compor um mesmo grupo, os países foram comparados 2 a 2. Para cada par de países, contabilizou-se o número de indicadores em que a diferença entre seus valores não ultrapassaria 35% (tendo como referência o de menor valor). Estes indicadores foram tidos como altamente semelhantes. Optou-se por um critério alternativo devido ao tamanho reduzido das amostras. Um critério estatístico formal para um grupo maior de cidades seria por meio de intervalos de confiança.

A comparação entre Estados Unidos e Canadá apontou uma semelhança em 45,7% dos indicadores disponíveis para ambas as cidades. Já entre Austrália e Canadá, o resultado foi de 44% de indicadores semelhantes, enquanto entre Austrália e Estados Unidos a semelhança chegou a 46,7%. Concluiu-se, assim, que a Austrália poderia ser integrada ao grupo da América Anglo-Saxônica.

#### 3.1.1.1 Eliminação de Cidades

Dentro de cada grupo foi feita uma análise de quais indicadores apresentavam valores ausentes ao longo da amostra e de quantas cidades remanescentes havia para o cálculo da média deste indicador.

Esta avaliação apontou para a existência de um grupo pouco expressivo e com os valores ausentes concentrados em um mesmo indicador, gerando médias pouco significativas para o conjunto de cidades. A escolha de adotar apenas os indicadores essenciais na análise solucionaria o problema, no entanto julgou-se que estes não seriam suficientemente representativos de cada seção e, portanto, do conjunto de indicadores.

Dessa forma, optou-se pela eliminação do grupo do Sul Asiático. Ao descartar as 4 cidades da Índia, a amostra passou a conter 46 cidades de 19 países diferentes.

#### 3.1.1.2 Eliminação de Indicadores

Para cada variável foi avaliada a porcentagem de cidades em que o indicador estava disponível, tanto dentro dos 6 grupos como também para o conjunto das 46 cidades restantes. Na análise foram destacados os casos em que menos de 50% das cidades apresentavam determinado indicador, definindo essa proporção como critério mínimo para a permanência do

indicador no estudo. Foram, ainda, sinalizados os casos em que a disponibilidade era entre 50% e 75%.

Partindo da análise do conjunto total, foram identificados dois indicadores com baixa disponibilidade: o 8.7 e o 8.8, encontrados, respectivamente, em apenas 47,8% e 34,8% das cidades. No levantamento por grupos o indicador 8.7 atingiu o patamar mínimo de disponibilidade apenas para os dois grupos de países da Europa, enquanto o 8.8 só foi representativo para o grupo do Oriente Médio.

Já na análise de grupos, o indicador 15.3 apresentou muitas lacunas nos grupos da Europa Ocidental e do Oriente Médio. Também no Oriente Médio, o indicador 21.6 não foi encontrado para o número mínimo de cidades. Estes foram dois dos três indicadores tidos como disponíveis para 50% a 75% das cidades, quando avaliado o universo total da amostra.

Assim, a escolha foi pela eliminação dos 4 indicadores citados para fins do presente estudo, restando 96 para as análises subsequentes. Todos estes constituem indicadores de apoio e seu enunciado e o eixo temático ao qual pertencem estão explicitados no Quadro 7.

Quadro 7 - Indicadores eliminados da análise.

INDICADOR	ENUNCIADO	TEMA
8.7	Poluição sonora	Meio Ambiente
8.8	Variação percentual em número de espécies nativas	Meio Ambiente
15.3	Porcentagem de moradias sem títulos de propriedade registrados	Habitação
21.6	Valor médio anual de horas de interrupção do abastecimento de água por domicílio (horas)	Água e Saneamento

### 3.1.2 Amostra de Dados Final

O processo de seleção e tratamentos dos dados fez com que do total de 91 certificações disponíveis no banco de dados da WCCD no início do estudo, fossem utilizadas as informações de apenas 46 cidades para 96 indicadores. Os dados foram organizados em uma matriz de indicadores, em que as colunas são indexadas pelo tipo do indicador e as linhas pelas cidades.

A proposta da divisão das cidades em grupos é restrita à etapa de substituição dos valores ausentes. Embora a segmentação tenha se mostrado pertinente, os grupos individualmente representam amostras de tamanho pequeno e não seriam representativos do ponto de vista estatístico. Dessa forma, todas as análises multivariadas realizadas no decorrer do estudo tiveram como amostra o conjunto das 46 cidades selecionadas.

A lista da amostra final de cidades adotada, com seus respectivos países de origem e ano da certificação está disposta no Quadro 8.

Quadro 8 - Cidades selecionadas para o estudo.

CIDADE	PAÍS	ANO	CIDADE	PAÍS	ANO
<b>Aalter</b>	Bélgica	2017	<b>Piedras Negras</b>	México	2018
<b>Amman</b>	Jordânia	2015	<b>Portland</b>	Estados Unidos	2017
<b>Amsterdam</b>	Holanda	2016	<b>Porto</b>	Portugal	2017
<b>Barcelona</b>	Espanha	2014	<b>Quebec City</b>	Canadá	2017
<b>Boston</b>	Estados Unidos	2017	<b>Riyadh</b>	Arábia Saudita	2016
<b>Brisbane</b>	Austrália	2017	<b>Rotterdam</b>	Holanda	2014
<b>Buenos Aires</b>	Argentina	2016	<b>Saint-Augustin-De-Desmaures</b>	Canadá	2017
<b>Cambridge</b>	Inglaterra	2017	<b>San Diego</b>	Estados Unidos	2016
<b>Doral</b>	Estados Unidos	2016	<b>Shawinigan</b>	Canadá	2017
<b>Dubai</b>	Emirados	2015	<b>Sintra</b>	Portugal	2017
<b>Eindhoven</b>	Holanda	2016	<b>Surrey</b>	Canadá	2016
<b>Guadalajara</b>	México	2016	<b>Tainan City</b>	Taiwan	2017
<b>Heerlen</b>	Holanda	2016	<b>Taipei</b>	Taiwan	2017
<b>Kielce</b>	Polônia	2017	<b>Tbilisi</b>	Geórgia	2017
<b>Koprivnica</b>	Croácia	2016	<b>The Hague</b>	Holanda	2017
<b>León</b>	México	2015	<b>Toronto</b>	Canadá	2015
<b>London</b>	Inglaterra	2015	<b>Torreón</b>	México	2016
<b>Los Angeles</b>	Estados Unidos	2017	<b>Valencia</b>	Espanha	2015
<b>Makati</b>	Filipinas	2015	<b>Vaughan</b>	Canadá	2016
<b>Makkah</b>	Arábia Saudita	2015	<b>Welland</b>	Canadá	2018
<b>Melbourne LGA</b>	Austrália	2016	<b>Zagreb</b>	Croácia	2016
<b>Mississauga</b>	Canadá	2018	<b>Zwolle</b>	Holanda	2017
<b>Oakville</b>	Canadá	2016			
<b>Oslo</b>	Noruega	2016			

### 3.1.3 Inversão de Valores

Devido à formulação de seus enunciados, alguns indicadores apresentam valores inversamente proporcionais ao bom desempenho da cidade. Em outras palavras, é esperado que uma cidade esteja rumo a um desenvolvimento mais sustentável com o decréscimo de alguns indicadores.

Para facilitar a leitura dos resultados da análise fatorial, foi proposta a inversão de determinados indicadores de forma que seus valores crescentes apontassem sempre na direção de um melhor desempenho das cidades avaliadas.

A identificação dos indicadores com enunciados de conotação negativa não é, entretanto, uma tarefa evidente e constitui uma importante contribuição do presente trabalho. Os critérios para inversão dos indicadores são subjetivos à medida que a análise pode apresentar diferentes conclusões de acordo com a dimensão do desenvolvimento sustentável observada.

Indicadores relativos ao consumo de água e energia, por exemplo, quando apresentam valores muito baixos geralmente apontam para um atendimento insatisfatório da população e, portanto, estes tendem a exibir valores superiores em economias mais desenvolvidas. No entanto, se analisados sob a ótica ambiental, em que é desejável um consumo mais racional desses recursos, seria esperada a redução desses indicadores em cidades mais sustentáveis.

Para indicadores correspondentes a taxas ou frequências relativas, como os expressos em porcentagens, a inversão se deu pelo valor complementar, que é a diferença entre o valor máximo e o indicador. Por exemplo, para uma taxa de desemprego de 8%, o novo indicador será uma taxa de emprego em 92%, seu valor complementar. Já para os indicadores expressos pela razão entre variáveis de espécies diferentes em que não é conhecido o valor máximo possível, como a concentração de material particulado por m<sup>3</sup>, foi utilizada a inversão do sinal do indicador como visto na Equação 1.

$$\text{valor invertido} = - [\text{valor original}] \quad [\text{Eq. 1}]$$

Ao total foram invertidos 40 dos 96 indicadores, estes estão expressos no Quadro 9 e devem ser lidos como o inverso dos enunciados originais nas análises posteriores. Também é indicado se foi adotado o valor complementar do indicador ou seu valor com sinal invertido.

Quadro 9 - Lista de indicadores invertidos.

INDICADORES INVERTIDOS	VALOR ADOTADO
5.1. Taxa de desemprego da cidade	Complementar
5.3. Porcentagem da população abaixo da linha da pobreza	Complementar
5.5. Taxa de desemprego de jovens	Complementar
6.4. Relação estudante/professor no ensino primário	Sinal invertido
7.1. Uso de energia elétrica residencial total per capita (kWh/ano)	Sinal invertido
7.3. Consumo de energia de edifícios públicos por ano (kWh/m <sup>2</sup> )	Sinal invertido
7.5. Uso total de energia elétrica <i>per capita</i> (kWh/ano)	Sinal invertido
7.6. Número médio de interrupções de energia elétrica por consumidor por ano	Sinal invertido
7.7. Duração média das interrupções de energia elétrica (em horas)	Sinal invertido
8.1. Concentração de material particulado fino (PM 2.5) (x10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup> )	Sinal invertido
8.2. Concentração de material particulado (PM 10) (x10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup> )	Sinal invertido
8.3. Emissão de gases de efeito estufa, medida em toneladas <i>per capita</i>	Sinal invertido

<b>INDICADORES INVERTIDOS</b>	<b>VALOR ADOTADO</b>
8.4. Concentração de NO <sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio) (x10-6 g/m <sup>3</sup> )	Sinal invertido
8.5. Concentração de SO <sub>2</sub> (dióxido de enxofre) (x10-6 g/m <sup>3</sup> )	Sinal invertido
8.6. Concentração de O <sub>3</sub> (ozônio) (x10-6 g/m <sup>3</sup> )	Sinal invertido
9.1. Taxa de endividamento (expansão do serviço da dívida como uma porcentagem da receita própria do município)	Complementar
10.2. Número de mortes relacionadas a incêndios por 100 000 habitantes	Complementar
10.3. Número de mortes relacionadas a desastres naturais por 100 000 habitantes	Complementar
10.5. Tempo de resposta dos serviços de emergência a partir do primeiro chamado (minutos)	Sinal invertido
10.6. Tempo de respostas do Corpo de Bombeiros a partir do primeiro chamado (minutos)	Sinal invertido
11.4. Número de condenações de servidores da cidade por corrupção e/ou subornos por 100 000 habitantes	Complementar
12.4. Taxa de mortalidade de crianças menores de cinco anos a cada 1 000 nascidos vivos	Complementar
12.7. Taxa de suicídio por 100 000 habitantes	Complementar
14.2. Número de homicídios por 100 000 habitantes	Complementar
14.3. Crimes contra a propriedade por 100 000 habitantes	Complementar
14.4. Tempo de resposta da polícia a partir do primeiro chamado (minutos)	Sinal invertido
14.5. Taxa de crimes violentos por 100 000 habitantes	Complementar
15.1. Porcentagem da população urbana morando em favelas	Complementar
15.2. Número de sem-teto por 100 000 habitantes	Complementar
16.6. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos queimados a céu aberto	Complementar
16.7. Porcentagem de resíduos sólidos urbanos dispostos em lixões a céu aberto	Complementar
16.9. Geração de resíduos perigosos <i>per capita</i> (toneladas)	Sinal invertido
18.4. Número de automóveis privados <i>per capita</i>	Sinal invertido
18.6. Número de veículos motorizados de duas rodas <i>per capita</i>	Sinal invertido
18.8. Mortalidades de trânsito por 100 000 habitantes	Complementar
19.3. Porcentagem de área de assentamentos informais em função da área total da cidade	Complementar
20.2. Porcentagem de coleta do esgoto, que não recebeu qualquer tratamento	Complementar
21.4. Consumo doméstico total de água <i>per capita</i> (litros por dia)	Sinal invertido
21.5. Consumo total de água <i>per capita</i> (litros por dia)	Sinal invertido
21.7. Porcentagem das perdas de água (água não faturada)	Complementar

### 3.1.4 Normalização dos Dados

A diferença de unidades e escalas dos indicadores é outro fator que pode levar a distorções no resultado das análises estatísticas, pois mudanças de escala influenciam nas medidas de variabilidade dos indicadores e, portanto, nas respostas da análise fatorial. Para neutralizar esses efeitos e deixar todas as variáveis com a mesma ordem de grandeza, foi realizada a normalização dos dados.

A normalização ocorre pela transformação de cada variável em escores padrão ( $z$ ), como visto na Equação 2, em que cada valor ( $x$ ) é subtraído pela da média amostral ( $\hat{\mu}$ ) da respectiva variável (Equação 3) e posteriormente dividido por seu desvio-padrão amostral ( $\hat{\sigma}$ ) (Equação 4), sendo  $n$  igual ao número de cidades da amostra.

$$z_i = \frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad [Eq. 2]$$

Em que,

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [Eq. 3]$$

E

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2} \quad [Eq. 4]$$

Cada escore passa a apresentar média igual a 0 e desvio-padrão igual a 1, eliminando os efeitos do uso de diferentes escalas tanto ao longo das variáveis quanto para uma mesma variável (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

### 3.2 ANÁLISE FATORIAL

Com a matriz de dados definida, partiu-se para a análise fatorial das variáveis. O primeiro passo do planejamento da análise é a avaliação do tamanho da amostra. Para que haja validade estatística é recomendada a proporção mínima de 5 observações para cada variável analisada (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Como o número de variáveis no estudo é superior ao tamanho da amostra, 96 indicadores para 46 cidades, os indicadores foram analisados em grupos, respeitando a divisão por eixos temáticos já definidas na norma ISO 37120. Assim, foram realizadas análises fatoriais para as 17 seções, de forma a contemplar o universo de 96 indicadores mantendo uma relação satisfatória entre o número de amostras e o número de variáveis, como mostra a Tabela 1.

Sendo a amostra é composta por 46 cidades, a relação entre o número de observações e variáveis ficou um pouco abaixo de 5 apenas para a seção de Resíduos Sólidos. No entanto, o tema foi mantido respeitando a estrutura da norma.

Tabela 1 - Número de indicadores analisados por seção da norma.

SEÇÃO	TEMAS	NÚMERO DE INDICADORES	AMOSTRAS/VARIÁVEIS
5	Economia	7	6.57
6	Educação	7	6.57
7	Energia	7	6.57
8	Meio Ambiente	6	7.67
9	Finanças	4	11.50
10	Resposta a Incêndios e Emergências	6	7.67
11	Governança	6	7.67
12	Saúde	7	6.57
13	Recreação	2	23.00
14	Segurança	5	9.20
15	Habitação	2	23.00
16	Resíduos Sólidos	10	4.60
17	Telecomunicações e Inovação	3	15.33
18	Transporte	9	5.11
19	Planejamento Urbano	4	11.50
20	Esgotos	5	9.20
21	Água e Saneamento	6	7.67
<b>TOTAL</b>		<b>96</b>	<b>-</b>

É importante, ainda, a avaliação da correlação entre as variáveis para que seja verificada a adequação da análise de fatores. Nesse sentido, o primeiro procedimento foi a inspeção da matriz de correlações, identificando a existência de coeficientes superiores a 0,3. O exame constatou variáveis com baixas correlação, porém suficientes para o prosseguimento da análise.

Outras verificações realizadas foram a medida de adequação da amostra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett, obtidos por meio do *software* SPSS. A KMO corresponde à razão da soma dos quadrados das correlações de todas as variáveis por essa mesma parcela acrescida da soma dos quadrados das correlações parciais do total de variáveis. A estatística KMO varia entre 0 e 1, em que 0 aponta para uma difusão no padrão das correlações, enquanto valores próximos a 1 indicam baixas correlações parciais e ótima adequação à análise fatorial. São considerados aceitáveis valores da KMO a partir de 0,5 (FIELD, 2009).

O teste de Bartlett, por sua vez, visa examinar se a matriz de correlações se parece com a matriz identidade, o que apontaria para péssimas correlações entre as variáveis. Assim, a partir de um teste de hipóteses em que a hipótese nula é de que a matriz de correlações é a matriz

identidade, busca-se um valor-p inferior ao nível de significância, determinado em 0,05, para que a análise fatorial seja possível (FIELD, 2009).

Os valores da estatística KMO e do valor-p resultante do teste de Bartlett para cada seção analisada, na integralidade de suas variáveis, estão expressos na Tabela 2. As seções 13 e 15 não se enquadram nesses testes, visto que apresentam apenas 2 indicadores, enquanto que a análises fatorial deve ser aplicada em dimensões maiores ou iguais a 3.

Tabela 2 - Testes de KMO e Bartlett para o total de variáveis.

<b>Seção</b>	<b>KMO</b>	<b>Bartlett (valor-p)</b>	<b>Seção</b>	<b>KMO</b>	<b>Bartlett (valor-p)</b>
<b>5</b>	0.534	0.000	<b>14</b>	0.587	0.001
<b>6</b>	0.525	0.000	<b>15</b>	0.500	0.302
<b>7</b>	0.536	0.000	<b>16</b>	0.194	0.000
<b>8</b>	0.647	0.000	<b>17</b>	0.502	0.494
<b>9</b>	0.561	0.024	<b>18</b>	0.458	0.000
<b>10</b>	0.541	0.022	<b>19</b>	0.459	0.967
<b>11</b>	0.591	0.000	<b>20</b>	0.593	0.001
<b>12</b>	0.570	0.000	<b>21</b>	0.614	0.000
<b>13</b>	0.500	0.737			

As seções 16 e 18 não atingiram os valores mínimos para a KMO, mas rejeitaram a hipótese de a matriz de correlações ser a matriz identidade. A seção 17 alcançou o valor mínimo para a KMO, entretanto não apresentou bons resultados para o teste de Bartlett, o que era esperado por conter variáveis muito pouco correlacionadas, assim como a seção 19, a única reprovada em ambos os testes. Com base na análise preliminar da matriz de correlações, não era esperado um único fator preponderante no resultado da análise fatorial de nenhuma das seções e, portanto, não eram previstos valores altos para KMO. Apesar das seções 13, 15, 16, 17, 18 e 19 terem sido reprovadas por pelo menos um dos critérios, optou-se por seguir com as análises para todas as seções, mas registra-se que os resultados para as seções reprovadas podem conter imprecisões.

A etapa seguinte consiste na escolha do método de extração de fatores, que pode se dar via componentes principais ou via fatores comuns. Tendo como principal objetivo se chegar a um número reduzido de fatores que expressem a informação sem grandes perdas, a análise de componentes foi o modelo adotado.

O número de fatores extraídos na análise fatorial, independentemente do método, corresponde ao número de variáveis analisadas. Esses fatores são dispostos em ordem

decrecente de importância em função de sua variância, ou seja, fatores com maior variância são mais importantes porque captam melhor a variabilidade do conjunto de variáveis. Assim, o primeiro fator representa a melhor combinação linear das variáveis, ou seja, aquela que explica a maior parte da variância dos dados, enquanto os demais fatores representam em ordem decrescente a variância remanescente.

Além da variância dos dados explicada por cada fator, a extração de fatores fornece as correlações entre as variáveis e o fator, conhecidas como cargas fatoriais. Quanto maior a carga fatorial de uma variável dentro de um fator, mais representativa ela é do mesmo. Vale ressaltar que se os fatores são ortonormais, então as cargas fatoriais representam os coeficientes associados à representação das variáveis como combinação linear dos fatores.

Todo processo de análise fatorial descrito, a partir do exemplo realizado para a seção 5 da norma, pode ser encontrado no Apêndice A.

### **3.2.1 Matriz Fatorial Inicial**

Definidos os grupos de variáveis de cada análise e o método mais adequado para extrair os fatores, é possível dar início à análise fatorial propriamente dita. Para extração dos fatores foi utilizado o *software* Minitab. O programa permite a escolha das variáveis analisadas, do método de extração, do número de fatores e do tipo de rotação.

Em um primeiro momento não foram definidos o número de fatores nem realizado nenhum tipo de rotação. Dessa forma, é possível se obter a matriz fatorial inicial não-rotacionada, a partir da qual são obtidas informações importantes para se estimar o número final de fatores.

Com base nessas entradas, o método fornece uma matriz com tantos fatores quanto forem as variáveis selecionadas. Para cada fator é dada a carga fatorial de cada variável e a quantidade da variância que é expressa, tanto em números absolutos quanto em porcentagem da variância total. Outra saída nesse estágio é o valor da comunalidade de cada variável, a qual é calculada pela soma dos quadrados das cargas fatoriais referentes aos fatores representativos cuja escolha será discutida próxima seção.

### **3.2.2 Número de Fatores Extraídos**

A escolha do número de fatores que serão extraídos e que vão resumir toda a informação original é um ponto-chave da análise fatorial. Na ausência de um modelo exato que defina a

quantidade ideal de fatores, cabe ao pesquisador combinar a fundamentação conceitual com evidências empíricas (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Para se chegar a um conjunto reduzido (mas representativo) de fatores, pode ser usado mais de um critério de escolha e soluções diferentes devem ser testadas. Entre os critérios de parada existentes estão:

- critério da raiz latente – Elimina-se os fatores cujo autovalor correspondente na matriz fatorial (raiz latente) é menor do que 1;
- critério *a priori* – Aplica-se um número pré-definido de fatores para testar uma hipótese;
- critério de porcentagem de variância – É estabelecida uma porcentagem da variância que deve estar acumulada nos fatores selecionados;
- critério de teste *scree* – É obtido pela análise do gráfico da raiz latente *versus* a ordem dos fatores. O corte seria dado no fator em que o gráfico tende a uma reta horizontal;
- heterogeneidade dos respondentes – São deixados mais fatores do que os determinados com base nos outros critérios quando há subgrupos muito heterogêneos na amostra.

Neste estudo foram empregados dois critérios de parada simultaneamente, os quais correspondem aos dois mais comumente utilizados: o critério da raiz latente e o critério de porcentagem de variância. Apesar do gráfico utilizado no teste *scree* ser obtido diretamente por meio do Minitab, o critério não foi adotado por não apresentar uma redução significativa do número de fatores.

Cada autovalor é calculado pela soma dos quadrados das cargas fatoriais de um mesmo fator, o que corresponde à quantidade da variância explicada por um fator. Assim, esse dado é obtido diretamente no *software* observando-se o valor da variância de cada fator.

Para o critério de porcentagem de variância foi observado o número de fatores resultantes quando determinadas como valor de corte diferentes faixas de porcentagem acumulada da variância. Observou-se que 60% da variância acumulada era a faixa ideal, já que para valores superiores o número de fatores era muito elevado e não haveria uma redução significativa. Em geral, são esperados valores de variância acumulada de 60% ou mais, dependendo da área de aplicação do estudo (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

A cada análise foram confrontados os dois critérios, os quais convergiram em quase todos os grupos de indicadores. Nos temas em que os critérios de parada apontaram para número de fatores diferentes foi adotada a opção mais conservadora.

### 3.2.3 Interpretação dos Fatores

Para se interpretar os fatores é preciso identificar as variáveis predominantes em cada um deles. A metodologia adotada propõe a distribuição das variáveis entre os fatores extraídos, de forma que cada variável só pertença a um único fator. Como nas demais etapas da análise fatorial, a interpretação foi aplicada para cada grupo temático.

Durante esse processo foram avaliadas as comunalidades das variáveis e o valor das cargas fatoriais e foram testados diferentes tipos de rotação fatorial. Muitas vezes é necessário que o modelo fatorial seja redefinido, podendo ser alterado até o número de fatores extraídos. O roteiro seguido no estudo será definido em passos para a melhor compreensão do processo e tem como ponto de partida a matriz não-rotacionada, mas com o número de fatores já definido.

Além disso, a definição de uma nova matriz com a eliminação de variáveis requer que testes de adequação da amostra à análise fatorial como KMO e Bartlett sejam refeitos. A Tabela 3 indica os valores obtidos para as configurações finais das seções após a extração dos fatores. Como visto, a amostra é tida como minimamente adequada para valores de KMO acima de 0,5 e valor-p no teste de esfericidade de Bartlett acima de 0,05. Aqui outras seções se juntaram à lista de reprovadas pelo teste de KMO em relação aos testes realizados com o total de indicadores, são estas as seções 5, 12 e 20. Os resultados ainda foram tidos como adequados para a caracterização dos indicadores principais de cada fator.

Tabela 3 - Testes de KMO e Bartlett após a eliminação de variáveis.

<b>Seção</b>	<b>KMO</b>	<b>Bartlett (valor-p)</b>	<b>Seção</b>	<b>KMO</b>	<b>Bartlett (valor-p)</b>
<b>5</b>	0.491	0.000	<b>14</b>	0.518	0.001
<b>6</b>	0.520	0.000	<b>15</b>	0.500	0.302
<b>7</b>	0.501	0.000	<b>16</b>	0.503	0.884
<b>8</b>	0.607	0.000	<b>17</b>	0.502	0.494
<b>9</b>	0.557	0.030	<b>18</b>	0.444	0.080
<b>10</b>	0.541	0.022	<b>19</b>	0.503	0.968
<b>11</b>	0.591	0.000	<b>20</b>	0.451	0.000
<b>12</b>	0.494	0.000	<b>21</b>	0.507	0.000
<b>13</b>	0.500	0.737			

Cabe destacar que a escolha de muitos critérios pode ser subjetiva ou depender das características das variáveis e amostras. Algumas regras de eliminação, por exemplo, podem não ser seguidas caso seja julgado que a variável em questão é importante para a compreensão do sistema.

### PASSO 1 – Avaliação da comunalidade

Foi definido como valor mínimo aceitável para uma variável a comunalidade igual a 0,5. Comunalidades abaixo desse valor apontariam que o indicador não pode ser explicado por nenhum dos fatores dentre os escolhidos (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). Variáveis que não atenderem a esse critério devem ser excluídas e análise fatorial deve ser refeita com a nova configuração.

### PASSO 2 – Identificação de cargas fatoriais significativas

Foram consideradas como significantes as cargas fatoriais acima de 0,4 nos fatores representativos. Nessa etapa devem ser percorridas as cargas fatoriais das variáveis em todos os fatores e as cargas significativas devem ser sinalizadas. Caso uma variável não apresente carga significativa em nenhum dos fatores ela é passível de eliminação e o modelo fatorial deve ser redefinido.

### PASSO 3 – Identificação de cargas cruzadas

A carga cruzada ocorre quando uma mesma variável apresenta carga significativa em mais de um fator. Como o objetivo é que cada variável seja expressa por um único fator, na presença de uma carga cruzada é preciso recorrer a métodos de rotação fatorial que definam novas estruturas. Se não forem identificadas cargas cruzadas, os fatores já podem ser definidos pelas variáveis com cargas significantes e o passo 4 é dispensado.

### PASSO 4 – Rotação Fatorial

A rotação fatorial corresponde a rotação dos eixos de referência em torno da origem. As rotações podem ser classificadas em ortogonais, quando os eixos são mantidos a 90°, ou em oblíquas, caso contrário. O objetivo da rotação é auxiliar na interpretação dos fatores, simplificando as linhas e colunas da matriz fatorial e preservando as comunalidades.

O *software* Minitab disponibiliza apenas opções de rotações ortogonais: Varimax, Equimax e Quartimax, ou ainda a definição de um gama específico na opção Ortomax. Como mencionado, a rotação mantém os valores das comunalidades, mas altera as cargas fatoriais e a variância dos fatores.

Para a matriz gerada com a aplicação de cada tipo de rotação do *software*, foram aplicados novamente os passos 2 e 3. No caso em que nenhuma rotação ortogonal foi capaz de eliminar as cargas cruzadas de uma variável, esta foi descartada e a matriz fatorial foi

recalculada, reiniciando-se o processo. Ao final deste passo temos os fatores representativos determinados e as suas variáveis constituintes determinadas.

#### PASSO 5 – Atribuição de rótulos aos fatores (opcional)

Nessa etapa é atribuído a cada fator um rótulo que melhor o define e que resume as variáveis que este engloba. Esse passo depende exclusivamente do pesquisador e sua função é apenas auxiliar na compreensão de todo o conjunto de dados, não sendo necessário para o desenvolvimento das análises posteriores.

### 3.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

A análise de agrupamentos foi realizada com o objetivo de identificar similaridades entre as cidades a partir dos valores de seus indicadores. Esta técnica foi a base para validar os índices propostos para as seções temáticas, o que se deu por meio da comparação entre a proximidade das cidades pelo ordenamento dos valores de seus índices e os agrupamentos originados. Para a seleção das variáveis consideradas em cada análise, partiu-se da divisão dos indicadores em temas, assim como para a análise fatorial.

Escolher as variáveis é parte importante da análise de agrupamentos e deve partir de uma teoria explícita ou uma hipótese elaborada pelo pesquisador, visto que esta técnica não é capaz de avaliar a pertinência da variável dentro do universo de variáveis consideradas (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Antes de iniciar a análise, é preciso avaliar a presença de observações discrepantes que possam comprometer o resultado final dos agrupamentos. Estas observações atípicas podem ser elementos muito destoantes na amostra, uma representação de um grupo insignificante em relação à população ou ser ainda um subgrupo.

Para a detecção destes casos foi adotada uma abordagem gráfica, por meio de diagramas de perfil. No eixo horizontal do gráfico são dispostos os indicadores e no eixo vertical estão seus valores para cada cidade. O perfil de cada observação é obtido ligando-se os pontos ao longo do eixo X. O diagrama permite a análise visual dos objetos discrepantes para uma ou mais variáveis. As observações atípicas identificadas nessa fase foram eliminadas.

O novo conjunto de observações foi adicionado ao Minitab para a realização da análise de agrupamentos. O *software* permite a seleção das variáveis a serem analisadas, a escolha do

método de ligação e da medida de distância a serem utilizados e o número de grupos (*clusters*) ou nível de similaridade que irão definir a partição final dos agrupamentos.

No Minitab estão disponíveis como opção os métodos hierárquicos de ligação: Média, Centróide, Completa, McQuitty, Mediana, Simples e Ward. Já entre as medidas de similaridades só há medidas de distância, são elas: Euclidiana, Manhattan, Pearson, Euclidiana Quadrada e Pearson Quadrada. Também é possível optar pela apresentação do dendograma, diagrama que apresenta as observações agrupadas segundo o nível de similaridade ou distância.

Dessa forma, para uma mesma análise de agrupamentos, foram testados alguns métodos de ligação selecionados de acordo com sua pertinência, analisadas as características da amostra, e também pela disponibilidade do *software*. O primeiro deles foi a ligação completa, seguido das ligações por média e centróide. Para as medidas de distância foram adotadas a medida euclidiana e a medida euclidiana quadrada.

A determinação da quantidade de agrupamentos ideal para representar o conjunto das observações é uma etapa crucial da análise. Não há um procedimento padrão ou teste que possa indicar com precisão estatística o número de grupos, existindo apenas alguns critérios de escolha (regras de parada) que podem ser avaliados caso a caso.

Ao longo da análise, outras observações discrepantes podem ser identificadas com base no dendograma, como a presença de elementos isolados ou grupos pouco significantes. Essas observações devem ser avaliadas e excluídas, quando necessário. A eliminação de uma observação exige que a estrutura da análise seja redefinida e a análise refeita.

### **3.3.1 Critérios para a determinação do número de grupos**

Os critérios de escolha se baseiam no aumento da heterogeneidade natural que ocorre à medida que o número de agrupamentos diminui em função da redução da distância máxima permitida entre os objetos em cada grupo e os pontos de ligação. As regras podem ser classificadas em medidas de mudança de heterogeneidade e medidas diretas de heterogeneidade (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). Muitos desses critérios são específicos do *software* utilizado e não estão disponíveis no Minitab.

No presente trabalho, foi utilizado um critério de mudança de heterogeneidade. Este consistiu na identificação de grandes saltos no valor da heterogeneidade entre agrupamentos sucessivos. Nesse caso é escolhido o número de agrupamentos anterior ao salto.

Como não existe uma solução única, foram avaliados diversos agrupamentos distintos. Nesse sentido, um fator importante foi a determinação de uma faixa para o número de grupos desejados, uma vez que não se pode segmentar a amostra de forma excessiva e nem a reduzi-la a grandes grupos. Além disso, a avaliação da solução que melhor representava a estrutura de dados foi aliada a conceitos teóricos, a partir de classificações pré-estabelecidas das cidades.

### 3.4 CÁLCULO DOS ÍNDICES POR SEÇÃO TEMÁTICA

O desenvolvimento de índices que agregassem a informação de todos os indicadores de uma mesma seção da norma ISO 37120, consistiu na atribuição de pesos a cada um destes indicadores. Assim, o índice de uma seção pode ser expresso pela Equação 5. Trata-se de uma metodologia proposta pela autora e orientadores do presente trabalho a partir da aplicação da análise fatorial e que será discutida ao longo deste estudo.

$$I_s = ind_{1,s}P_{1,s} + ind_{2,s}P_{2,s} + \dots + ind_{i,s}P_{i,s} \quad [Eq. 5]$$

Onde:

$I$  = índice

$ind$  = valor do indicador

$P$  = peso do indicador

$i$  = ordem do indicador na seção

$s$  = seção correspondente

O peso de cada indicador foi calculado a partir das cargas fatoriais e da variância dos fatores da Matriz Fatorial Inicial não-rotacionada obtida pela análise fatorial e apresentada na seção 3.2.1.

Foram comparados os resultados para três métodos de cálculo dos pesos. O primeiro consiste na ponderação do quadrado das cargas fatoriais pela variância de cada fator. O segundo utiliza a mesma ponderação, mas considera apenas os fatores resultantes da aplicação dos critérios de redução do número de fatores. Já o terceiro engloba todos os fatores, como o primeiro, mas não pondera as cargas pela variância do fator correspondente. Este último foi o método adotado após o processo de avaliação e validação realizado posteriormente. Os métodos 1, 2 e 3 serão detalhados, respectivamente, nas seções 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3.

Em todos os métodos, os pesos dos indicadores foram, ainda, ponderados pela soma dos pesos dos demais indicadores. Assim, obteve-se uma medida do peso relativo do indicador na

seção, ou seja, a soma dos pesos de dos indicadores na mesma seção é igual a 1. Esse artifício faz do índice uma média ponderada dos indicadores.

As cargas fatoriais podem ser positivas ou negativas, o que indica se a relação entre a variável e o fator é direta ou inversamente proporcional. Assim, para cada método de cálculo do peso, foram testados ainda três modelos de cálculo considerando as cargas fatoriais com seus respectivos sinais, apenas as cargas positivas e apenas as negativas, como apresentado no Quadro 10. O objetivo foi tentar encontrar a melhor maneira de expressar a real importância de um indicador dentro da seção, o que se revelou ser por meio do cálculo pelas cargas totais, como visto em etapas seguintes.

Quadro 10 - Tipos de carga fatorial testados para todo modelo.

Cargas totais	$C_{i,j,s}$
Cargas positivas	$C_{i,j,s}^+ = C_{i,j,s} > 0$
Cargas negativas	$C_{i,j,s}^- = C_{i,j,s} < 0$

### 3.4.1 Método 1 - Cargas Fatoriais Totais Ponderadas

Neste método foram consideradas todas as cargas fatoriais da matriz fatorial inicial, assim, o número de fatores é igual ao número de indicadores da seção. O cálculo do peso relativo de cada indicador é apresentado na Equação 6.

$$P_{i,s} = \frac{\sum_{j=1}^m (C_{i,j,s})^2 VAR_{j,s}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{i,j,s})^2 VAR_{j,s}} \quad [\text{Eq. 6}]$$

Onde:

$P$  = peso do indicador

$C$  = carga fatorial

$VAR$  = variância do fator

$i$  = ordem do indicador na seção

$j$  = ordem do fator na seção

$n$  = número de indicadores na seção

$m$  = número de fatores na seção

$s$  = seção

O numerador da equação corresponde ao somatório do produto do quadrado da carga fatorial pela variância do fator, partindo da primeira coluna de fatores até percorrer todos os fatores considerados na análise. Neste somatório só são consideradas as cargas fatoriais para a linha da matriz relativa ao indicador cujo peso está sendo calculado.

O denominador apresenta o termo que pondera o somatório do quadrado das cargas (já ponderadas pela variância) de um indicador em relação ao quadrado das cargas (ponderadas pela variância) de todos os indicadores da seção. Assim, é obtido o peso relativo de cada indicador na seção à qual pertence. O denominador é, portanto, a soma dos numeradores de cada indicador e é constante para uma mesma seção. Dessa forma, a soma de todos os pesos relativos da seção é igual a 1.

A multiplicação da carga fatorial ao quadrado pela variância em cada fator visa ponderar a carga pela importância do fator na representação do conjunto de dados. Assim, um indicador com elevada carga fatorial nos primeiros fatores teria maior peso que outro com cargas fatoriais mais elevadas nos últimos fatores, uma vez que os fatores são dispostos em ordem decrescente de variância.

Além do caso geral, em que as cargas foram aplicadas respeitando seu sinal, a Equação 6 foi aplicada também considerando apenas as cargas positivas e apenas as cargas negativas.

### **3.4.2 Método 2 - Cargas Fatoriais Parciais Ponderadas**

O método 2 segue as mesmas etapas do método 1, também podendo ser expresso pela Equação 6. A diferença consiste no número de fatores considerados. A matriz fatorial que é considerada neste método não é a inicial, mas a obtida após a aplicação dos critérios de escolha do número de fatores extraídos. Para essa análise só foram descartados os indicadores com baixas comunalidades, sendo mantidos os responsáveis por cargas cruzadas.

Dessa forma, o peso do indicador leva em conta apenas as cargas fatoriais para os fatores mais relevantes, ou seja, os que explicam a maior parte da variância. Como visto na seção dedicada à análise fatorial, foram extraídos os fatores que juntos representassem ao menos 60% da variância total dos dados.

### 3.4.3 Método 3 - Cargas Fatoriais Totais Não-Ponderadas

O terceiro método considera a totalidade de fatores da matriz fatorial inicial, assim como o método 1. A diferença deste para os demais métodos é que o quadrado das cargas fatoriais não é ponderado pela variância do fator, como visto na Equação 7. Essa proposta desconsidera que exista uma ordem de importância entre os fatores.

$$P_{i,s} = \frac{\sum_{j=1}^m (C_{i,j,s})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{i,j,s})^2} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde:

$P$  = peso do indicador

$C$  = carga fatorial

$i$  = ordem do indicador na seção

$j$  = ordem do fator na seção

$n$  = número de indicadores na seção

$m$  = número de fatores na seção

$s$  = seção

Assim como nos demais métodos, a equação para o cálculo do peso do indicador foi aplicada para as cargas originais e para as cargas positivas e negativas, separadamente. Nesse método, para as cargas totais, o peso é distribuído igualmente para todos os indicadores, ou seja, os pesos dos indicadores de uma mesma seção possuem o mesmo valor e o índice resultante corresponde à média aritmética destes indicadores.

### 3.4.4 Validação dos índices por seção

A definição do método de cálculo a ser utilizado e sua validação passou pelos processos de escolha das cargas fatoriais, tendo sido decidido pela manutenção dos seus sinais originais, e da verificação de qual modelo de cálculo possuía maior capacidade de expressar a informação contida em cada seção temática da norma.

Quando analisados os valores obtidos para os pesos dos indicadores para as diferentes cargas fatoriais (Quadro 10), observou-se a relevância de considerar tanto as cargas positivas quanto as negativas para o cálculo. A construção dos métodos de cálculo dos pesos a partir do quadrado das cargas fatoriais elimina possíveis distorções que poderiam ser causadas com o somatório de cargas de sinais opostos, como a anulação de cargas, o que resultaria na atribuição de menores pesos para indicadores representativos das seções. Sendo assim, optou-se pela adoção do cálculo dos pesos a partir das cargas fatoriais totais, independentemente de seu sinal.

Para a escolha do melhor método e sua validação, foi realizada a comparação entre o *ranking* de cidades gerado a partir do índice calculado por cada um dos métodos e os diferentes grupos de cidades oriundos da análise de agrupamentos. Dessa forma, para cada seção foi traçado o *ranking* de cidades e analisada a distribuição dos agrupamentos, como exemplificado na Figura 11.



Figura 11 - Exemplo da comparação entre o *ranking* de índices e agrupamentos.

No exemplo ilustrativo para fins de simplificação, é considerada uma mostra de 15 cidades, com seus respectivos grupos indicados do G1 ao G4. Nota-se que os agrupamentos G1 e G2 não estão distribuídos de forma contínua e as cidades 3, 8 e 11 não tem nenhum grupo atribuído, tendo sido excluídas durante a análise de agrupamentos, como ocorrem com observações discrepantes.

A proposta visa avaliar como o ordenamento dado pelo índice mantém a proximidade entre as cidades apontada pelos agrupamentos. Para isso foi utilizada a comparação de partições por meio de uma ferramenta online disponível em [www.comparingpartitions.info](http://www.comparingpartitions.info) (CARRIÇO *et al.*, 2006). O coeficiente de similaridade adotado foi o índice de Jaccard (JACCARD, 1901),

que pode ser definido como a razão entre a cardinalidade da interseção de dois conjuntos (X,Y) pela cardinalidade da união dos mesmos, sendo X e Y conjuntos de mesmo tamanho (VORONTSOV; KULAKOVSKIY; MAKEEV, 2013), como visto na Equação 8.

$$J(X,Y) = \frac{\#X \cap Y}{\#X \cup Y} \quad [Eq. 8]$$

Os dados inseridos na ferramenta online são organizados em duas colunas em que à esquerda estão os grupos segundo o ordenamento do *ranking* e à direita o que seria a ordem ideal. Os dados de entrada para o exemplo apresentado na Figura 11 estão expressos na Figura 12.

Original, Ideal
1,1
1,1
2,1
1,2
2,2
2,2
3,3
3,3
3,3
4,4
4,4
4,4

Figura 12 - Dados de entrada para a comparação por partição.

O índice de Jaccard resultante é apresentado junto a um gradiente de cores em que:

- azul – o coeficiente indica uma ótima/boa semelhança;
- verde – indica uma semelhança de moderada (aceitável do ponto de vista estatístico);
- laranja – indica semelhança ruim;
- vermelho – indica ausência de semelhança.

### 3.4.5 Intervalo de valores para os índices por seção temática

Ao final, os índices das seções foram normalizados para que fossem apresentados no intervalo de 0 a 1, com precisão de 3 casas decimais. Os valores extremos de uma seção foram definidos sendo zero o índice calculado a partir dos valores mínimos de cada indicador que compõe esta seção, de acordo com os valores contidos na amostra analisada, e sendo 1 o índice obtido com os valores máximos desses indicadores. Dessa forma, uma cidade só apresentaria o

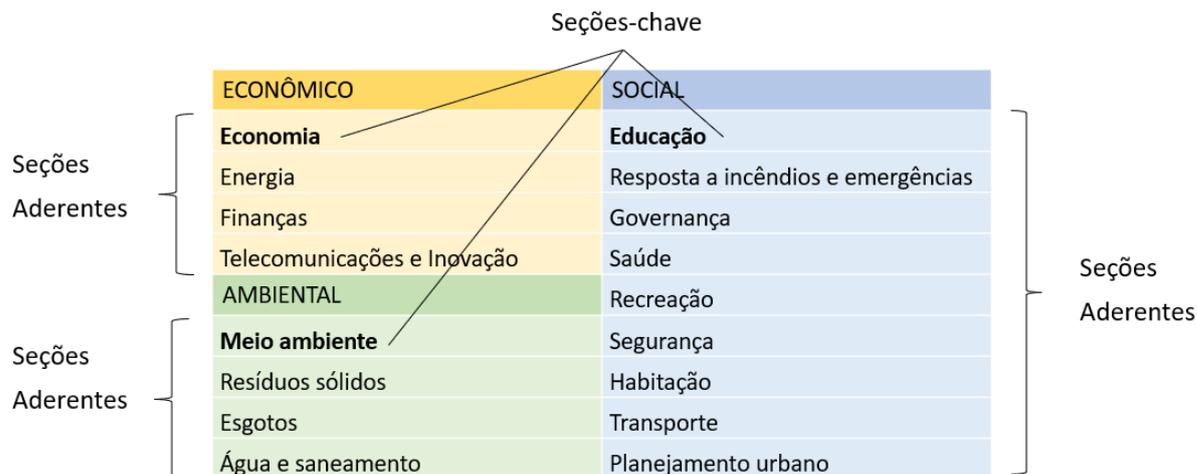
valor máximo para um índice se esta concentrasse os melhores indicadores sobre determinado tema dentre o conjunto total de cidades estudadas.

### 3.5 CÁLCULO DOS ÍNDICES POR EIXO DA SUSTENTABILIDADE

Uma vez calculados os índices correspondentes às 17 seções temáticas para as cidades da amostra, partiu-se para a definição de índices capazes de representar os aspectos da sustentabilidade, ou seja, índices para os eixos econômico, social e ambiental.

A fim de analisar a relação entre as seções da norma, foi calculada a matriz de correlação a partir dos índices por seção (Apêndice B). Em seguida definiu-se seções-chave de cada eixo, as quais corresponderiam aos temas que melhor representariam o tripé da sustentabilidade. As seções, em sua totalidade, foram ainda alocadas ao longo dos três eixos de acordo com sua afinidade com cada um dos aspectos, levando-se em conta a natureza dos indicadores que as compõem. A atribuição de uma seção-chave e de um grupo de seções aderentes a cada eixo está disposta na Figura 13.

Figura 13 - Seções-chave e seções aderentes por eixo da sustentabilidade.



Foram propostos, então, diferentes métodos para se chegar a um modelo de cálculo efetivo para os índices por eixo do desenvolvimento sustentável. As fórmulas de cálculo desses métodos estão indicadas no Quadro 11, sendo detalhadas nas seções 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3.

Quadro 11 - Métodos de cálculo para o índice por eixo de sustentabilidade.

Método	Fórmula
1 - Média Aritmética das Seções Aderentes	$I_{eixo} = \frac{\sum_{i=1}^n IS_{ad_i}}{n}$ [Eq. 9]
2 - Média Ponderada das Seções Aderentes	$I_{eixo} = \frac{\sum_{i=1}^n IS_{ad_i} \times cor_{ad_i,ch}}{\sum_{i=1}^n cor_{ad_i,ch}}$ [Eq. 10]
3 - Média Ponderada do Total de Seções	$I_{eixo} = \frac{\sum_{j=1}^m IS_j \times cor_{j,ch}}{\sum_{j=1}^m cor_{j,ch}}$ [Eq. 11]

Fonte: COUTO; DI GREGORIO; COELHO, 2020.

Onde:

$I_{eixo}$  = índice

$IS$  = índice seção

$ad$  = seção aderente

$ch$  = seção-chave

$cor$  = correlação

$i$  = ordem da seção aderente (segundo Figura 13)

$n$  = número de seções aderentes

$j$  = ordem da seção da norma

$m$  = número de seções da norma

### 3.5.1 Método 1 – Média Aritmética das Seções Aderentes

No método 1, o cálculo do índice de um eixo da sustentabilidade consiste na média aritmética dos índices das seções aderentes ao tema correspondente (Equação 9), como definido

previamente. Neste modelo o conceito de seções-chave não é levado em consideração, tendo todas as seções aderentes o mesmo peso na composição do índice.

### **3.5.2 Método 2 – Média Ponderada das Seções Aderentes**

Pelo método 2, o índice de um aspecto da sustentabilidade é calculado pela média dos índices das seções aderentes ao eixo, ponderada pela correlação entre cada seção aderente e a seção-chave deste eixo (Equação 10). A ponderação pela correlação entre essas seções e a seção-chave visa considerar que cada seção tem um grau de relevância diferente para a temática das dimensões da sustentabilidade e que esta relação pode ser representada pela seção-chave correspondente.

### **3.5.3 Método 3 – Média Ponderada do Total de Seções**

O método 3 consiste no cálculo do índice por eixo da sustentabilidade pela média de todas as seções da norma, ponderada pela correlação entre cada seção e a seção-chave do respectivo eixo (Equação 11). Este método desconsidera a ideia de seções mais aderentes a um determinado eixo, assim os índices de todas as seções são computados no cálculo do índice por eixo, variando, para cada aspecto da sustentabilidade, o peso atribuído a cada seção da norma. Como no método 2, o peso de cada seção é dado por sua correlação com a seção-chave do eixo.

Uma vez que os valores dos índices das seções podem apresentar sinais positivos e negativos (devido à normalização por escores padrão), assim como no caso das correlações, optou-se por realizar os cálculos a partir da adoção das correlações com seus sinais originais e com seus valores em módulo. O objetivo foi avaliar os resultados para os diferentes cenários a fim de validar o melhor procedimento de cálculo.

### **3.5.4 Validação dos índices por eixo da sustentabilidade**

Para a escolha do método de cálculo mais adequado para os índices por eixo e para a validação deste como um método eficaz para expressar os aspectos da sustentabilidade, foram adotados parâmetros de referência externos para cada eixo. Assim, foi confrontado o desempenho das cidades da amostra pelos índices desenvolvidos no trabalho e pelos parâmetros externos.

A escolha das medidas de referência se baseou em índices e conceitos já consolidados e aceitos pela literatura e com oferta de dados, embora conhecidas algumas limitações inerentes a cada um. O Quadro 12 apresenta os parâmetros adotados.

Quadro 12 - Parâmetros de referência para os eixos da sustentabilidade.

<b>Eixo da sustentabilidade</b>	<b>Parâmetro de referência</b>
Econômico	Renda Nacional Bruta ( <i>Gross National Income – GNI</i> ) <i>per capita</i>
Social	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
Ambiental	Índice de Performance Ambiental ( <i>Environmental Performance Index – EPI</i> )

Fonte: COUTO; DI GREGORIO; COELHO, 2020.

Representante do eixo econômico, a Renda Nacional Bruta (RNB) ou *Gross National Income* (GNI) substituiu o Produto Nacional Bruto após a revisão do Sistema Nacional de Contas (ONU, 1993). RNB *per capita* é a métrica adotada pelo Banco Mundial para avaliar a economia dos países, classificando suas rendas em quatro grupos: baixa, média-baixa, média-alta e alta. O indicador é calculado pela conversão dos valores locais em dólares americanos, segundo a metodologia do Atlas do Banco Mundial, que utiliza a média móvel do câmbio dos últimos três anos. A escolha da RNB em detrimento ao PIB vem do fato do primeiro considerar a renda gerada na economia doméstica por residentes e não-residentes (FANTOM; SERAJUDDIN, 2016).

O Índice de Desenvolvimento Humano engloba dados referentes a educação, saúde e renda, tendo sido escolhido como representativo do aspecto social. Composto pelos indicadores: expectativa de vida, expectativa de anos de escolaridade, média de anos de educação de adultos e Renda Nacional Bruta *per capita* expressa em poder de paridade de compra (PPP), o IDH foi uma alternativa para tratar o desenvolvimento para além de seu aspecto exclusivamente econômico (ONU, 2019c).

Parâmetro para o eixo ambiental, o Índice de Performance Ambiental abrange diversos aspectos do meio ambiente, sendo composto por 11 subíndices que juntos agregam 32 indicadores (WENDLING *et al.*, 2020).

Como a maioria desses índices não estão disponíveis para as cidades, mas sim à nível nacional, foram colhidos os dados para todos os 19 países da amostra do presente estudo. Para cada país foi definida uma cidade que melhor o representasse, podendo corresponder à sua capital ou cidade mais populosa, de acordo com o conjunto amostral. A tabela com as cidades selecionadas e os valores dos índices de referência externos está disposta no Apêndice C.

Assim, para as cidades selecionadas, foram calculados os índices por eixo de sustentabilidade segundo cada um dos três métodos propostos, como apresentado no Quadro 11. Em seguida, para cada método, foi calculada a correlação entre o índice obtido para cada um dos eixos e o índice adotado como parâmetro externo de referência. O grau de correlação validaria a pertinência dos índices, apontando o método de cálculo mais adequado, bem como a melhor maneira de considerar os sinais dos valores de correlação durante aplicação do método.

### **3.5.5 Intervalo de valores para os índices por eixo da sustentabilidade**

Como no caso dos índices por seção temática, os índices por eixo da sustentabilidade foram normalizados dentro do intervalo entre 0 e 1 e apresentados com 3 casas decimais. Para esses índices, os extremos foram definidos a partir dos valores máximos e mínimos dos índices por seção obtidos na etapa anterior. Ou seja, um índice de valor 1 corresponderia a uma cidade que concentrasse os valores máximos de todos os índices por seção calculados para as cidades da amostra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DAS CERTIFICAÇÕES DO WCCD

As certificações pela WCCD tiveram início em 2014, ano em que foi lançada a norma ISO 37120. Até a data do presente estudo, o *Open Data Portal* contava com dados de 110 certificações, todas elas tendo como referência a primeira versão da norma. A Tabela 4 apresenta como as certificações estão distribuídas, de acordo com sua classificação e ano de referência. As categorias dos certificados levam em consideração a quantidade de indicadores essenciais e de apoio fornecidos pelas cidades.

Tabela 4 - Distribuição das certificações do WCCD por classificação e ano.

<b>ANO</b>	<b>ASPIRANTE</b>	<b>BRONZE</b>	<b>PRATA</b>	<b>OURO</b>	<b>PLATINA</b>	<b>TOTAL/ANO</b>
<b>2014</b>	7	0	0	3	9	<b>19</b>
<b>2015</b>	1	0	0	2	16	<b>19</b>
<b>2016</b>	4	0	0	5	21	<b>30</b>
<b>2017</b>	3	0	1	1	21	<b>26</b>
<b>2018</b>	0	0	0	1	14	<b>15</b>
<b>2019</b>	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>82</b>	<b>110</b>

Em relação ao ano, é preciso assumir que os valores de 2018 e 2019 podem ser alterados nos próximos meses, uma vez que os indicadores tendem a ser levantados em relação ao precedente. Dessa forma, é possível notar um aumento das certificações entre os anos de 2015 e 2016. Entretanto, não se pode inferir que ocorre, de fato, um decréscimo significativo após esse período.

Quando observada a distribuição das certificações por categoria, tem-se que 74,5% destas são classificadas como platina, o nível mais alto. Nota-se, também, que ao longo dos anos o número de classificações inferiores decai, o que é esperado após o processo de adaptação das cidades à metodologia de indicadores preconizada pela norma.

Outro ponto é a quase inexistência de certificações de classificações intermediárias, o que pode ser resultado de dificuldades para a obtenção de algum indicador essencial. Isso porque a apresentação da totalidade de indicadores essenciais é condição para que a cidade deixe a posição de aspirante.

As certificações podem ser avaliadas, ainda, em relação à sua localização geográfica, conforme divisão adotada pela ONU (1999). Optou-se, ainda, por separar o continente

americano entre América do Norte e América Latina, ficando o México contido nesta última região, segundo a classificação aplicada. A Tabela 5 apresenta, por continente, o número de certificações obtidas e quantidade de países e cidades nas quais elas estão distribuídas.

Tabela 5 - Distribuição das certificações do WCCD por continente.

<b>CONTINENTE</b>	<b>PAÍSES</b>	<b>CIDADES</b>	<b>CERTIFICAÇÕES</b>
<b>América do Norte</b>	2	16	30
<b>América Latina</b>	3	8	12
<b>África</b>	2	4	5
<b>Ásia</b>	9	15	25
<b>Oceania</b>	1	3	9
<b>Europa</b>	10	21	29
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>67</b>	<b>110</b>

O número de cidades não corresponde ao número de certificações, pois uma mesma cidade pode ser certificada para diferentes anos. A única cidade a receber a certificação todos os anos entre 2014 e 2018 foi Boston, nos Estados Unidos. Diversas outras cidades apresentaram entre 2 e 3 certificados.

Nota-se uma concentração de mais de 76% das certificações na América do Norte, Europa e Ásia. O resultado para a América do Norte se destaca ainda mais quando observado o número de países participantes. A grande aderência das cidades dos Estados Unidos e Canadá, com 11 e 19 certificações, respectivamente, pode ser atribuída ao fato dos indicadores que embasaram a ISO 37120 terem suas origens em um sistema canadense.

Outros os países que se destacam em número de certificações dentro do universo de seu continente são a Austrália, único país a representar a Oceania no WCCD, e o México que, com 6 cidades certificadas, detém 2/3 das certificações da América Latina.

Com números bem menos expressivos de certificações, as cidades da América Latina, Oceania e África correspondem a cerca de 22% do total de cidades. A porcentagem se mantém quando visto o número de países dessas regiões em relação ao total de países. Observa-se, assim, que a proporção entre países, cidades e certificações entre esses dois grupos de continentes se mantém uniforme.

À exceção da Oceania, representada exclusivamente pela Austrália, é visto que os continentes com menor número de certificações coincidem com aqueles menos desenvolvidos. Cabe lembrar que as cidades são certificadas pelo número de indicadores disponíveis, ou seja, o processo não leva em conta a performance das localidades. Assim, pode-se notar uma

provável correlação entre a transparência das cidades e o seu nível de desenvolvimento. O desempenho da Ásia, nesse caso, poderia ser explicado pela concentração das cidades em países dos Emirados Árabes e em Taiwan, regiões mais ricas do vasto continente asiático.

#### 4.2 ANÁLISE FATORIAL

O Quadro 13 apresenta o resultado da Análise Fatorial, após percorridas todas as etapas descritas na seção 3.2. Esta análise visou o resumo da informação da matriz de dados em fatores, para os quais buscou-se uma interpretação aproximada capaz de simplificar a compreensão do conjunto de dados.

Quadro 13 - Distribuição dos indicadores pelos fatores gerados na Análise Fatorial.

SEÇÃO	FATOR	INDICADORES	INTERPRETAÇÃO SUGERIDA
5	1	5.1; 5.5	Desemprego
	2	5.2; 5.4	-
	3	5.7	Patentes
6	1	6.1; 6.5; 6.6	População matriculada em escolas
	2	6.2; 6.3	Taxa de sobrevivência nas escolas
7	1	7.1; 7.4; 7.5	Consumo de energia e fontes renováveis
	2	7.6; 7.7	Interrupções de energia elétrica
	3	7.2	Fornecimento de energia
8	1	8.1; 8.2; 8.5	Emissão de material particulado e $SO_2$
	2	8.3; 8.6	Emissão de GEE e $O_3$
9	1	9.1; 9.3	Endividamento e receita própria
	2	9.2	Despesas
10	1	10.1; 10.6	Número de bombeiros e tempo de resposta
	2	10.4; 10.5	-
	3	10.2; 10.3	Número de mortes por desastres e incêndios
11	1	11.1; 11.3; 11.6	-
	2	11.2; 11.5	Mulheres e autoridades locais eleitas
	3	11.4	Condenações por corrupção
12	1	12.3; 12.6	Número de profissionais de saúde
	2	12.1; 12.4	Expectativa de vida e mortalidade
	3	12.2; 12.7	-
13	1	13.1	Espaços de recreação cobertos
	2	13.2	Espaços de recreação ao ar livre
14	1	14.3; 14.5	Crimes
	2	14.2; 14.4	-
15	1	15.1	População em favelas
	2	15.2	População sem-teto
16	1	16.6; 16.7	Resíduos sólidos (RS) a céu aberto
	2	16.8	RS dispostos em meios alternativos
	3	16.5	RS para incineração

SEÇÃO	FATOR	INDICADORES	INTERPRETAÇÃO SUGERIDA
	4	16.1	População com coleta de RS
	5	16.9	RS perigosos
17	1	17.1; 17.3	Conexões de <i>internet</i> e telefone fixo
	2	17.2	Conexões de telefone celular
18	1	18.3; 18.5	Uso do transporte público
	2	18.7; 18.8	Ciclovias e mortalidade
	3	18.1	Transporte público de alta capacidade
	4	18.2	Transporte público de média capacidade
	5	18.6	Veículos motorizados de duas rodas
19	1	19.2	Árvores plantadas
	2	19.3	Assentamentos informais
	3	19.1	Áreas verdes
20	1	20.3; 20.4	Esgoto com tratamento 1 <sup>ário</sup> e 2 <sup>ário</sup>
	2	20.5	Esgoto com tratamento 3 <sup>ário</sup>
21	1	21.1; 21.3	Acesso à água e saneamento
	2	21.4; 21.5	Consumo de água
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>76</b>	

A análise fatorial resultou na obtenção de 46 fatores que condensam as informações de 76 indicadores, sendo 20 deles compostos por apenas 1 indicador, 22 compostos por 2 indicadores e 4 compostos por 3 indicadores. Dos 96 indicadores da matriz de dados original, 20 foram excluídos ao longo deste processo devido a baixas comunicações ou a presença de cargas cruzadas mesmo após o uso de diferentes métodos de rotação.

Nas seções 13 e 15, a existência de apenas 2 indicadores inviabilizou a realização da análise fatorial. Nestes casos, cada indicador foi considerado como um fator individual. Já na seção 19, o procedimento não conseguiu agrupar nenhum dos indicadores, que permaneceram como fatores separados.

#### 4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Após testes com diferentes métodos de ligação para a análise de agrupamentos, o que apresentou melhores resultados, ou seja, a melhor distribuição das cidades em grupos, foi a ligação completa. Para a totalidade de seções adotou-se, portanto, a ligação completa, tendo a distância euclidiana como medida de similaridade.

Os resultados das análises para as 17 seções (de 5 a 21) estão resumidos na Tabela 6, que aponta o número de grupos formados, assim como o número de cidades consideradas, tendo em vista a eliminação de observações discrepantes no processo. Tem-se uma média de 6 cidades

excluídas em cada análise. Nota-se, também, que ao longo das seções o número de grupos variou entre 4 e 8, com a predominância de seções com 8 agrupamentos.

Tabela 6 - Resumo dos resultados da Análise a Agrupamentos.

<b>Seção</b>	<b>Grupos</b>	<b>Cidades</b>
<b>5</b>	7	42
<b>6</b>	5	40
<b>7</b>	6	40
<b>8</b>	7	37
<b>9</b>	8	43
<b>10</b>	5	39
<b>11</b>	4	41
<b>12</b>	8	38
<b>13</b>	8	38
<b>14</b>	8	40
<b>15</b>	8	40
<b>16</b>	4	40
<b>17</b>	5	44
<b>18</b>	6	39
<b>19</b>	7	35
<b>20</b>	6	35
<b>21</b>	8	42

A Figura 14 exemplifica o resultado obtido para a seção 5, em que as diferentes cores do dendograma representam os diferentes agrupamentos formados. Os números no eixo horizontal indicam a posição da observação no conjunto final de amostras, já eliminadas todas as observações atípicas. Como são ordinais, esses números correspondem a diferentes cidades, dependendo da amostra utilizada. Tanto os números e as cidades que representam, quanto as cidades excluídas na análise, estão discriminados no quadro ao lado de cada dendograma. O dendograma e o os grupos originados em cada seção, individualmente, podem ser vistos em detalhe nos esquemas apresentados no Apêndice D.

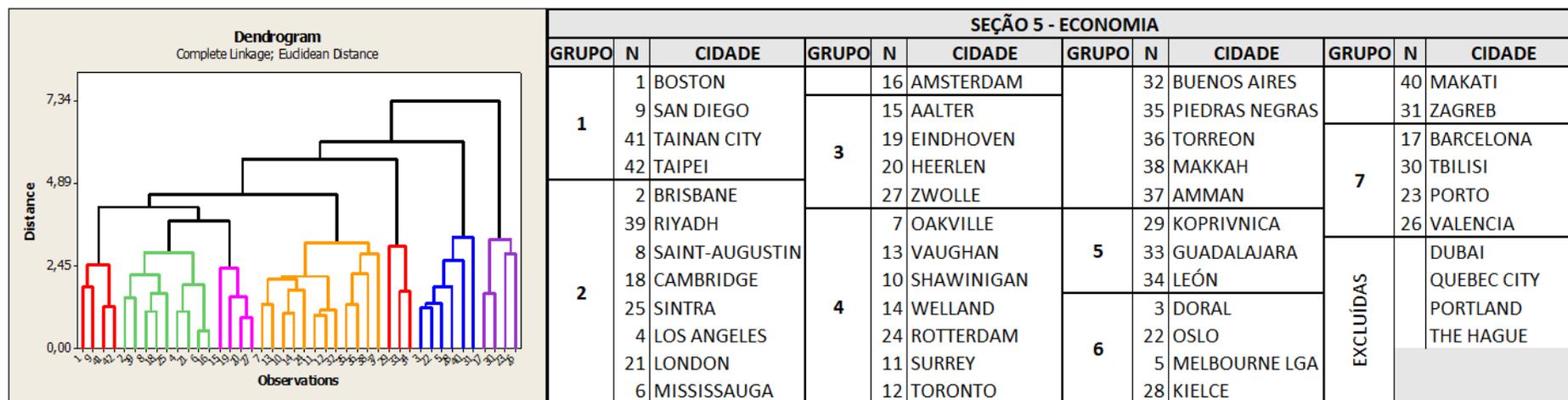


Figura 14 - Exemplo para os agrupamentos da Seção 5.

#### 4.4 ÍNDICES POR SEÇÃO TEMÁTICA

Com o objetivo de verificar a validade dos métodos de cálculo e identificar o modelo mais eficaz na representação da seção da norma, os índices resultantes foram comparados com os grupos decorrentes da análise de agrupamentos por meio da análise de partições. Vale destacar que se trata da validação dos métodos de cálculo desenvolvidos e, portanto, esta não se configura um etapa necessária para posteriores aplicações do método SITIUS. Os valores do índice de Jaccard obtidos para cada método proposto estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Índice de Jaccard para os métodos de cálculo do índice por seção temática.

Seção	Método 1	Método 2	Método 3
5	0.422	0.364	0.337
6	0.500	0.461	0.399
7	0.610	0.552	0.620
8	0.427	0.293	0.433
9	0.373	0.373	0.424
10	0.319	0.319	0.372
11	0.245	0.253	0.402
12	0.385	0.394	0.394
13	0.556	0.556	0.566
14	0.346	0.447	0.374
15	0.493	0.493	0.493
16	0.317	0.285	0.394
17	0.337	0.363	0.346
18	0.415	0.415	0.290
19	0.620	0.483	0.620
20	0.886	0.864	0.886
21	0.359	0.469	0.279

De modo geral, os três métodos apresentaram valores para o índice de Jaccard satisfatórios para se afirmar a semelhança entre as partições, o que garante sua validação como representativos das seções temáticas.

Uma importante limitação dessa comparação é que a análise de agrupamentos atribui o mesmo peso para todos os indicadores de uma seção, o que pode influenciar o resultado, já que os métodos 1 e 2 ponderam estes indicadores. No entanto, os resultados dessa análise apontaram uma forte semelhança entre os diferentes métodos, com índices de Jaccard muito próximos quando comparados aos agrupamentos.

A escolha do método adotado, portanto, levou em conta a simplicidade do cálculo, optando-se pelo Método 3. Como visto, este método considera que todos os indicadores de uma

seção possuem o mesmo peso, eliminando a necessidade da realização da análise fatorial para se chegar aos valores desses pesos. Observa-se, assim, a relevância de cada indicador, individualmente, para o cálculo dos índices.

A conclusão de que um índice correspondente à média dos indicadores que o compõem é tão eficaz quanto um índice com cálculos mais complexos, é um resultado positivo do ponto de vista dos atributos de um indicador ou índice, uma vez que é importante que estes sejam de fácil compreensão, cálculo e utilização.

#### 4.4.1 Valores resultantes

Definido o método de cálculo e realizada a normalização para o intervalo de 0 a 1, segundo os valores máximos e mínimos dos indicadores, as cidades da amostra foram ranqueadas pelos valores de seus índices em cada seção temática da norma ISO 37120.

Para auxiliar a análise de cada índice, a partir do *ranking* das cidades, os valores podem ser divididos por quartis, uma medida de localização que reparte uma amostra ordenada em quatro segmentos a partir da posição de Q1, Q2 e Q3. O 1º quartil (Q1) é delimitado pelo valor abaixo do qual encontram-se 25% dos dados, enquanto o 3º quartil (Q3) representa o ponto da distribuição em que 75% dos dados são iguais ou inferiores a este. Já o 2º quartil (Q2) equivale à mediana. A diferença entre Q3 e Q1 é chamada de amplitude interquartil (IQR) e representa uma medida de dispersão dos dados (MARTINS, 2014), sendo sua análise importante para minimizar os efeitos da presença de outliers nos dados.

Como a amostra possui o mesmo tamanho para todos os índices, sendo composta por 46 cidades, Q3 se localiza entre a 11ª e a 12ª posição, Q2 entre a 23ª e 24ª e Q1 entre 35ª e 36ª posição. Assim, a partição dos dados em quatro setores a partir dos quartis é apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 - Divisão do *ranking* em setores a partir dos quartis.

Setor	Quartis	Posição
A	Acima de Q3	1ª a 11ª
B	Entre Q3 e Q2	12ª a 23ª
C	Entre Q2 e Q1	24ª a 35ª
D	Abaixo de Q1	36ª a 46ª

## 4.4.1.1 Índice de Economia

O primeiro lugar no *ranking* do índice de economia (Tabela 8) é ocupado por Dubai, a cidade apresenta os melhores indicadores no quesito emprego, além de não possuir população vivendo abaixo da linha da pobreza. Em seguida está Portland, cujo índice igualmente se destaca dos demais. No setor A se encontram, ainda, as 3 cidades do grupo composto pelo Sudeste Asiático e Ásia Oriental, são elas Taipei, Makati e Tainan City. Entre os melhores índices também estão cidades 4 cidades da América Anglo-Saxônica e Oceania, 2 do Leste Europeu e apenas 1 da Europa Ocidental, grupo representado por Oslo.

Tabela 8 - *Ranking* das cidades para o Índice de Economia.

SEÇÃO 5 - Economia					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Dubai	0.783	24º	Mississauga	0.469
2º	Portland	0.728	25º	Riyadh	0.451
3º	Oslo	0.649	26º	London	0.449
4º	Taipei	0.629	27º	Vaughan	0.447
5º	Makati	0.617	28º	Oakville	0.443
6º	Melbourne LGA	0.616	29º	Torreon	0.431
7º	Doral	0.609	29º	Surrey	0.431
8º	Tainan City	0.594	31º	Heerlen	0.430
9º	San Diego	0.592	32º	Koprivnica	0.429
10º	Kielce	0.588	33º	Guadalajara	0.424
11º	Zagreb	0.570	34º	Buenos Aires	0.410
12º	The Hague	0.568	35º	Piedras Negras	0.409
13º	Aalter	0.549	36º	Shawinigan	0.399
14º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.537	37º	Amman	0.394
15º	Quebec City	0.532	38º	Toronto	0.392
16º	Eindhoven	0.525	39º	Rotterdam	0.381
17º	Sintra	0.514	40º	Porto	0.376
18º	Boston	0.513	41º	León	0.374
19º	Los Angeles	0.506	42º	Welland	0.368
20º	Brisbane	0.504	43º	Makkah	0.364
21º	Cambridge	0.496	44º	Barcelona	0.332
22º	Zwolle	0.483	45º	Tbilisi	0.288
23º	Amsterdam	0.471	46º	Valencia	0.281

No lado oposto, encontra-se Valencia, a cidade espanhola apresenta o pior desempenho para o índice, empurrado pelas altas taxas de desemprego, principalmente entre os jovens, o

que também explica a presença de Barcelona e do Porto no setor D. Única cidade representante da América Latina, León sobressai negativamente pela porcentagem da população extremamente pobre. A presença de 2 cidades do Oriente Médio contrasta com a liderança de Dubai no *ranking*. Outro destaque é a presença de 3 cidades canadenses entre os índices de economia mais baixos: Shawinigan, Toronto e Welland.

A amplitude interquartil do conjunto de dados é de 0,162. Nesse intervalo se situa a maior parte das cidades da Europa Ocidental, concentradas no setor B e da América Latina, todas no setor C. Nos quartis intermediários também se encontra grande parte dos representantes da América Anglo-Saxônica e Oceania, região com maior número de cidades.

#### 4.4.1.2 Índice de Educação

O *ranking* das cidades para o índice de educação (Tabela 9) tem como primeira colocada Koprivnica, que se destaca pelos indicadores relacionados à população matriculada em escolas, os quais ultrapassam a marca de 100%. Considerando que estes indicadores correspondem à razão entre determinada população matriculada em escolas e o total desta população na cidade, uma hipótese é que esta cidade pode atender a demanda de outras localidades ao entorno. O setor A é também composto por 3 cidades do Canadá, 2 da Austrália, 2 de Taiwan, estando ainda Emirados Árabes, Bélgica e Inglaterra, representados por 1 cidade cada. Quando comparado ao setor A do índice de economia, nota-se a interseção de 4 cidades, são elas Dubai, Merlbourne LGA, Taipei e Tainan City.

Assim como em economia, os setores B e C concentram a maior parte das cidades da América Anglo-Saxônica e da Europa Ocidental. Estes setores estão compreendidos em uma amplitude interquartil de cerca de 0,155. Já no setor D, as cidades que convergem nas duas seções temáticas são Makkah, Amman, León e Tbilisi.

No grupo de pior desempenho, encontram-se todas as 5 cidades da América Latina presentes na amostra, incluindo o penúltimo e o último lugar do *ranking*, que correspondem às cidades de Buenos Aires e Piedras Negras, respectivamente. Contrastando com seu desempenho no índice de economia e com o nível de desenvolvimento da Noruega, Oslo detém um dos piores índices de educação. O valor do índice da capital norueguesa corresponde ao baixo desempenho dos indicadores individualmente e alertam para uma possível revisão desses dados. Ainda no setor D, estão Los Angeles e Sintra, cidades dos Estados Unidos e de Portugal, respectivamente.

Tabela 9 - *Ranking* das cidades para o Índice de Educação.

SEÇÃO 6 - Educação					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Koprivnica	0.812	24º	Barcelona	0.574
2º	Brisbane	0.756	25º	Zagreb	0.573
3º	Dubai	0.704	26º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.572
4º	Taipei	0.686	27º	Doral	0.567
5º	Mississauga	0.675	28º	Toronto	0.560
6º	Vaughan	0.661	29º	Valencia	0.559
7º	Aalter	0.647	30º	The Hague	0.553
8º	Tainan City	0.646	31º	Shawinigan	0.543
9º	Surrey	0.634	32º	San Diego	0.495
10º	Melbourne LGA	0.631	33º	Makati	0.480
11º	Cambridge	0.621	34º	Porto	0.474
12º	Welland	0.617	35º	Rotterdam	0.463
13º	London	0.614	36º	Guadalajara	0.462
14º	Kielce	0.603	37º	Los Angeles	0.459
15º	Quebec City	0.601	38º	Tbilisi	0.448
15º	Riyadh	0.601	39º	Sintra	0.435
17º	Oakville	0.599	40º	Amman	0.408
17º	Amsterdam	0.599	41º	León	0.374
19º	Heerlen	0.597	42º	Makkah	0.364
20º	Zwolle	0.594	43º	Torreon	0.361
21º	Boston	0.586	44º	Oslo	0.347
22º	Eindhoven	0.577	45º	Buenos Aires	0.292
23º	Portland	0.576	46º	Piedras Negras	0.289

#### 4.4.1.3 Índice de Energia

O *ranking* das cidades para o índice de energia (Tabela 10) não apresenta valores tão destoantes entre as primeiras posições. Para esta seção temática, vale destacar o importante papel da interpretação dos indicadores, tendo em vista que um melhor desempenho deste índice está atrelado a um menor consumo de energia. Esta relação poderia ser oposta se fosse avaliada apenas sua correlação com o desenvolvimento econômico. Assim, observa-se que o *ranking* é liderado por 2 cidades do Leste Europeu, havendo ainda no setor A 6 cidades da Europa Ocidental, 3 destas da Holanda, e outras 3 do México, Canadá e Taiwan, estes últimos com uma representante cada.

Um importante indicador para o desenvolvimento sustentável diz respeito a porcentagem da energia total proveniente de fontes renováveis. Nesse quesito se destacam

diversas cidades canadenses como Quebec City, Saint-Augustin-De-Desmaures, Surrey, Shawinigan, além da capital Norueguesa, Oslo. Nota-se, entretanto, que o comportamento desse indicador não apresenta uma relação constante com os demais, o que faz com que estas cidades apresentem índices bem distintos entre si, estando distribuídas por todos os setores delimitados pelos quartis. A amplitude interquartil da ordem de 0,095, revelando uma baixa dispersão entre os índices dos setores B e C.

No setor D há 5 cidades da América Anglo-Saxônica e Oceania, 3 da América Latina, 2 do Oriente Médio e apenas 1 da Europa Ocidental. Na última posição do *ranking* está Buenos Aires, com um índice de energia bem inferior em relação à amostra. O baixo desempenho da capital argentina é resultado de deficiências na abrangência do fornecimento de energia e da qualidade desse serviço, o que é constatado pelos dados sobre interrupções de energia elétrica. Somado a isso está a participação nula de fontes renováveis no total de energia consumida.

Tabela 10 - *Ranking* das cidades para o Índice de Energia.

SEÇÃO 7 - Energia					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Tbilisi	0.878	24º	Mississauga	0.796
2º	Kielce	0.877	25º	Koprivnica	0.778
3º	Porto	0.867	25º	Makati	0.778
4º	Barcelona	0.864	27º	Eindhoven	0.766
5º	The Hague	0.863	28º	Cambridge	0.765
6º	Torreon	0.857	29º	Portland	0.759
7º	Amsterdam	0.855	30º	Zagreb	0.757
8º	Zwolle	0.846	31º	Vaughan	0.753
9º	Sintra	0.845	32º	Oakville	0.751
10º	Surrey	0.839	33º	Welland	0.746
11º	Taipei	0.834	34º	Dubai	0.741
12º	Aalter	0.832	35º	Quebec City	0.738
12º	Amman	0.832	36º	Melbourne LGA	0.735
14º	Valencia	0.829	37º	Riyadh	0.708
15º	Brisbane	0.827	38º	Toronto	0.694
16º	Guadalajara	0.824	39º	Shawinigan	0.692
17º	Boston	0.823	40º	Heerlen	0.672
18º	Los Angeles	0.815	41º	Piedras Negras	0.656
19º	Rotterdam	0.813	42º	Doral	0.632
20º	Oslo	0.808	43º	León	0.628
21º	London	0.804	44º	Makkah	0.620
22º	Tainan City	0.801	45º	Saint-Augustin-De-Desmaures	0.618
23º	San Diego	0.799	46º	Buenos Aires	0.476

## 4.4.1.4 Índice de Meio Ambiente

O índice de meio ambiente em questão reflete exclusivamente aspectos da poluição atmosférica, visto que os indicadores referentes a outros temas foram excluídos da análise devido à ausência de dados suficientes. Para este conjunto de dados, a amplitude interquartil é de 0,102.

O Canadá é o país com o maior número de representantes no grupo de maior desempenho, possuindo 7 cidades no setor A do *ranking* do índice de meio ambiente (Tabela 11) e ocupando as 5 primeiras posições.

Tabela 11 - *Ranking* das cidades para o Índice de Meio Ambiente.

SEÇÃO 8 – Meio Ambiente					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Shawinigan	0.984	24º	Piedras Negras	0.833
2º	Surrey	0.975	25º	San Diego	0.832
3º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.905	26º	Oslo	0.821
4º	Quebec City	0.901	27º	Barcelona	0.817
5º	Oakville	0.887	28º	Kielce	0.806
6º	Sintra	0.877	29º	Zagreb	0.804
7º	Brisbane	0.876	30º	Torreón	0.800
8º	Aalter	0.872	31º	Melbourne LGA	0.797
9º	Welland	0.870	32º	Vaughan	0.780
9º	Mississauga	0.870	33º	Guadalajara	0.776
11º	Boston	0.866	34º	Taipei	0.764
12º	Zwolle	0.864	34º	Amman	0.764
12º	Eindhoven	0.864	36º	Buenos Aires	0.758
14º	The Hague	0.859	37º	Tainan City	0.724
15º	Cambridge	0.858	38º	Tbilisi	0.720
16º	Heerlen	0.856	39º	León	0.680
17º	Koprivnica	0.851	40º	Rotterdam	0.660
17º	Toronto	0.851	41º	Los Angeles	0.656
19º	Amsterdam	0.845	42º	Portland	0.653
19º	Valencia	0.845	43º	Makati	0.641
19º	Porto	0.845	44º	Makkah	0.579
19º	Doral	0.845	45º	Riyadh	0.458
23º	London	0.841	46º	Dubai	0.312

Os índices de Shawinigan e Surrey estão bem próximos a 1, o que aponta que estas cidades apresentam todos os indicadores próximos dos valores máximos em relação à amostra.

O grupo da América no Norte e Oceania reforça sua liderança, ainda, com a presença de 1 cidade da Austrália e outra dos Estados Unidos. As 2 cidades restantes se situam na Europa Ocidental.

No outro extremo do *ranking* está o setor D, bem mais diverso que o setor A, com representantes de todas as regiões. O Oriente Médio possui 3 de suas 4 cidades no setor D, sendo seguido pela América Latina, América Anglo-Saxônica e Sudeste Asiático e Ásia Oriental, com 2 ocorrências cada. Europa Ocidental e Leste Europeu detêm 1 cidade cada.

Quando comparado ao índice de economia, nota-se que 4 cidades contidas no setor A em economia se encontram no setor D no quesito meio ambiente, são elas Tainan City, Makati, Portland e Dubai.

A situação é ainda mais contrastante quando observada a posição da cidade dos Emirados Árabes, que ocupa o topo do *ranking* em economia, porém está em último lugar quando avaliado o *ranking* de meio ambiente. O comportamento destas cidades mostra como, por vezes, o desenvolvimento econômico pode estar descolado do desempenho ambiental.

#### 4.4.1.5 Índice de Finanças

Surrey lidera o *ranking* das cidades para o índice de Finanças (Tabela 12). Ao total, América Anglo-Saxônica e Oceania somam 5 cidades no setor A do *ranking*, que também compreende as 2 cidades inglesas da amostra, além de Buenos Aires, Makati, Tbilisi e Dubai. Os setores B e C também são bem diversos e a amplitude interquartil é de aproximadamente 0,192.

Entre os locais com a pior performance no índice de finança estão 7 cidades da Europa Ocidental, sendo 5 delas situadas na Holanda. Em grande parte, o baixo desempenho deve-se a suas taxas de endividamento. Abaixo do primeiro quartil também está Zagreb, capital da Croácia.

Ainda no setor D está a maior parcela das cidades da América Latina, tendo Guadalajara o pior índice de toda a amostra, seguida de León. As cidades mexicanas apresentam baixo indicador de recolhimento de impostos, cabendo à Guadalajara, ainda, uma altíssima taxa de endividamento.

Tabela 12 - *Ranking* das cidades para o Índice de Finanças.

SEÇÃO 9 – Finanças					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Surrey	0.830	24º	Vaughan	0.643
2º	Brisbane	0.820	25º	Barcelona	0.641
3º	Mississauga	0.794	26º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.636
4º	London	0.778	27º	Portland	0.632
5º	Melbourne LGA	0.777	28º	Amsterdam	0.619
6º	Buenos Aires	0.766	29º	Aalter	0.612
7º	Oakville	0.759	30º	Kielce	0.604
8º	Makati	0.758	31º	Shawinigan	0.581
9º	Tbilisi	0.746	32º	Makkah	0.580
10º	Cambridge	0.742	33º	Piedras Negras	0.569
11º	Dubai	0.741	34º	Quebec City	0.557
12º	Amman	0.731	35º	Koprivnica	0.544
13º	Doral	0.726	36º	Oslo	0.533
13º	Sintra	0.726	36º	The Hague	0.533
15º	Toronto	0.719	38º	Valencia	0.510
16º	Welland	0.706	39º	Zagreb	0.506
17º	San Diego	0.699	40º	Eindhoven	0.480
18º	Porto	0.697	41º	Torreon	0.471
18º	Boston	0.697	42º	Heerlen	0.464
20º	Tainan City	0.683	43º	Zwolle	0.429
21º	Riyadh	0.674	44º	Rotterdam	0.400
22º	Los Angeles	0.668	45º	León	0.290
23º	Taipei	0.653	46º	Guadalajara	0.168

#### 4.4.1.6 Índice de Resposta a Incêndios e Emergências

O topo do *ranking* das cidades para o índice de resposta a incêndios e emergências (Tabela 13) é ocupado pelas cidades croatas, impulsionadas pelo efetivo de bombeiros e pelas baixas taxas de mortalidade por incêndios ou desastres naturais. As cidades da América Anglo-Saxônica e Oceania também têm grande representatividade no setor A, totalizando 7. Além destas estão Barcelona, na Europa Ocidental, e Buenos Aires, na América Latina.

Países como a Espanha, Austrália e Canadá possuem representantes tanto no setor A do *ranking* quanto no setor D. Entre esses grupos, a amplitude interquartil é de cerca de 0,087.

Assim, no setor com os piores índices, Europa Ocidental, Oriente Médio e América Anglo-Saxônica e Oceania apresentam, cada um, 3 cidades. As últimas posições do *ranking*, no entanto, são ocupadas por León, na América Latina, e Tbilisi, no Leste Europeu. O baixo

índice de León se deve ao tamanho reduzido do efetivo e da demora do tempo de resposta desses serviços. Já no caso de Tbilisi, as maiores taxas de mortes em incêndios e desastres são responsáveis por gerar o pior índice de toda a amostra.

Tabela 13 - *Ranking* das cidades para o Índice de Resposta a Incêndios e Emergências.

SEÇÃO 10 – Resposta a Incêndios e Emergências					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Koprivnica	0.889	24º	Torreon	0.577
2º	Zagreb	0.786	24º	Surrey	0.577
3º	Melbourne LGA	0.709	26º	Eindhoven	0.571
4º	Welland	0.675	26º	Kielce	0.571
5º	Boston	0.672	28º	Zwolle	0.566
6º	Doral	0.650	29º	Tainan City	0.558
7º	Vaughan	0.643	30º	Heerlen	0.556
8º	Barcelona	0.639	30º	Dubai	0.556
9º	Oakville	0.635	32º	Quebec City	0.536
10º	Los Angeles	0.632	33º	Piedras Negras	0.535
11º	Buenos Aires	0.624	33º	Makati	0.535
12º	Portland	0.619	33º	Guadalajara	0.535
13º	Cambridge	0.613	36º	Valencia	0.529
14º	Taipei	0.611	37º	Brisbane	0.528
15º	The Hague	0.608	38º	Amman	0.509
16º	San Diego	0.607	39º	Shawinigan	0.506
17º	Toronto	0.603	40º	Rotterdam	0.496
18º	Porto	0.597	41º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.489
19º	Aalter	0.596	42º	Oslo	0.471
20º	Sintra	0.592	43º	Makkah	0.467
21º	London	0.588	44º	Riyadh	0.443
22º	Amsterdam	0.581	45º	León	0.345
23º	Mississauga	0.579	46º	Tbilisi	0.278

#### 4.4.1.7 Índice de Governança

O índice de governança sofre influência direta dos sistemas políticos e da cultura dos países em que as cidades estão inseridas, como mostra o *ranking* (Tabela 14). O voto, por exemplo, é compulsório o em países como Argentina, Austrália, Bélgica e México, sendo que neste último não é coercivo (CIA, 2020).

A obrigatoriedade do voto impacta a participação da população nas eleições, o que contribui para que cidades como Brisbane, Aalter e Buenos Aires estivessem contidas no setor A. As capitais da Bélgica e da Argentina apresentaram, ainda, grande participação de mulheres

em sua gestão. Este também foi um importante indicador para que Zagreb e Koprivnica obtivessem um bom desempenho, somado ao número de autoridades locais eleitas e baixo índice de corrupção das cidades croatas. A Europa Ocidental é a região com mais representantes acima do terceiro quartil, com cidades da Holanda, Portugal, Espanha, além da capital norueguesa. Também neste grupo está Taipei, representando Taiwan. Abaixo destes estão os setores B e C, com amplitude interquartil de 0,099.

Tabela 14 - *Ranking* das cidades para o Índice de Governança.

SEÇÃO 11 – Governança					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Zagreb	0.749	24º	Shawinigan	0.605
2º	Aalter	0.715	25º	Oakville	0.600
3º	Amsterdam	0.689	26º	Mississauga	0.595
4º	Buenos Aires	0.682	27º	Welland	0.592
5º	Porto	0.673	28º	Vaughan	0.591
6º	Taipei	0.670	29º	Rotterdam	0.574
7º	Koprivnica	0.669	30º	Surrey	0.567
8º	Oslo	0.662	31º	Makati	0.566
9º	Valencia	0.660	32º	London	0.564
10º	The Hague	0.656	33º	Cambridge	0.559
10º	Brisbane	0.656	34º	Los Angeles	0.557
12º	Toronto	0.654	34º	Melbourne LGA	0.557
13º	Tbilisi	0.647	36º	Amman	0.552
13º	Zwolle	0.647	36º	Torreon	0.552
15º	Barcelona	0.634	38º	Portland	0.534
16º	Heerlen	0.633	39º	Piedras Negras	0.531
17º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.630	40º	Doral	0.458
18º	Quebec City	0.620	41º	San Diego	0.454
19º	León	0.619	42º	Guadalajara	0.426
19º	Eindhoven	0.619	43º	Makkah	0.408
21º	Kielce	0.614	44º	Boston	0.372
22º	Tainan City	0.611	45º	Dubai	0.365
23º	Sintra	0.607	46º	Riyadh	0.190

Apesar do voto obrigatório no México, a ausência de sanções faz com as cidades não apresentem altas taxas de comparecimento nas eleições. Junto a isso, Torreon, Piedras Negras e Guadalajara detém alto número de casos de corrupção, o que as coloca no grupo de pior desempenho para o índice de governança. As cidades do Oriente Médio, todas sob regimes monarquistas, também estão concentradas no setor D. Embora possuam singularidades quanto

aos seus sistemas políticos, os indicadores destas cidades convergem quando analisada a participação nas eleições e a presença de mulheres em cargos de gestão. A situação é ainda mais crítica na Arábia Saudita, onde as mulheres só conquistaram direito a votar e a se candidatar para cargos do conselho municipal em 2015 (ESPINOSA, 2015). Há, ainda, 4 cidades dos Estados Unidos entre os piores índices.

É interessante observar que o setor D exibe alguns contrastes. Ao mesmo tempo que concentra as monarquias do Oriente Médio, em que a participação feminina na governança é inexpressiva, o grupo também é composto pelas cidades em que a porcentagem de mulheres eleitas foi igual ou superior a 50%, são estes: Doral, Portland, Piedras Negras, Torreon, fugindo à regra tem-se apenas Mississauga, em 26º posição no *ranking*. O fenômeno alerta para a importância de uma avaliação mais profunda, o que inclui a análise de séries históricas, para a correta interpretação do índice, por meio do qual poderia se inferir, até mesmo, a ocorrência de uma mudança no comportamento dos eleitores nesses locais.

#### 4.4.1.8 Índice de Saúde

No *ranking* das cidades para o índice de saúde (Tabela 15), Melbourne LGA fica isolada na primeira posição, com elevados indicadores relacionados ao número de leitos e equipe, entre médicos, enfermeiros e profissionais de saúde mental. Os valores dos índices mostram que, de maneira geral, não há muitas cidades que se destaquem por apresentar bons valores para uma série de indicadores.

América Anglo-Saxônica e Oceania é o grupo com mais cidades entre as com melhores índices, com 7 no total, sendo 4 delas do Canadá, 2 da Austrália e 1 dos Estados Unidos. A Europa Ocidental conta com cidades de Portugal e Holanda no setor A. Destaca-se, também, a presença de Buenos Aires e Kielce nos primeiros lugares do *ranking*. Ambas as cidades possuem uma alta taxa de médicos por habitante. A capital argentina detém, ainda, a maior taxa de profissionais da saúde mental enquanto Kielce tem o maior número de leitos entre as cidades.

Os piores índices de saúde estão concentrados na América Latina, com as 4 cidades mexicanas, e no Oriente Médio, igualmente com 4 representantes. No grupo de pior desempenho ainda estão Koprivnica, Makati e Doral. O padrão observado no setor D é de cidades com baixa expectativa de vida, além de uma alta taxa de mortalidade de crianças até 5 anos e baixo número de profissionais de saúde mental. Apesar da performance ruim nestes

indicadores, as taxas de suicídio registrada nesses locais são as mais baixas da amostra, com exceção de Guadalajara e Koprivnica.

Nota-se que as cidades da Europa Ocidental, região com um número expressivo de elementos da amostra, estão concentradas ao longo dos setores B e C do *ranking*. Nesse conjunto de dados a amplitude interquartil é de 0,09.

Tabela 15 - *Ranking* das cidades para o Índice de Saúde.

SEÇÃO 12 – Saúde					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Melbourne LGA	0.753	24º	Toronto	0.367
2º	Buenos Aires	0.604	24º	Heerlen	0.367
3º	Boston	0.573	26º	Welland	0.356
4º	Kielce	0.528	27º	San Diego	0.351
5º	Porto	0.468	28º	Cambridge	0.346
6º	Quebec City	0.464	28º	Portland	0.346
7º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.440	30º	Tbilisi	0.343
8º	Eindhoven	0.430	31º	Rotterdam	0.341
9º	Brisbane	0.423	32º	The Hague	0.339
10º	Shawinigan	0.417	33º	Sintra	0.335
11º	Surrey	0.416	34º	Amsterdam	0.331
12º	Zwolle	0.411	35º	Tainan City	0.324
13º	Barcelona	0.409	36º	Doral	0.317
13º	Oslo	0.409	37º	Dubai	0.314
15º	Oakville	0.407	38º	Torreón	0.305
16º	Mississauga	0.402	39º	Riyadh	0.288
17º	Taipei	0.401	40º	Piedras Negras	0.277
18º	Valencia	0.398	41º	Koprivnica	0.258
19º	Vaughan	0.376	42º	Amman	0.249
20º	London	0.372	43º	León	0.233
21º	Aalter	0.371	44º	Makkah	0.203
22º	Zagreb	0.370	45º	Makati	0.184
23º	Los Angeles	0.368	46º	Guadalajara	0.179

#### 4.4.1.9 Índice de Recreação

O índice de recreação é composto por apenas 2 indicadores que tratam da área de espaços públicos de recreação cobertos e ao ar livre. A expressiva diferença entre os dados levantados para algumas cidades explica a variação dos índices ao longo do *ranking* (Tabela 16), com a maior parte dos valores próximos a 0. Apesar de índices bem discrepantes, a dispersão do conjunto de dados é baixa, com amplitude interquartil de cerca de 0.061.

Tabela 16 - *Ranking* das cidades para o Índice de Recreação.

SEÇÃO 13 – Recreação					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Tainan City	0.580	24º	Oakville	0.043
2º	Tbilisi	0.486	25º	Cambridge	0.042
3º	Melbourne LGA	0.331	26º	Surrey	0.037
4º	Porto	0.265	27º	Quebec City	0.036
5º	Amsterdam	0.260	27º	Mississauga	0.036
6º	Oslo	0.250	29º	Taipei	0.034
7º	Buenos Aires	0.145	29º	Zwolle	0.034
8º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.108	31º	Brisbane	0.030
9º	Barcelona	0.100	32º	Sintra	0.027
10º	London	0.086	33º	Toronto	0.021
11º	Valencia	0.081	34º	Amman	0.020
12º	Shawinigan	0.078	35º	The Hague	0.019
13º	Rotterdam	0.074	36º	Kielce	0.015
14º	Riyadh	0.071	37º	Boston	0.013
15º	Heerlen	0.067	38º	Vaughan	0.011
16º	Welland	0.066	39º	Piedras Negras	0.008
17º	Zagreb	0.062	40º	Torreón	0.007
18º	Los Angeles	0.060	40º	Doral	0.007
19º	Makkah	0.053	40º	Koprivnica	0.007
19º	San Diego	0.053	43º	Makati	0.002
21º	Portland	0.052	43º	Dubai	0.002
22º	Eindhoven	0.051	43º	Guadalajara	0.002
23º	Aalter	0.049	46º	León	0.001

O setor A do *ranking* para o índice de recreação é constituído de cidades de 10 países diferentes, com apenas a Espanha apresentando mais de uma ocorrência. Em relação à região, a Europa Ocidental concentra 6 destes locais, seguido por América Anglo-Saxônica e Oceania, com 2, além de países como Taiwan, Geórgia e Argentina, cada um com 1 representante. Quando se trata dos espaços de recreação cobertos, Tbilisi possui a maior área *per capita*, merecendo destaque também Melbourne LGA, Porto e Amsterdam. Já quanto aos espaços de recreação ao ar livre, Tainan City detém, com grande distância dos demais, a maior área, o que lhe garante o primeiro lugar no *ranking*. Para este indicador, o segundo maior valor cabe a Oslo.

No outro extremo está o setor D, em que estão contidas todas as 4 cidades do México, 2 delas ocupando os últimos lugares do ranqueamento. América Anglo-Saxônica e Oceania sucedem a América Latina, com 3 ocorrências, seguida do Leste Europeu, com 2. Filipinas e

Emirados Árabes possuem 1 representante cada. Para estas cidades, os índices de recreação são muito próximos entre si e quase nulos, apontando que os indicadores convergem para os menores valores registrados na amostra.

#### 4.4.1.10 Índice de Segurança

O ranqueamento do índice de segurança (Tabela 17) tem Dubai na primeira posição. Situada nos Emirados Árabes, a cidade apresenta um grande efetivo policial e baixa incidência de homicídios e crimes violentos.

Tabela 17 - *Ranking* das cidades para o Índice de Segurança.

SEÇÃO 14 – Segurança					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Dubai	0.919	23º	Heerlen	0.736
2º	The Hague	0.835	25º	Zwolle	0.734
3º	Taipei	0.828	26º	Porto	0.726
4º	Tainan City	0.825	27º	Brisbane	0.724
5º	Kielce	0.814	28º	Toronto	0.723
6º	Rotterdam	0.811	29º	Cambridge	0.722
7º	Koprivnica	0.810	29º	Oslo	0.722
8º	Aalter	0.805	31º	Zagreb	0.718
9º	Buenos Aires	0.800	32º	Eindhoven	0.710
10º	Riyadh	0.796	33º	Amsterdam	0.704
11º	Doral	0.792	34º	Los Angeles	0.694
12º	Quebec City	0.777	35º	León	0.688
12º	Amman	0.777	36º	Guadalajara	0.687
14º	Oakville	0.771	36º	Portland	0.687
15º	Sintra	0.770	38º	Valencia	0.684
16º	Welland	0.769	39º	Barcelona	0.677
16º	Tbilisi	0.769	40º	Shawinigan	0.659
18º	San Diego	0.768	41º	Surrey	0.647
19º	Makkah	0.766	42º	Torreon	0.636
20º	Makati	0.747	43º	London	0.630
21º	Vaughan	0.743	44º	Piedras Negras	0.610
22º	Boston	0.740	45º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.516
23º	Mississauga	0.736	46º	Melbourne LGA	0.412

Com as maiores taxas de agentes de polícia por habitante, as cidades holandesas The Hague e Rotterdam também pertencem ao setor A do *ranking*. Outra representante do Oriente Médio é Riyadh, que mantém um bom índice sem a mesma taxa de profissionais. O mesmo

ocorre com as cidades de Taiwan, sendo que estas se destacam pelas menores taxas de crimes violentos. Entre os melhores índices de segurança, se encontram, ainda, cidades do Leste Europeu, Bélgica, Argentina e Estados Unidos.

É importante notar que a relação entre o tamanho do efetivo policial e uma maior segurança não são evidentes. Apesar do índice considerar uma alta taxa de agentes um fator positivo, algumas cidades conseguem manter bons indicadores segurança independente disso. Em outras, como Buenos Aires e Dubai, esse indicador parece ser a base para o bom desempenho dos demais.

As maiores taxas de homicídios pertencem às cidades do México, estando 3 delas no grupo dos piores índices de segurança. Na mesma categoria estão 5 cidades da América Anglo-Saxônica e Oceania, incluindo a última colocada, Melbourne. A cidade australiana apresenta as piores taxas de crimes contra a propriedade. O setor D é composto, ainda, por 3 cidades da Europa Ocidental, 2 espanholas e a capital inglesa.

Para este índice, os setores B e C se situam em uma amplitude interquartil de 0,093.

#### 4.4.1.11 Índice de Habitação

O índice de habitação é composto pela porcentagem da população morando em favelas e pelo número de sem-teto. A cidade de Doral, nos Estados Unidos, aparece em primeiro lugar no *ranking* (Tabela 18), com estes indicadores nulos e, portanto, com o valor máximo para o índice. No extremo oposto está León, cidade com a maior parcela da população vivendo em favelas. A dispersão do conjunto de dados, medida pela amplitude interquartil, é de aproximadamente 0,156.

De modo geral, a amostra apresenta valores elevados para o índice de habitação, com valores que superam 0,800 nos setores A, B e C. Acima do terceiro quartil, além de Doral, se destacam Dubai, as cidades da Croácia e de Taiwan, assim como Sintra e Aalter na Europa Ocidental e as cidades canadenses Saint-Augustin-De-Desmaures e Mississauga.

Com os piores desempenhos em habitação, estão cidades do Canadá, Estados Unidos, Argentina, México, Jordânia, Portugal e Inglaterra. Mesmo possuindo uma representante no topo do *ranking*, os Estados Unidos detêm 3 cidades no setor D. Os mais altos indicadores de população em situação de rua foram registrados em Boston e Cambridge, o que lhes garantiu as últimas posições do ranqueamento, junto a León.

Tabela 18 - *Ranking* das cidades para o Índice de Habitação.

SEÇÃO 15 – Habitação					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Doral	1.000	24º	San Diego	0.897
2º	Dubai	0.999	25º	Amsterdam	0.894
3º	Koprivnica	0.998	26º	Oslo	0.892
3º	Sintra	0.998	27º	Piedras Negras	0.891
5º	Tainan City	0.997	28º	Toronto	0.884
6º	Aalter	0.996	29º	Zwolle	0.883
7º	Taipei	0.991	30º	Torreon	0.882
8º	Riyadh	0.989	31º	Kielce	0.869
9º	Zagreb	0.980	32º	Vaughan	0.862
9º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.980	33º	Oakville	0.850
11º	Mississauga	0.976	34º	Melbourne LGA	0.833
12º	The Hague	0.974	35º	Brisbane	0.822
13º	Surrey	0.969	36º	Quebec City	0.807
14º	Tbilisi	0.963	37º	Buenos Aires	0.797
15º	Barcelona	0.960	38º	Guadalajara	0.787
16º	Valencia	0.955	39º	Amman	0.772
17º	Heerlen	0.950	40º	Shawinigan	0.727
18º	Rotterdam	0.939	40º	Portland	0.727
19º	London	0.937	42º	Porto	0.704
20º	Welland	0.922	43º	Los Angeles	0.678
21º	Makkah	0.920	44º	Boston	0.616
22º	Eindhoven	0.910	45º	Cambridge	0.545
23º	Makati	0.898	46º	León	0.366

#### 4.4.1.12 Índice de Resíduos Sólidos

O índice de resíduos sólidos trata da coleta e destinação destes resíduos. A coleta regular domiciliar cobre o total da população em praticamente todas as cidades da amostra. A porcentagem destes resíduos que é reciclada, entretanto, não segue o mesmo padrão, variando bastante entre as localidades. O *ranking* das cidades para o índice de resíduos sólidos está disposto na Tabela 19 e a amplitude interquartil da amostra é da ordem de 0,054.

Os primeiros lugares do *ranking* são ocupados pelas cidades estadunidenses Doral e Portland. América Anglo-Saxônica e Oceania lideram o setor A, com 8 representantes entre os locais com os melhores índices. A região compartilha o grupo com apenas 3 cidades da Europa Ocidental, situadas na Holanda e na Bélgica. A cidade belga, inclusive, detém o maior percentual de reciclagem de resíduos sólidos.

Em última e penúltima posição, estão Zagreb e Riyadh, os únicos locais onde há resíduos sólidos dispostos a céu aberto. Outra representante da Arábia Saudita, Makkah apresenta a pior taxa de coleta de resíduos residenciais. Ao todo, o setor D é formado pelo Oriente Médio, Leste Europeu e América Latina, com 3 cidades cada, além de Sintra e Makati, situadas em Portugal e nas Filipinas, respectivamente.

Tabela 19 - *Ranking* das cidades para o Índice de Resíduos Sólidos.

SEÇÃO 16 – Resíduos Sólidos					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Doral	0.749	24º	Porto	0.658
2º	Portland	0.743	25º	Tainan City	0.657
3º	Zwolle	0.729	25º	Koprivnica	0.657
4º	Aalter	0.725	27º	Rotterdam	0.653
5º	Heerlen	0.707	28º	Taipei	0.652
6º	Los Angeles	0.702	28º	Cambridge	0.652
7º	San Diego	0.701	30º	León	0.647
8º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.687	31º	The Hague	0.644
9º	Vaughan	0.685	32º	Eindhoven	0.642
10º	Brisbane	0.681	33º	Oslo	0.638
11º	Welland	0.680	34º	Amsterdam	0.630
12º	Quebec City	0.678	35º	Torreon	0.625
12º	Boston	0.678	36º	Sintra	0.622
14º	Valencia	0.676	37º	Kielce	0.621
15º	Shawinigan	0.675	38º	Makati	0.617
16º	Dubai	0.673	39º	Tbilisi	0.608
17º	Surrey	0.672	39º	Amman	0.608
18º	London	0.668	39º	Guadalajara	0.608
19º	Toronto	0.667	42º	Buenos Aires	0.589
19º	Oakville	0.667	43º	Piedras Negras	0.486
21º	Mississauga	0.666	44º	Makkah	0.481
22º	Barcelona	0.664	45º	Riyadh	0.478
23º	Melbourne LGA	0.660	46º	Zagreb	0.448

#### 4.4.1.13 Índice de Telecomunicações e Inovação

A seção de telecomunicações e inovação aborda o número de conexões de *internet* e telefone, fazendo com que o índice correspondente sofra variações significativas de acordo com o ano de referência dos dados. O ranqueamento feito a partir deste índice está apresentado na Tabela 20 e possui uma amplitude interquartil de 0,166.

Fora do eixo América Anglo-Saxônica e Europa Ocidental, que possuem 5 e 3 representantes, respectivamente, se destacam cidades de Taiwan, Argentina e Emirados Árabes. Nas primeiras posições do *ranking*, Buenos Aires detém a maior taxa de conexão de *internet*, enquanto Taipei sobressai também pelo número de conexões de telefone fixo. Dubai, por sua vez, é a cidade com mais conexões de telefone celular por habitante dentre as listadas.

O país com maior ocorrência no grupo de pior desempenho é o México, com 3 representantes entre as 4 últimas posições. No setor D do *ranking*, há cidades de todas as regiões, de acordo com a divisão proposta. Em penúltimo lugar, chama a atenção a posição da capital norueguesa em termos de conectividade.

Tabela 20 - *Ranking* das cidades para o Índice de Telecomunicações e Inovação.

SEÇÃO 17 – Telecomunicações e Inovação					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Taipei	0.699	24º	Rotterdam	0.401
2º	Buenos Aires	0.640	25º	Amman	0.395
3º	Boston	0.631	26º	Makkah	0.375
4º	Dubai	0.619	27º	San Diego	0.373
5º	Surrey	0.548	28º	Quebec City	0.370
6º	Valencia	0.531	29º	Welland	0.351
7º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.524	30º	Shawinigan	0.335
8º	Eindhoven	0.497	31º	Torreon	0.323
9º	Heerlen	0.496	32º	Oakville	0.306
10º	Los Angeles	0.472	33º	Tbilisi	0.303
10º	Mississauga	0.472	34º	Koprivnica	0.297
12º	Zwolle	0.453	35º	Zagreb	0.294
13º	Tainan City	0.450	36º	Kielce	0.285
14º	The Hague	0.438	37º	Sintra	0.266
15º	Cambridge	0.435	38º	Doral	0.264
16º	Porto	0.431	39º	Barcelona	0.261
17º	Toronto	0.425	40º	Riyadh	0.259
18º	Brisbane	0.424	41º	Portland	0.255
19º	Aalter	0.419	42º	Makati	0.217
20º	London	0.418	43º	León	0.176
21º	Amsterdam	0.417	44º	Guadalajara	0.170
22º	Vaughan	0.406	45º	Oslo	0.131
23º	Melbourne LGA	0.402	46º	Piedras Negras	0.040

## 4.4.1.14 Índice de Transporte

O índice de transporte é composto por uma série de indicadores que tratam dos sistemas de transporte público, do transporte privado e da conectividade aérea. Neste contexto, uma maior taxa de veículos de transporte individual motorizado foi considerada um fator negativo para o cálculo do índice. O ordenamento das cidades segundo o índice de transporte está exposto na Tabela 21 e fornece uma amplitude interquartil de 0,075.

Tabela 21 - *Ranking* das cidades para o Índice de Transporte.

SEÇÃO 18 – Transporte					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Melbourne LGA	0.601	24º	Oakville	0.440
2º	Makati	0.579	25º	Barcelona	0.439
3º	Rotterdam	0.546	26º	Brisbane	0.436
4º	London	0.528	27º	Piedras Negras	0.431
5º	Kielce	0.497	28º	Mississauga	0.430
6º	Portland	0.490	29º	Aalter	0.425
7º	Heerlen	0.478	30º	Eindhoven	0.417
8º	Koprivnica	0.476	31º	Sintra	0.414
8º	The Hague	0.476	32º	Guadalajara	0.412
10º	Boston	0.474	33º	Vaughan	0.409
10º	Zwolle	0.474	34º	Cambridge	0.401
12º	Amsterdam	0.472	35º	Shawinigan	0.398
13º	Porto	0.466	35º	Surrey	0.398
14º	Toronto	0.458	37º	Taipei	0.392
14º	Oslo	0.458	38º	Amman	0.390
16º	Zagreb	0.457	39º	Quebec City	0.379
17º	Torreón	0.456	40º	Los Angeles	0.377
18º	León	0.452	41º	Valencia	0.368
19º	Tbilisi	0.451	42º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.366
20º	Dubai	0.450	43º	San Diego	0.360
21º	Doral	0.446	44º	Riyadh	0.338
22º	Welland	0.445	45º	Makkah	0.289
23º	Buenos Aires	0.443	46º	Tainan City	0.252

Com o melhor desempenho, Melbourne LGA apresenta um alto número de veículos motorizados *per capita*, apesar da ampla extensão e utilização do transporte público e de ciclovias. O local é seguido no *ranking* por Makati, onde a maior parte dos deslocamentos é feito por transporte público e o número de automóveis é baixo, embora a cidade seja pouco servida de transportes de média ou alta capacidade. O comportamento da cidade australiana e

de outras da amostra revela que estes indicadores não apresentam uma relação direta e que o número de automóveis depende também de outros fatores como o tamanho das cidades ou a renda da sua população.

No setor A, o país que mais recorre é a Holanda, com 4 cidades entre as melhores do *ranking*. A Europa Ocidental é representada, ainda, pela capital inglesa, enquanto Kielce e Koprivnica representam o Leste Europeu. Situadas nos Estados Unidos, Portland e Boston também compõem o grupo.

Entre as localidades com pior desempenho, estão Taiwan, Arábia Saudita, Canadá e Estados Unidos, com 2 cidades cada. Enquanto Jordânia e Espanha possuem, cada um, 1 cidade no setor D. Para o índice de transporte, as cidades latino-americanas estão distribuídas nos setores B e C.

#### 4.4.1.15 Índice de Planejamento Urbano

O *ranking* das cidades para o índice de planejamento urbano (Tabela 22) é liderado por Melbourne LGA, posição alavancada pela relação empregos/habitação. O Canadá se destaca com 4 cidades situadas no grupo de melhor desempenho devido a seus indicadores de áreas verdes e árvores plantadas, com os maiores valores encontrados para Shawinigan e Oakville, respectivamente.

Também para América Anglo-Saxônica e Oceania, o setor A compreende a cidade estadunidense Boston. Entre os maiores índices estão, ainda, as 2 cidades de Taiwan, Tainan City e Taipei, além de Dubai, Makati e Tbilisi.

No outro extremo, o grupo formado pelos locais com os mais baixos índices concentra todas as cidades da América Latina da amostra. Para as representantes latino-americanas, chama a atenção a área ocupada por assentamentos informais, mesmo indicador responsável por colocar Makkah em último lugar no *ranking*. No setor D ainda estão cidades de países como Holanda, Croácia, Jordânia, Canadá e Polônia.

Nota-se que as cidades da Europa Ocidental, grupo numeroso do conjunto de dados, estão contidas majoritariamente entre o terceiro e o primeiro quartil. A amplitude deste intervalo é de aproximadamente 0,065.

Tabela 22 - *Ranking* das cidades para o Índice de Planejamento Urbano.

SEÇÃO 19 – Planejamento Urbano					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Melbourne LGA	0.503	24º	Oslo	0.247
2º	Shawinigan	0.499	25º	Cambridge	0.243
3º	Tainan City	0.489	26º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.242
4º	Dubai	0.390	27º	Portland	0.239
5º	Oakville	0.377	28º	Amsterdam	0.237
6º	Mississauga	0.345	29º	The Hague	0.236
7º	Makati	0.297	30º	San Diego	0.233
8º	Boston	0.294	31º	Surrey	0.231
9º	Vaughan	0.293	32º	Heerlen	0.228
10º	Taipei	0.292	33º	Barcelona	0.227
11º	Tbilisi	0.289	34º	Valencia	0.225
12º	Brisbane	0.287	35º	Zagreb	0.223
13º	Los Angeles	0.277	36º	Rotterdam	0.222
14º	Toronto	0.269	37º	Koprivnica	0.221
15º	Eindhoven	0.264	38º	Amman	0.219
16º	Quebec City	0.261	39º	Welland	0.215
16º	Zwolle	0.261	40º	Kielce	0.214
18º	Sintra	0.258	41º	Buenos Aires	0.210
19º	Doral	0.257	42º	Guadalajara	0.176
19º	Riyadh	0.257	43º	León	0.167
21º	Porto	0.256	44º	Torreon	0.165
22º	London	0.252	45º	Piedras Negras	0.150
23º	Aalter	0.248	46º	Makkah	0.016

#### 4.4.1.16 Índice de Esgotos

O primeiro lugar do *ranking* para o índice de esgotos (Tabela 23) é compartilhado entre 8 cidades, 4 destas localizadas na Holanda, estando as outras nos Estados Unidos, Inglaterra, Noruega e Emirados Árabes. Em todos esses locais, as taxas de cobertura do serviço de coleta e afastamento de esgoto e de seu tratamento são de 100%. Melbourne LGA, Toronto e Porto também integram o setor A.

Nas últimas posições do *ranking* estão as cidades latino-americanas Guadalajara e Buenos Aires, com alto percentual de esgoto que não recebe nenhum tipo de tratamento. Além dos países da América Latina, Taiwan, Estados Unidos e Arábia Saudita apresentam 2 representantes cada no setor D, seguidos por Holanda, Canadá e Portugal, com 1 cidade cada.

O índice de esgotos é o que detém a maior dispersão, com uma amplitude interquartil de cerca de 0, 243, distribuída entre os setores B e C.

Tabela 23 - *Ranking* das cidades para o Índice de Esgotos.

SEÇÃO 20 – Esgotos					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Boston	1.000	22º	Amsterdam	0.888
1º	Eindhoven	1.000	22º	Mississauga	0.888
1º	Heerlen	1.000	26º	Surrey	0.866
1º	London	1.000	27º	Torreon	0.861
1º	Oslo	1.000	28º	Doral	0.853
1º	The Hague	1.000	29º	Amman	0.847
1º	Zwolle	1.000	30º	Tbilisi	0.841
1º	Dubai	1.000	31º	Zagreb	0.833
9º	Melbourne LGA	0.998	32º	Aalter	0.800
9º	Toronto	0.998	33º	Makati	0.780
11º	Porto	0.997	34º	León	0.759
12º	Brisbane	0.996	35º	Quebec City	0.755
13º	Cambridge	0.994	36º	Taipei	0.747
14º	Vaughan	0.992	37º	Rotterdam	0.738
15º	Kielce	0.990	38º	Portland	0.737
16º	Koprivnica	0.967	39º	San Diego	0.734
17º	Piedras Negras	0.964	40º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.689
18º	Welland	0.961	41º	Sintra	0.688
19º	Valencia	0.953	42º	Tainan City	0.649
20º	Los Angeles	0.930	43º	Riyadh	0.574
21º	Barcelona	0.917	44º	Makkah	0.456
22º	Oakville	0.888	45º	Guadalajara	0.455
22º	Shawinigan	0.888	46º	Buenos Aires	0.332

#### 4.4.1.17 Índice de Água e Saneamento

O índice de água e saneamento trata do abastecimento e do consumo de água das cidades e seu respectivo *ranking* está disposto na Tabela 24. Para o seu cálculo, o elevado consumo ou perda de água foram considerados fatores negativos.

Liderando os países com os melhores índices de água e saneamento, está a Holanda, assim como ocorre para o índice de esgotos, dessa vez com 5 de suas 6 cidades com valores acima do terceiro quartil. As 2 cidades espanholas também se encontram no setor A, que conta, ainda, com Zagreb, Aalter, Kielce e Brisbane.

Da mesma forma que para o primeiro lugar, a última posição dos *rankings* de esgoto e água e saneamento também coincide, cabendo o posto a Buenos Aires. A capital argentina tem o menor percentual da população abastecida com água potável ou com acesso a alguma fonte adequada de água. Além disso, a cidade exibe o maior consumo *per capita* de água e significativa taxa de perdas. Ao total a América Latina soma 3 cidades no setor D, o mesmo que o Canadá, embora este apresente índices superiores dentro do grupo, uma vez que o primeiro quartil é de cerca de 0,830. As 2 cidades da Arábia Saudita, assim como a capital da Jordânia e da Geórgia, completam o grupo.

Apesar das discrepâncias dentro do setor D, a dispersão deste conjunto de dados, dada pela amplitude interquartil, é de 0,087.

Tabela 24 - *Ranking* das cidades para o Índice de Água e Saneamento.

SEÇÃO 21 – Água e Saneamento					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Zwolle	0.970	24º	Makati	0.885
2º	Barcelona	0.968	25º	Sintra	0.877
3º	The Hague	0.963	26º	Oslo	0.876
4º	Zagreb	0.954	27º	Tainan City	0.872
5º	Eindhoven	0.947	27º	Mississauga	0.872
5º	Rotterdam	0.947	29º	Los Angeles	0.863
7º	Valencia	0.944	30º	San Diego	0.862
8º	Aalter	0.938	31º	Dubai	0.852
9º	Kielce	0.936	32º	Quebec City	0.843
10º	Heerlen	0.934	33º	Portland	0.835
11º	Brisbane	0.925	34º	León	0.834
12º	Porto	0.916	35º	Doral	0.831
13º	Amsterdam	0.914	35º	Piedras Negras	0.831
14º	Welland	0.910	37º	Shawinigan	0.822
15º	Boston	0.908	38º	Surrey	0.819
16º	Koprivnica	0.901	39º	Riyadh	0.817
17º	Toronto	0.900	40º	Torreón	0.796
18º	London	0.898	41º	Amman	0.780
19º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.894	42º	Guadalajara	0.762
20º	Cambridge	0.892	43º	Vaughan	0.720
20º	Oakville	0.892	44º	Tbilisi	0.653
20º	Taipei	0.892	45º	Makkah	0.464
23º	Melbourne LGA	0.890	46º	Buenos Aires	0.301

#### 4.4.2 Síntese dos resultados dos índices por seção da norma

O resultado dos índices para as seções da ISO 37120 está resumido na Tabela 25, a qual aponta o total de vezes em que cada cidade da amostra esteve contida nos setores A, B, C ou D dos *rankings* obtidos, de acordo com a segmentação por quartis. As cidades estão dispostas em ordem alfabética.

Tabela 25 - Síntese do resultado dos índices por seção da norma.

<b>CIDADE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>CIDADE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Aalter</b>	7	7	3	0	<b>Oslo</b>	4	3	6	4
<b>Amman</b>	0	3	4	10	<b>Piedras Negras</b>	0	1	7	9
<b>Amsterdam</b>	3	7	7	0	<b>Portland</b>	3	3	5	6
<b>Barcelona</b>	4	5	5	3	<b>Porto</b>	5	7	3	2
<b>Boston</b>	7	7	0	3	<b>Quebec City</b>	2	6	7	2
<b>Brisbane</b>	7	5	4	1	<b>Riyadh</b>	2	4	1	10
<b>Buenos Aires</b>	7	1	1	8	<b>Rotterdam</b>	3	3	5	6
<b>Cambridge</b>	2	6	8	1	<b>Saint-Augustin-De-Desmaures</b>	6	3	3	5
<b>Doral</b>	5	4	3	5	<b>San Diego</b>	2	5	7	3
<b>Dubai</b>	8	2	3	4	<b>Shawinigan</b>	3	3	5	6
<b>Eindhoven</b>	4	7	5	1	<b>Sintra</b>	3	6	4	4
<b>Guadalajara</b>	0	1	4	12	<b>Surrey</b>	6	2	7	2
<b>Heerlen</b>	5	6	4	2	<b>Tainan City</b>	6	4	4	3
<b>Kielce</b>	6	3	4	4	<b>Taipei</b>	8	4	3	2
<b>Koprivnica</b>	6	3	5	3	<b>Tbilisi</b>	4	4	3	6
<b>León</b>	0	2	4	11	<b>The Hague</b>	6	5	5	1
<b>London</b>	4	10	2	1	<b>Toronto</b>	1	9	5	2
<b>Los Angeles</b>	3	7	3	4	<b>Torreon</b>	1	1	7	8
<b>Makati</b>	4	2	6	5	<b>Valencia</b>	4	6	2	5
<b>Makkah</b>	0	3	2	12	<b>Vaughan</b>	4	4	7	2
<b>Melbourne LGA</b>	9	3	3	2	<b>Welland</b>	3	8	4	2
<b>Mississauga</b>	6	4	7	0	<b>Zagreb</b>	5	3	7	2
<b>Oakville</b>	4	6	7	0	<b>Zwolle</b>	5	7	4	1

#### 4.5 ÍNDICES POR EIXO DA SUSTENTABILIDADE

A validação dos índices por eixo da sustentabilidade foi realizada pela comparação entre os índices gerados e os valores dos parâmetros de referência de cada dimensão da sustentabilidade, feita a partir da análise da correlação entre essas variáveis para o grupo de cidades selecionadas, conforme descrito no item 3.5. Como visto na seção de índices por seção da

norma, uma vez validado o método do cálculo, esta se torna uma etapa dispensável em aplicações futuras do método SITIUS.

As análises de correlação foram feitas para os três métodos propostos para o cálculo dos índices de sustentabilidade. Nos métodos 2 e 3, o cálculo levou em conta as correlações entre os índices por seção, nesses casos considerou-se as correlações tanto com seus sinais originais, quanto em módulo. Assim, as correlações obtidas entre cada índice e seu parâmetro externo, de acordo com cada método utilizado, estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Correlação entre os índices e os parâmetros de referência.

<b>Correlações Índice versus parâmetro de referência</b>	<b>Método 1</b>	<b>Método 2</b>		<b>Método 3</b>	
		<b>Original</b>	<b>Módulo</b>	<b>Original</b>	<b>Módulo</b>
<b>Índice Econômico x GNI</b>	0.2642	0.3525	0.3525	0.3880	0.4666
<b>Índice Social x IDH</b>	0.4871	0.4838	0.5029	0.5547	0.5652
<b>Índice Ambiental x EPI</b>	0.7436	0.7525	0.7525	0.7449	0.7121

Para todos os eixos da sustentabilidade, os índices calculados pelo método 3 mostraram maior correlação com os parâmetros externos. Em relação ao sinal das correlações entre os índices das seções, os valores em módulo apresentaram os melhores resultados para os aspectos econômico e social, mantendo uma correlação alta para o ambiental, sendo então a opção adotada.

Ao considerar todas as seções temáticas para o cálculo dos índices por eixo, o método 3 dispensa a seleção de seções para cada dimensão do desenvolvimento sustentável, o que elimina o caráter subjetivo dessa escolha e a necessidade de redefinições de acordo com as atualizações da norma ISO 37120. Além disso, permite uma leitura mais sistêmica de cada eixo, admitindo que estes podem ser afetados por diversos aspectos, em maior ou menor escala.

Um fator importante na análise é que os parâmetros de referência abrangem aspectos restritos dos eixos da sustentabilidade os quais representam. Dessa forma, mesmo que sejam aceitos como indicativos do grau de desenvolvimento de uma localidade, estes parâmetros possuem sérias limitações. A proposta de índices de desenvolvimento sustentável a partir do conjunto de indicadores da ISO 37120 é uma tentativa de mensurar o desempenho das cidades em cada eixo de forma mais completa e, portanto, não são esperadas correlações com os parâmetros externos próximas a 1. Apesar disso, pode-se considerar que valores da ordem de

0,5 constituem uma correlação alta e que aqueles acima de 0,7, como ocorre na comparação entre o índice ambiental e o EPI, correspondem a correlações bastante elevadas.

Nota-se que as correlações são maiores quanto mais informações estão contidas nos parâmetros de referência. Enquanto para a economia é considerada apenas o GNI (Renda Nacional Bruta) *per capita*, a dimensão social é confrontada com o IDH, que engloba 4 indicadores sobre renda, educação e saúde. Para o eixo ambiental, por sua vez, a comparação é com o EPI, um índice composto por 32 indicadores agrupados em 11 temas. A abrangência do EPI é uma hipótese para explicar uma maior correlação entre este e o índice de desenvolvimento ambiental, quando comparada às dos outros aspectos.

#### 4.5.1 Valores resultantes

Uma vez estabelecido o método de cálculo, os índices de cada aspecto da sustentabilidade foram normalizados no intervalo de 0 a 1, de acordo com os valores máximos obtidos para os índices por seção temática da norma.

Desse modo, as cidades foram ordenadas a partir dos valores de seus índices de desenvolvimento econômico, social e ambiental. Assim como para os índices por seção, os *rankings* de cada eixo foram segmentados em setores de desempenho A, B, C e D, delimitados pelos quartis da amostra, como já apresentado no Quadro 14.

##### 4.5.1.1 Índice de Desenvolvimento Econômico

No *ranking* das cidades para o índice de desenvolvimento econômico (Tabela 27), Melbourne LGA ocupa a primeira posição. A cidade australiana é seguida por Dubai e por 2 cidades de Taiwan, Taipei e Tainan City. América Anglo-Saxônica e Oceania é a região com mais representantes no setor A, 5 ao total. O grupo ainda conta com 2 cidades na Europa Ocidental, The Hague e Aalter, além de Kielce no Leste Europeu.

Abaixo do primeiro quartil, o grupo com o pior desempenho para o índice contém todas as 5 cidades da América Latina presentes na amostra. O Oriente Médio também é representativo, com 3 de suas 4 cidades no setor D. Países de outras regiões como Holanda, Espanha e Geórgia possuem uma cidade cada.

Quando comparado ao índice de economia, seção-chave para este eixo, observa-se que algumas cidades se repetem nos setores A e D dos dois *rankings*. A interseção no grupo de melhor desempenho chega a 7 cidades, enquanto no pior grupo a correspondência é de 6

localidades. Ao considerar a relevância dos demais temas para o desenvolvimento econômico, seu respectivo índice traz Aalter, Brisbane, The Hague e Boston para o setor A. Já cidades da América Latina e da Arábia Saudita, como Buenos Aires, Guadalajara, Piedras Negras, Riyadh e Makkah, são rebaixadas ao setor D.

Tabela 27 - *Ranking* das cidades para o Índice de Desenvolvimento Econômico.

EIXO ECONÔMICO					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Melbourne LGA	0.732	24º	Amsterdam	0.572
2º	Dubai	0.718	25º	Surrey	0.568
3º	Taipei	0.684	26º	Cambridge	0.567
4º	Tainan City	0.666	26º	Sintra	0.567
5º	Portland	0.658	28º	Vaughan	0.558
6º	Aalter	0.650	29º	Heerlen	0.556
7º	Doral	0.646	30º	Shawinigan	0.555
8º	Brisbane	0.634	31º	Toronto	0.545
8º	The Hague	0.634	32º	Los Angeles	0.544
10º	Kielce	0.632	33º	Welland	0.541
11º	Boston	0.618	34º	Porto	0.528
12º	Koprivnica	0.617	35º	Barcelona	0.506
12º	Mississauga	0.617	36º	Rotterdam	0.472
14º	Oakville	0.603	37º	Valencia	0.461
15º	Zagreb	0.600	38º	Torreón	0.447
16º	San Diego	0.598	39º	Amman	0.445
17º	Zwolle	0.597	40º	Buenos Aires	0.439
17º	Makati	0.597	41º	Riyadh	0.411
19º	Oslo	0.595	42º	Tbilisi	0.401
20º	Eindhoven	0.594	43º	Guadalajara	0.387
21º	Quebec City	0.588	44º	Piedras Negras	0.386
22º	London	0.576	45º	León	0.338
23º	Saint-Augustin-De-Desmaures	0.573	46º	Makkah	0.259

#### 4.5.1.2 Índice de Desenvolvimento Social

O *ranking* das cidades para o índice de desenvolvimento social está disposto na Tabela 28. Entre os locais com o melhor desempenho para o índice, estão 6 cidades que também fazem parte do setor A do índice de desenvolvimento econômico, são elas: Melbourne LGA, Dubai, Taipei, Tainan City, Aalter e Boston. Além destas, Koprivnica também se destaca pelo alto índice e o grupo conta, ainda, com a cidade australiana de Brisbane, as canadenses

Mississauga e Surrey e com a cidade holandesa de Zwolle. Como no eixo econômico, o setor A é composto majoritariamente por localidades da América Anglo-Saxônica e Oceania.

Tabela 28 - *Ranking* das cidades para o Índice de Desenvolvimento Social.

EIXO SOCIAL					
POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSICÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Melbourne LGA	0.747	24º	Toronto	0.627
2º	Dubai	0.739	25º	Valencia	0.614
3º	Koprivnica	0.738	26º	Porto	0.610
4º	Taipei	0.723	27º	Portland	0.605
5º	Brisbane	0.722	28º	Quebec City	0.604
6º	Mississauga	0.700	29º	Shawinigan	0.601
7º	Tainan City	0.696	30º	Zagreb	0.599
8º	Aalter	0.692	31º	San Diego	0.598
9º	Boston	0.691	32º	Los Angeles	0.595
10º	Zwolle	0.669	33º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.592
11º	Surrey	0.665	34º	Sintra	0.562
12º	The Hague	0.661	35º	Makati	0.557
12º	Oakville	0.661	36º	Rotterdam	0.536
14º	London	0.660	37º	Oslo	0.521
15º	Kielce	0.650	38º	Amman	0.499
16º	Welland	0.648	39º	Tbilisi	0.483
17º	Vaughan	0.647	40º	Riyadh	0.480
18º	Eindhoven	0.644	41º	Torreón	0.478
19º	Heerlen	0.635	42º	Guadalajara	0.399
20º	Doral	0.634	43º	Buenos Aires	0.378
21º	Amsterdam	0.633	44º	Piedras Negras	0.376
22º	Barcelona	0.628	45º	León	0.338
22º	Cambridge	0.628	46º	Makkah	0.277

No grupo de pior desempenho, a semelhança com o ordenamento do índice de desenvolvimento econômico é ainda mais significativa. 10 das 11 cidades dos setores D convergem nos aspectos econômico e social. Neste último, Oslo assume a posição ocupada pela cidade espanhola de Valencia. Vale ressaltar a presença predominante das cidades da América Latina e Oriente Médio neste grupo.

Quando a comparação é feita entre o índice de desenvolvimento social e o índice de educação, sua relativa seção-chave, os resultados para os setores A e D convergem, com 9 cidades semelhantes nos dois ordenamentos. Para o índice do eixo social, Boston e Zwolle são

elevados ao grupo de melhor desempenho, enquanto Rotterdam e Riyadh decaem para as últimas posições do *ranking*.

#### 4.5.1.3 Índice de Desenvolvimento Ambiental

O *ranking* das cidades para o índice de desenvolvimento ambiental (Tabela 29) é o que mais se diverge em relação aos outros eixos da sustentabilidade. Melbourne LGA, que ocupava o primeiro lugar nos *rankings* do índice de desenvolvimento econômico e do índice de desenvolvimento social, passou para a 13ª posição. A diferença foi ainda maior para Dubai, que saltou do segundo lugar para o 42º.

Tabela 29 - *Ranking* das cidades para o Índice de Desenvolvimento Ambiental.

EIXO AMBIENTAL					
POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE	POSIÇÃO	CIDADE	ÍNDICE
1º	Aalter	0.746	24º	Cambridge	0.666
2º	Koprivnica	0.734	25º	Valencia	0.662
3º	The Hague	0.732	26º	Sintra	0.656
4º	Zwolle	0.728	27º	London	0.655
5º	Brisbane	0.725	27º	Doral	0.655
6º	Kielce	0.717	29º	Vaughan	0.644
7º	Porto	0.704	30º	Tainan City	0.634
8º	Oakville	0.700	30º	Saint-Augustin- De-Desmaures	0.634
9º	Eindhoven	0.695	32º	San Diego	0.631
9º	Quebec City	0.695	33º	Portland	0.595
11º	Taipei	0.694	34º	Los Angeles	0.592
12º	Surrey	0.693	35º	Torreon	0.574
13º	Melbourne LGA	0.691	36º	Rotterdam	0.570
14º	Welland	0.689	37º	Amman	0.562
15º	Mississauga	0.688	38º	Makati	0.547
16º	Boston	0.687	39º	Tbilisi	0.544
16º	Heerlen	0.687	40º	Buenos Aires	0.538
18º	Shawinigan	0.684	41º	Piedras Negras	0.524
19º	Amsterdam	0.682	42º	Dubai	0.488
20º	Toronto	0.678	43º	León	0.485
21º	Oslo	0.674	44º	Guadalajara	0.473
22º	Zagreb	0.671	45º	Riyadh	0.320
23º	Barcelona	0.667	46º	Makkah	0.317

Na primeira posição está Aalter, cidade belga com bom desempenho também nos demais aspectos. Já pela primeira vez no setor A para os índices por eixo da sustentabilidade,

estão a cidade do Porto, Eindhoven, Oakville e Quebec City. Ao total, os países com mais representantes neste setor são Holanda e Canadá com, respectivamente, 3 e 2 cidades.

A presença de Dubai no setor D faz com que a região do Oriente Médio esteja toda contida abaixo no primeiro quartil. Também com 4 cidades entre os mais baixos índices, está a América Latina, ficando de fora apenas a cidade mexicana de Torreón. Passa a fazer parte do setor D a cidade de Makati, situada nas Filipinas.

Em relação ao índice de meio ambiente, seção-chave do eixo ambiental, apenas 4 cidades se mantêm no setor A do *ranking* do índice de desenvolvimento ambiental. No setor D, a interseção entre os índices é de 8 cidades, passando a fazer parte deste grupo as cidades de Amman, Piedras Negras e Guadalajara.

#### 4.5.2 Síntese dos resultados dos índices por eixo da sustentabilidade

Os resultados obtidos para os índices por eixo da sustentabilidade estão na Tabela 30.

Tabela 30 - Síntese dos resultados dos índices por eixo da sustentabilidade.

<b>CIDADE</b>	<b>ECO.</b>	<b>SOC.</b>	<b>AMB.</b>	<b>CIDADE</b>	<b>ECO.</b>	<b>SOC.</b>	<b>AMB.</b>
<b>Aalter</b>	A	A	A	<b>Oslo</b>	B	D	B
<b>Amman</b>	D	D	D	<b>Piedras Negras</b>	D	D	D
<b>Amsterdam</b>	C	B	B	<b>Portland</b>	A	C	C
<b>Barcelona</b>	C	B	B	<b>Porto</b>	C	C	A
<b>Boston</b>	A	A	B	<b>Quebec City</b>	B	C	A
<b>Brisbane</b>	A	A	A	<b>Riyadh</b>	D	D	D
<b>Buenos Aires</b>	D	D	D	<b>Rotterdam</b>	D	D	D
<b>Cambridge</b>	C	B	C	<b>Saint-Augustin</b>	B	C	C
<b>Doral</b>	A	B	C	<b>San Diego</b>	B	C	C
<b>Dubai</b>	A	A	D	<b>Shawinigan</b>	C	C	B
<b>Eindhoven</b>	B	B	A	<b>Sintra</b>	C	C	C
<b>Guadalajara</b>	D	D	D	<b>Surrey</b>	C	A	B
<b>Heerlen</b>	C	B	B	<b>Tainan City</b>	A	A	C
<b>Kielce</b>	A	B	A	<b>Taipei</b>	A	A	A
<b>Koprivnica</b>	B	A	A	<b>Tbilisi</b>	D	D	D
<b>León</b>	D	D	D	<b>The Hague</b>	A	B	A
<b>London</b>	B	B	C	<b>Toronto</b>	C	C	B
<b>Los Angeles</b>	C	C	C	<b>Torreón</b>	D	D	C
<b>Makati</b>	B	C	D	<b>Valencia</b>	D	C	C
<b>Makkah</b>	D	D	D	<b>Vaughan</b>	C	B	C
<b>Melbourne LGA</b>	A	A	B	<b>Welland</b>	C	B	B
<b>Mississauga</b>	B	A	B	<b>Zagreb</b>	B	C	B
<b>Oakville</b>	B	B	A	<b>Zwolle</b>	B	A	A

Para cada cidade, ordenada alfabeticamente, estão apresentados os setores nos quais se encontram em cada um dos eixos do desenvolvimento sustentável: econômico social e ambiental. A classificação destes setores em A, B, C ou D se deu a partir dos *rankings* já apresentados para cada índice.

#### 4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Todo o processo de tratamento e transformação de dados a partir dos indicadores da norma ISO 37120 coletados, aliados às técnicas de análise multivariada, como a análise fatorial e a análise de agrupamentos, deram a base para a elaboração dos métodos propostos para o cálculo dos índices. Ao total foram obtidos 17 índices por seção temática, conforme as seções da norma, e 3 índices relativos aos pilares do desenvolvimento sustentável (econômico, social e ambiental).

Enquanto os índices por seção consideram somente os indicadores pertinentes à temática correspondente, os índices por eixo da sustentabilidade englobam, cada um, o sistema completo de indicadores preconizado pela ISO 37120. A ideia é que esses índices representassem o comportamento do sistema com base em diferentes vieses, de acordo com a dimensão a ser avaliada. Dessa forma, não é tido como objetivo que estes 3 índices sejam complementares, dando origem a um índice global da sustentabilidade, mas que, ao abranger todos os temas, possam expressar as interseções existentes entre todos estes aspectos e que, por vezes, são indissociáveis.

A execução e validação dos métodos permitiram, ainda, o ordenamento das cidades da amostra para cada um dos 20 diferentes índices. Os *rankings* resultantes, por sua vez, possibilitaram discussões sobre o desempenho das cidades nos mais variados aspectos e a análise do comportamento do conjunto de dados como um todo. Cabe destacar que os valores obtidos são relativos, podendo variar para um mesmo local dependendo do conjunto de cidades avaliadas. Assim, os índices precisam ser comparados dentro da amostra da qual foram originados.

O trabalho visa suprir entraves existentes na interpretação dos dados obtidos pelas cidades que aplicam a norma. Apesar da importância do monitoramento de cada indicador individualmente, quando se trata da tomada de decisão nos níveis mais altos da gestão urbana, a redução do número de variáveis para a análise possui grande relevância. A simplificação da estrutura de indicadores, pela representação de cada seção por um único índice, torna a norma

mais inteligível ao usuário. Além disso, a ausência de parâmetros de referência que possibilitem avaliar e classificar o desempenho das cidades em cada indicador ou tema exige a realização de análises comparativas com outras localidades, o que é facilitado com a elaboração de *rankings* dos índices por seção temática.

É importante ressaltar sobre o perigo do uso equivocado dos *rankings*, capaz de gerar comparações nocivas entre as localidades e que pouco acrescentam às discussões sobre modelos mais sustentáveis de desenvolvimento. É necessário que cada cidade busque a melhoria contínua em relação aos seus próprios parâmetros e necessidades, se valendo de comparações para a elaboração de diagnósticos e a aprendizagem pelas boas práticas.

Quanto ao desempenho, as cidades da América Latina e Oriente Médio obtiveram os piores índices em relação às demais localidades da amostra. A exceção é Dubai, nos Emirados Árabes, que se destacou em uma série de *rankings*, apesar da sua baixa performance no tema ambiental. As cidades que mais se destacaram pelo bom ou mau desempenho estão apresentadas na Figura 15, para os índices por seção, e na Figura 16, para os índices por eixo da sustentabilidade. Observa-se, também, que as divisões por região propostas são pertinentes, mas não são suficientes para expressar o comportamento das cidades, o qual varia dentro de um mesmo grupo.

Ainda em relação aos dados levantados, a concentração de cidades em determinadas regiões como a América Anglo-Saxônica e Europa Ocidental, as quais tendem a apresentar uma alta performance em indicadores econômicos e sociais, faz com que a média dos indicadores da amostra seja elevada. Como resultado, cidades com bom desempenho no cenário global podem obter valores baixos para os índices e ocuparem posições inferiores nos *rankings* exibidos, tendo em vista que os valores dos índices são relativos à amostra estudada.

Índices por Seção				
Melhores desempenhos				
CIDADE	A	B	C	D
Aalter	7	7	3	0
Brisbane	7	5	4	1
Dubai	8	2	3	4
Melbourne LGA	9	3	3	2
Taipei	8	4	3	2

Piores desempenhos				
CIDADE	A	B	C	D
Amman	0	3	4	10
Guadalajara	0	1	4	12
León	0	2	4	11
Makkah	0	3	2	12
Piedras Negras	0	1	7	9

Figura 15 - Cidades com os melhores e piores desempenhos nos índices por seção.

## Índices por Eixo

Melhores desempenhos				Piores desempenhos			
CIDADE	Econ.	Social	Amb.	CIDADE	Econ.	Social	Amb.
Aalter	A	A	A	Amman	D	D	D
Brisbane	A	A	A	Guadalajara	D	D	D
Dubai	A	A	D	León	D	D	D
Melbourne LGA	A	A	B	Makkah	D	D	D
Taipei	A	A	A	Piedras Negras	D	D	D

Figura 16 - Cidades com os melhores e piores desempenhos nos índices por eixo.

Os resultados apresentados tratam não apenas dos índices e seus respectivos *rankings* para o conjunto de cidades estudado, mas da proposição de uma metodologia que permite o cálculo dos índices para outras amostras de cidade a partir dos indicadores da ISO 37120. Uma vez validada a metodologia é possível simplificar todo o processo descrito no fluxograma da Figura 9, reduzindo-o ao esquema apontado na Figura 17. Esta metodologia pode auxiliar também no estudo de outros sistemas de indicadores para os quais se visa condensar as informações por meio de índices.

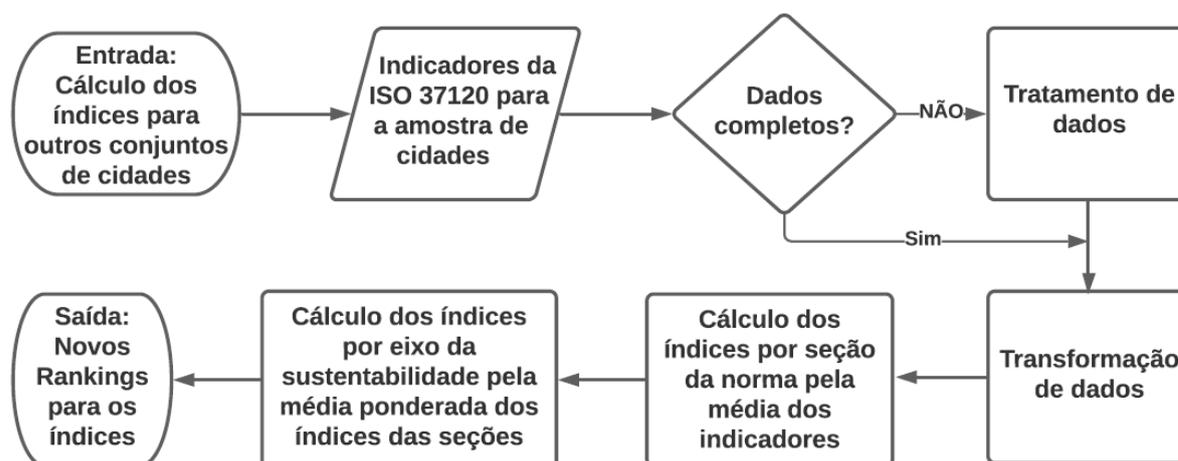


Figura 17 - Fluxograma simplificado após validação dos métodos.

Fonte: COUTO; DI GREGORIO; COELHO, 2020.

Os índices desenvolvidos deram origem, ainda, a um instrumento de auxílio aos gestores urbanos, o qual pretende-se disponibilizar na forma de serviço, facilitando o monitoramento dos índices e a comparação do desempenho entre diferentes localidades. A ferramenta fornece

um *dashboard* interativo (Figura 18) que permite comparar o desempenho das diferentes cidades a partir também da região e país em que estão localizadas. De acordo com a seleção feita, pode-se analisar o índice médio para as seções habilitadas e o *benchmark* obtido pela média das seções ou de uma única seção escolhida.

Além disso, é possível explorar cada um dos 20 índices de sustentabilidade individualmente a partir de um *Menu* (Figura 19). Para cada índice é apresentado o ranking com todas as cidades avaliadas e o número de indicadores que foram sintetizados (Figura 20). É exibida, ainda, a cidade tida como *benchmark* e o valor de seu respectivo índice.



Figura 18 - *Dashboard* interativo dos índices de sustentabilidade – Método SITIUS.  
Fonte: COUTO, 2020.



Figura 19 - *Menu* de acesso aos índices de sustentabilidade – Método SITIUS.  
Fonte: COUTO, 2020.



Figura 20 - Índices de sustentabilidade para a Seção 5 – Método SITIUS.  
Fonte: COUTO, 2020.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo se propôs a desenvolver e validar um método que permitisse sintetizar o conjunto de indicadores da ISO 37120 “Desenvolvimento sustentável em comunidades – indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida”, batizado de *Sustainability Indices based on Thematic Indicators for Urban Systems* (SITIUS). Por meio do método SITIUS, os 100 indicadores contidos na primeira versão da norma foram condensados em 17 índices, de acordo com as seções já definidas em seu escopo. A partir destes, como forma de avançar na discussão acerca do desenvolvimento sustentável e suas métricas, elaborou-se 3 índices que fossem capazes de mensurar a sustentabilidade em suas diferentes dimensões: econômica, social e ambiental.

Assim, uma das contribuições do método SITIUS é que este possibilita explorar o desempenho das localidades em relação aos 3 pilares do desenvolvimento sustentável. Essa abordagem amplia a visão do gestor sobre a sustentabilidade, permitindo uma atuação que vise impactar cada um destes pilares a fim de se alcançar o equilíbrio desejado. Dessa forma, a proposição de índices para cada eixo da sustentabilidade pretende expandir a aplicabilidade e interpretação da norma.

Como visto, esses índices são compostos pelos índices das seções, ou seja, consideram todo o conjunto de indicadores da norma, variando apenas seus pesos segundo os eixos da sustentabilidade. Logo, não estão sendo avaliados temas pertinentes a cada eixo e sim, de uma maneira mais ampla, como cada temática contribui para o desempenho das cidades nas distintas perspectivas de desenvolvimento.

Nesse contexto, a adoção de indicadores já consolidados como referências externas, servindo de critério para a validação dos índices para os eixos da sustentabilidade não teve por objetivo suprir a ausência de valores de referência, nem partiu do pressuposto de que estes pudessem ser equivalentes aos índices calculados. Embora constituam parâmetros de referência para as dimensões do desenvolvimento sustentável ao qual cada um se refere, sabe-se que os aspectos englobados por estes são restritos. Enquanto isso, os índices propostos abrangem as diversas temáticas do ambiente urbano e, portanto, é esperado que haja uma correlação entre as diferentes perspectivas, mas que não necessariamente esta seja elevada. Uma importante vantagem da abordagem sistêmica proposta é a possibilidade de simular eventuais cenários a partir da intervenção nas variadas áreas tratadas pela norma durante o planejamento urbano ou,

ainda, de identificar potencialidades ou deficiências nas etapas de monitoramento e controle urbano.

Dentre as dificuldades encontradas na elaboração do estudo está a obtenção de uma amostra representativa de cidades para as análises subsequentes. Embora coletados dados para quase uma centena de certificações, a existência de certificações para uma mesma localidade em variados anos, somado aos dados insuficientes em parte delas, fez com que o número de observações fosse reduzido a 46 cidades, diminuindo seu poder estatístico.

No método SITIUS, os valores dos índices são relativos aos extremos da amostra, e não absolutos. Na ausência de parâmetros capazes de apontar escalas de desempenho para os índices, seus valores flutuam com o conjunto de cidades observado, podendo ser ligeiramente afetados com o ingresso de localidades pertencentes aos extremos. Esta limitação é minimizada, no entanto, quando considerada a diversidade de cidades e parâmetros avaliados e pode ser reduzida com a inserção de uma amostra ainda maior e diversa.

Outro ponto que merece cautela na interpretação dos resultados diz respeito às correlações entre os indicadores primários e também entre os índices por seção da norma. Ainda que se possa apontar uma semelhança no comportamento de duas variáveis, não é possível traçar conclusões sobre as relações de causa e efeito a partir da análise exclusiva dessas correlações. Assim, o uso da matriz de correlação dos índices por seção para o cálculo dos índices por eixo da sustentabilidade apenas visa reproduzir o comportamento identificado na amostra.

Mais do que os índices apresentados e seu ranqueamento para a amostra existente de cidades, o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo dos diferentes índices é uma das principais contribuições deste estudo. O método SITIUS pode ser aplicado a diferentes conjuntos de cidades, replicado para versões mais atualizadas da ISO 37120 ou mesmo adaptado para outros sistemas de indicadores.

De forma geral, a elaboração de índices é capaz de expandir as aplicações da ISO 37120 ou outras coleções de indicadores urbanos e potencializar seu uso, já que o levantamento de dados em si não é suficiente se não estiver conectado a uma estratégia de atuação. Uma vez que a sintetização das informações em indicadores e índices é uma importante forma de facilitar a sua comunicação, estes podem constituir uma importante ferramenta de gestão e tomada de decisão. O uso destes instrumentos auxilia os gestores no monitoramento de políticas públicas,

planejamento e na definição de prioridades para a alocação de recursos, por meio de uma hierarquização dos investimentos públicos.

Vale ressaltar o importante papel da ISO 37120 e da estrutura de informações por ela criada. A norma representa um significativo passo para a padronização de indicadores de sustentabilidade, permitindo a comparação de diversas cidades ao redor do mundo. Ademais, a existência de um processo de certificação para as localidades que adotam o seu sistema de indicadores e a divulgação de seus valores incentiva a sua utilização e favorece a coleta e comparação desses dados, o que é essencial para a análise dos indicadores e seus desdobramentos, como o cálculo de índices e elaboração de *rankings*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A.; MORAES, O. B. **Desenvolvimento urbano sustentável**. São Paulo: EPUSP, 2009. 29 p. (Série Texto Técnico, TT/PCC/26). Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529983/mod\\_resource/content/0/TT26DesUrbSustentavel.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529983/mod_resource/content/0/TT26DesUrbSustentavel.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37120:2017**, Desenvolvimento sustentável de comunidades – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ACSELRAD, Henri. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, n. 1, maio 1999. DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.1999n1p79>. Disponível em: <<https://rbeur.emnuvens.com.br/rbeur/article/view/27/15>>. Acesso em: 09 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Vigiante e Unir - a agenda da sustentabilidade urbana? **Revista VeraCidade**, Salvador, ano 2, n. 2, jul. 2007. Disponível em: <<http://www.veracidade.salvador.ba.gov.br/v2/images/veracidade/pdf/artigo%20vigiar%20e%20unir.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ALLIANCE HQE-GBC FRANCE. **Benchmark des certifications internationales à l'échelle quartier: positionnement de la certification HQE relativement à BREEAM, DGNB et LEED**. ALLIANCE HQE-GBC FRANCE, 2016. Disponível em: <[http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2016/06/D%C3%A9c-2016\\_Benchmark-Quartier.pdf](http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2016/06/D%C3%A9c-2016_Benchmark-Quartier.pdf)>. Acesso em 26 out. 2019.

BARATTO, Romullo. Primeira norma técnica para cidades sustentáveis é aprovada pela ABNT. **ArchDaily Brasil**, 16 abr. 2017. ISSN 0719-8906. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/869219/primeira-norma-tecnica-para-cidades-sustentaveis-e-aprovada-pela-abnt>>. Acesso em: 28 out. 2019.

BARBOSA, Gisele S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, Rio de Janeiro, 4 ed., v.1, n. 4, p. 1-11, jan./jun. 2008. Disponível em: <[http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed\\_O\\_Desafio\\_Do\\_Desenvolvimento\\_Sustentavel\\_Gi sele.pdf](http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_O_Desafio_Do_Desenvolvimento_Sustentavel_Gi sele.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2019.

BELLEN, Hans Michael van. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

BEZERRA, M. C. L.; BURSZTYN, M. **Ciência e Tecnologia para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio CDS/ UnB/ Abipti, 2000.

BOSSEL, Hartmut. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications**. A report to the Balaton Group. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 Brasileira**, 2019a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira>>. Acesso em: 22 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Selo Casa Azul Caixa. **Caixa Econômica Federal**, 2019. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 25 out. 2019.

CANEPA, Carla. **Cidades Sustentáveis: o município como lócus da sustentabilidade**. São Paulo: Editora RCS, 2007.

CARRIÇO *et al.* Illustration of a Common Framework for Relating Multiple Typing Methods by Application to Macrolide-Resistant *Streptococcus pyogenes*. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 4, n. 7, p. 2524-2532, 2006. DOI: 10.1128/JCM.02536-05.

CIA – Central Intelligence Agency. **The World factbook: Suffrage**. 2020. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/311.html>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

CITYNET. CITYNET-WCCD ISO 37120 Pilot Program – information for cities. CityNet, 2016. Disponível em: <<https://citynet-ap.org/wp-content/uploads/2016/03/CityNet-WCCD-Information-Packet.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

CMDS – CÚPULA MUNDIAL SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2002, Johannesburg. **Report**. New York: United Nations, 2002. Disponível em: <<https://digitallibrary.un.org/record/478154>>. Acesso em: 15 out. 2019.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1987. **Report**. New York: United Nations, 1987. Disponível em: <<https://ambiente.files.wordpress.com/2011/03/brundtland-report-our-common-future.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

CNUMAD – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. Tradução: Ministério das Relações Exteriores. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Brasília, 1995. Disponível em: <<http://www.coopcentabc.org.br/documentos/agenda21.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Report**. New York: United Nations, 1993. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/unced>>. Acesso em: 11 out. 2019.

COSTA, Heloisa S. M. Desenvolvimento urbano sustentável: uma contradição de termos? Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, n. 2, p. 55-71, nov. 1999. Disponível em: <<https://rbeur.emnuvens.com.br/rbeur/article/view/37/23>>. Acesso em: 14 out. 2019.

COUTO, E. A. **Aplicação dos indicadores de desenvolvimento sustentável da norma ABNT NBR ISO 37120:2017 para a cidade do Rio de Janeiro e análise comparativa com cidades da América Latina**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. A.; DI GREGORIO, L. T. Análise comparativa da estrutura de sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável: Programa Cidades Sustentáveis e ABNT NBR ISO 37120:2017. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 44508-44516, 2020.

DAWODU, A.; CHESHMEHZANGI, A.; WILLIAMS, A. Expert-initiated integrated approach to the development of sustainability indicators for neighbourhood sustainability assessment tools: An African perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, 2019.

DGA – DIRECÇÃO GERAL DO AMBIENTE. **Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável**. Portugal: Direcção Geral do Ambiente, 2000. Disponível em:

<[https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Divulgacao/Publicacoes/SIDS/SIDSPortugal\\_Proposta2000.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/SIDS/SIDSPortugal_Proposta2000.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2019.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Environmental Indicators: typology and use in reporting. **European Environment Agency**, Copenhagen, 2003.

EMELIANOFF, C. “L’agenda 21 d’Angers: marketing ou objectif politique?” **Territoires**, n. 438, p. 46, 2003.

ESPINOSA, Ángeles. As mulheres da Arábia Saudita estreiam como eleitoras e candidatas. **El País**, Jidá (Arábia Saudita), 12 dez. 2015. Disponível em: <[https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/09/internacional/1449688188\\_704404.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2015/12/09/internacional/1449688188_704404.html)>. Acesso em: 28 dez. 2020.

FANTOM, N.; SERAJUDDIN, U. **The World Bank’s Classification of Countries by Income**. Policy Research Working Paper 7528. World Bank Group, 2016. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/408581467988942234/pdf/WPS7528.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

FERRETTI, Rayne. Mais de 90% da população brasileira viverá em cidades em 2030. **ONU News**, 17 out. 2016. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2016/10/1566241-mais-de-90-da-populacao-brasileira-vivera-em-cidades-em-2030>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

FIELD, Andy. **Descobrendo a estatística usando o SPSS**. Tradução Lorí Viali. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FPNQ – FUNDAÇÃO PARA O PRÊMIO NACIONAL DA QUALIDADE. **Indicadores de desempenho**. São Paulo: FPNQ, 1995.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. Certificação AQUA-HQE. **Fundação Vanzolini**, 2015. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

GALLOPÍN, Gilberto C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

GARCIA-AYLLÓN, Salvador. Rapid development as a factor of imbalance in urban growth of cities in Latin America: A perspective based on territorial indicators. **Habitat International**, v. 58, p. 127-142, nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.10.005>.

GBCB – GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. LEED for Neighborhood and Development: Crescimento inteligente. **GBCB**, 14 set. 2015. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/leed-for-neighborhood-and-development-crescimento-inteligente/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

GCI<sup>2</sup> – GLOBAL CITIES INSTITUTE. City Data. **Global Cities Institute**, 2017. Disponível em: <<http://www.globalcitiesinstitute.org/>>. Acesso em 14 out. 2019.

GHOSH, S.; VALE, R.; VALE, B. Indications from sustainability indicators. **Journal of Urban Design**, v. 11, n. 2, p. 263-275, 2006.

GOMES, Marcos A. S. Cidades sustentáveis e parques: reflexões teórico-conceituais. **Confins** – revista franco-brasileira de geografia, n. 40, 2019. DOI: 10.4000/confins.19428. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/19428?lang=pt>>. Acesso em: 16 out. 2019.

GONÇALVES, Daniel B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, ano 5, n. 51, ago. 2005. Disponível em: <<http://danielbertoli.synthasite.com/resources/textos/texto16.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

GUIMARÃES, R. P.; FONTOURA, Y. S. R. Rio+20 ou Rio-20? Crônica de um fracasso anunciado. **Revista Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 19-39, set.-dez. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300003>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v15n3/a03v15n3.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2019.

HAIR JÚNIOR *et al.* **Análise multivariada de dados**. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HÁK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A. L. **Sustainability indicators: a scientific assessment**. The Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 2007. (SCOPE 67).

HARDI, P.; ZDAN, T. **Assessing Sustainable Development: Principles in Practice**. Winnipeg: The International Institute for Sustainable Development, 1997.

HIREMATH *et al.* Indicator-based urban sustainability – A review. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, p. 555-563, 2013.

HOORNWEG, D., FREIRE, M. Building Sustainability in na Urbanizing World: a partnership report. **Urban Development Series**. The World Bank, 2013. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/622651468320375543/Main-report>>. Acesso em: 13 out. 2019.

HUANG, L; WU, J.; YAN, L. Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators. *Landscape Ecology*, v. 30, n. 7, p. 1175-1193, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil 2015**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf> >. Acesso em: 21 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS**. SIDRA, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ids/documentos>>. Acesso em: 18 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Relatório dos indicadores para os objetivos de desenvolvimento sustentável**. Indicadores brasileiros para os objetivos de desenvolvimento sustentável, 2021. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/relatorio/sintese>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. ISO 37120 briefing note: the first ISO International Standard on city indicators. 2014. **International Organization of Standardization**. Disponível em: <[https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/37120\\_briefing\\_note.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/37120_briefing_note.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2019.

\_\_\_\_\_. ISO 37120:2018 preview. **International Organization of Standardization**, 2018. Online Browsing Platform. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/68498.html>>. Acesso em: 15 out. 2019.

JACCARD, Paul. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura. **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**, n.37, p.547-579, 1901.

JSBC; IBEC. CASBEE family and tools. **CASBEE**, 2015. Disponível em: <[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/toolsE\\_city.htm](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/toolsE_city.htm)>. Acesso em: 26 out. 2019.

KUHNEN, M.; HAHN, R. Indicators in social life cycle assessment: A review of frameworks, theories, and empirical experience. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 6, p. 1547-1565, 2017.

LÉLÉ, Sharachchandra M. Sustainable development: a critical review. **World Development**, Montreal, v. 19, n. 6, p. 607-621, jun. 1991.

MACHADO JÚNIOR *et al.* Do Brazilian cities want to become smart or sustainable? **Journal of Cleaner Production**, v. 199, n. 20, p. 214-221, out. 2018.

MACLAREN, Virginia W. Urban sustainability reporting. **Journal of the American Planning Association**, v. 62, n. 2, p. 184-202, 1996.

MALHEIROS, T. F., PHILIPPI JR., A., COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. **Saúde Soc.**, São Paulo, vol.17, n.1, p. 7-20, 2008. Disponível em: <[http://www.hlog.epsjv.fiocruz.br/upload/d/Agenda\\_21\\_Nacional\\_e\\_indicadores\\_de\\_desenvolvimento\\_sustenta.pdf](http://www.hlog.epsjv.fiocruz.br/upload/d/Agenda_21_Nacional_e_indicadores_de_desenvolvimento_sustenta.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2019.

MARTINS, E. G. M. Quartis. **Revista de Ciência Elementar**, Lisboa, v. 2, n. 4, p. 268, 2014. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2014.268>.

MARTINS, José Paulo. Limites do Crescimento: o relatório que impulsionou o debate ambiental. **Agência Social de Notícias**, Campinas, 14 maio 2015. Disponível em: <<https://agenciasn.com.br/arquivos/3391>>. Acesso em: 13 out. 2019.

MCCARNEY, Patricia. Standardized Indicators for Informed Cities. **Meeting of the Minds**, 18 mar. 2013. Disponível em: <<http://meetingoftheminds.org/standardized-indicators-for-informed-cities-6375>>. Acesso em: 12 out. 2019.

MONTIBELLER FILHO, Gilberto. Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável conceitos e princípios. **Revista Textos de Economia**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 131-142, 1993. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/6645/6263>>. Acesso em: 12 out. 2019.

NEGREIROS, Iara. **Retrofit urbano: uma abordagem para apoio de tomada de decisão**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018.

OCDE. **Rumo a um desenvolvimento sustentável - indicadores ambientais**. Tradução de Ana Maria S. F. Teles. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2002. 244 p. (Série Cadernos de Referência Ambiental, v. 9).

OLIVEIRA, M.; LANTELME, E.M.V.; FORMOSO, C.T. **Sistema de indicadores de qualidade e produtividade na construção civil: manual de utilização**. Porto Alegre: SEBRAE, 1995.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Human Development Data Center**. Human Development Reports. United Nations Development Programme, 2020. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/data>>. Acesso em 25 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. **Human Development Report 2019** - Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. Technical Notes, 2019c. Disponível em: <[http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2019\\_technical\\_notes.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2019_technical_notes.pdf)>. Acesso: em 18 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. 2 ed. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2001. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. 3 ed. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2007. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **SDG indicators**. Department of Economic and Social Affairs. Statistic Division, 2019b. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>>. Acesso em: 23 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Standard Country or Area Codes for Statistical Use**. New York: United Nations Statistics Division, 1999.

\_\_\_\_\_. **System of National Accounts**. Brussels/Luxembourg, New York, Paris, Washington, D.C.: Inter-Secretariat Working Group on National Accounts, 1993. Disponível em: <<https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/1993sna.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. **World Urbanization Prospects 2018 Highlights**. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019a. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development**. General Assembly, 2017. Disponível em: <<https://undocs.org/A/RES/71/313>>. Acesso em: 20 out. 2019.

ONU-BR. A ONU e o Meio Ambiente. **Nações Unidas no Brasil**, 2019a. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **Nações Unidas no Brasil**, 2019b. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 13 out. 2019.

PIRES, André R. **Modelos de certificação da sustentabilidade dos edifícios: análise comparativa dos processos de certificação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Técnico Lisboa, Lisboa, 2017.

PITÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20-28, 2012.

PRADO, André Luiz. Desenvolvimento urbano sustentável: de paradigma a mito. **Oculum Ensaios – Revista de Arquitetura e Urbanismo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 83-97, jan.-jun. 2015.

PCS – PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Plataforma Cidades Sustentáveis**, 2019. Disponível em: <<https://www.cidadessustentaveis.org.br/institucional/pagina/eixos-do-pcs>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

REX, E; BAUMANN, H. Implications of an interpretive understanding of LCA practice. **Business Strategy and the Environment**, v. 17, p. 420-430, 2008.

RIO DE JANEIRO. **Escritório de Gerenciamento de Projetos e Metas**. Subsecretaria de Planejamento e Acompanhamento de Resultados, 2018. Disponível em: <<http://prefeitura.rio/web/planejamento/escritorio-de-gerenciamento-de-projetos-e-de-metas>>. Acesso em: 24 out. 2019.

SABRI, S *et al.* Alternative Planning and Land Administration for Future Smart Cities. **IEEE Technology and Society Magazine**, 17 dez. 2015. Leading Edge, p. 33-35. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?reload=true&tp=&arnumber=7360311>>. Acesso em: 16 out. 2019.

SACHS, Ignacy. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável**. 1 ed. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56.

SANTOS, Tacilla C. S. Siqueira. Organizações da Sociedade Civil e as Construções Teóricas Contemporâneas acerca da sustentabilidade. **Revista do Centro Interdisciplinar de Desenvolvimento e Gestão Social - CIAGS**, Salvador, v. 2, n. 1, p. 105-112, 2009. Disponível em: <<http://www.historias.interativas.nom.br/incorporais/lendas/textos/refcosta.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

SÃO PAULO. Infraestrutura e Meio Ambiente. **Programa Município VerdeAzul**, 2020. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/verdeazuldigital/o-projeto/>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

UK – UNITED KINGDOM GOVERNMENT. **Securing the future - UK Government sustainable development strategy**, 2005. Disponível em: <[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69412/pb10589-securing-the-future-050307.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69412/pb10589-securing-the-future-050307.pdf)>. Acesso 21 out. 2019.

VEIGA, José E. A primeira utopia do antropoceno. **Revista Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 227-246, abr.-jun. 2017.

\_\_\_\_\_. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010.

\_\_\_\_\_. Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas. **Revista de Economia Política**, v. 29, n. 4, p. 421-435, out.-dez. 2009.

VERMA, P.; RAGHUBANSHI, A. S. Urban sustainability indicators: Challenges and opportunities. **Ecological Indicators**, v. 92, p. 282-291, 2018.

VICINI, Lorena. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. Monografia (Especialização em Estatística) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VORONTSOV, I. E.; KULAKOVSKIY, I. V.; MAKEEV, V. J. Jaccard index based similarity measure to compare transcription factor binding site models. **Algorithms for Molecular Biology**, v. 8, n. 23, p. 1-11, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/1748-7188-8-23>.

WENDLING *et al.* **2020 Environmental Performance Index**. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2020.

WORLD BANK. **Data Bank**, 2020. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/home.aspx>. Acesso em: 25 nov. 2020.

## APÊNDICE A

Tabela 31 - Matriz de correlação para a Seção 5.

	<b>5.1</b>	<b>5.2</b>	<b>5.3</b>	<b>5.4</b>	<b>5.5</b>	<b>5.6</b>
<b>5.1</b>	1.000					
<b>5.2</b>	0.187					
<b>5.3</b>	0.117	0.179				
<b>5.4</b>	0.162	0.422	0.016			
<b>5.5</b>	0.791	0.171	0.094	0.055		
<b>5.6</b>	-0.177	0.33	0.257	0.068	-0.263	
<b>5.7</b>	0.114	0.122	0.097	-0.153	0.046	0.202

Tabela 32 - Matriz fatorial inicial para a Seção 5.

<b>Variable</b>	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>	<b>Factor3</b>	<b>Factor4</b>	<b>Factor5</b>	<b>Factor6</b>	<b>Factor7</b>
<b>5.1</b>	0.871	-0.302	0.118	-0.036	-0.094	-0.200	0.294
<b>5.2</b>	0.540	0.570	-0.301	-0.183	-0.200	0.466	0.047
<b>5.3</b>	0.375	0.425	0.327	0.714	0.236	0.074	-0.005
<b>5.4</b>	0.437	0.329	-0.655	-0.122	0.425	-0.266	-0.069
<b>5.5</b>	0.823	-0.414	0.113	0.013	-0.222	-0.029	-0.298
<b>5.6</b>	-0.074	0.813	0.170	-0.04	-0.415	-0.36	-0.033
<b>5.7</b>	0.197	0.266	0.723	-0.497	0.343	0.042	-0.034
<b>Variance</b>	2.1031	1.6074	1.206	0.8086	0.6241	0.4661	0.1847
<b>% Var</b>	0.300	0.230	0.172	0.116	0.089	0.067	0.026

A Figura 21 apresenta o processo de extração de fatores para a seção 5, seguindo-se os passos descritos na seção 3.2.3, de acordo com as matrizes dos itens a ao f, em que:

- a) Matriz com a extração de 3 fatores – variável 5.3 com baixa comunalidade;
- b) Matriz após exclusão da variável 5.3 – cargas cruzadas;
- c) Matriz após exclusão da variável e rotação varimax – cargas cruzadas na variável 5.6;
- d) Matriz não rotacionada após exclusão da variável 5.3 e 5.6 – cargas cruzadas;
- e) Matriz após exclusão da variável 5.3 e 5.6 e rotação Varimax;
- f) Distribuição dos 3 fatores resultantes, após exclusão de 2 variáveis.

Em destaque estão as cargas fatoriais significativas.

<b>a) Sem rotação</b>					<b>b) Sem rotação e sem 5.3</b>					<b>c) Varimax sem 5.3</b>				
Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Commun.	Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Commun.	Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Commun.
5.1	0.871	-0.302	0.118	0.863	5.1	0.903	-0.178	0.141	0.867	5.1	0.912	0.17	0.077	0.867
5.2	0.54	0.57	-0.301	0.707	5.2	0.466	0.718	-0.107	0.744	5.2	0.133	0.822	0.224	0.744
5.3	0.375	0.425	0.327	0.429	5.4	0.416	0.521	-0.527	0.722	5.4	0.098	0.809	-0.241	0.722
5.4	0.437	0.329	-0.655	0.729	5.5	0.874	-0.295	0.108	0.863	5.5	0.926	0.076	-0.004	0.863
5.5	0.823	-0.414	0.113	0.861	5.6	-0.212	0.753	0.315	0.711	5.6	-0.434	0.402	0.601	0.711
5.6	-0.074	0.813	0.17	0.695	5.7	0.134	0.2	0.856	0.791	5.7	0.176	-0.125	0.863	0.791
5.7	0.197	0.266	0.723	0.633										
Variance	2.1031	1.6074	1.206	4.9164	Variance	2.0331	1.5124	1.1536	4.6991	Variance	1.936	1.5429	1.2202	4.6991
% Var	0.3	0.23	0.172	0.702	% Var	0.339	0.252	0.192	0.783	% Var	0.323	0.257	0.203	0.783
<b>d) Sem rotação e sem 5.3 e 5.6</b>					<b>e) Varimax sem 5.3 e 5.6</b>					<b>f) Fatores resultantes</b>				
Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Commun.	Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Commun.	Variable	Factor1	Factor2	Factor3	
5.1	0.882	0.312	0.144	0.896	5.1	0.931	-0.15	-0.086	0.896	5.1	0.931			
5.2	0.545	-0.582	-0.327	0.742	5.2	0.12	-0.835	-0.177	0.742	5.5	0.95			
5.4	0.456	-0.741	-0.003	0.757	5.4	0.065	-0.846	0.19	0.757	5.2		-0.835		
5.5	0.838	0.377	0.247	0.906	5.5	0.95	-0.049	-0.006	0.906	5.4		-0.846		
5.7	0.173	0.369	-0.895	0.967	5.7	0.061	0.011	-0.981	0.967	5.7			-0.981	
Variance	2.0147	1.2631	0.9891	4.2669	Variance	1.7913	1.4379	1.0377	4.2669					
% Var	0.403	0.253	0.198	0.853	% Var	0.358	0.288	0.208	0.853					

Figura 21 - Processo de extração de fatores para a Seção 5.

## APÊNDICE B

Tabela 33 - Matriz de correlação entre os índices por seção.

	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19	I20	I21
I5	1.0000																
I6	0.2889	1.0000															
I7	0.0334	0.2609	1.0000														
I8	-0.2595	0.1288	0.1520	1.0000													
I9	0.1750	0.2744	-0.0001	0.0281	1.0000												
I10	0.2504	0.4495	0.0521	0.2733	0.1706	1.0000											
I11	-0.1432	0.0694	0.1664	0.5563	-0.0678	0.1737	1.0000										
I12	0.1362	0.1901	-0.0386	0.3453	0.3320	0.2688	0.2353	1.0000									
I13	-0.0412	-0.0538	0.1336	-0.0372	0.1901	-0.2273	0.2191	0.2500	1.0000								
I14	0.1550	0.1437	0.1195	-0.3537	0.0283	-0.0065	-0.0870	-0.3317	-0.1206	1.0000							
I15	0.1291	0.2846	0.1500	-0.0202	0.1729	0.1602	0.0614	-0.0856	0.1245	0.2146	1.0000						
I16	0.2169	0.4136	0.1926	0.3142	0.1241	0.1506	0.2013	0.2529	-0.0373	-0.0145	-0.1099	1.0000					
I17	0.0943	0.3794	0.0033	0.0264	0.3148	0.1716	0.0913	0.4411	0.0345	0.1590	0.0954	0.3250	1.0000				
I18	0.1428	0.0423	0.1394	0.0537	0.0006	0.2274	0.2087	0.2680	-0.1094	-0.2178	-0.0803	0.1733	-0.1454	1.0000			
I19	0.3457	0.4475	0.1013	0.0534	0.3860	0.1260	0.0479	0.4270	0.4173	-0.0819	0.0476	0.3538	0.2376	0.0977	1.0000		
I20	0.0644	0.3931	0.4059	0.3122	0.1566	0.2586	0.2578	0.2430	-0.0776	-0.1465	-0.0422	0.3687	0.0586	0.4144	0.2606	1.0000	
I21	0.2305	0.4975	0.5457	0.2835	-0.1172	0.2487	0.2101	0.0439	-0.1130	-0.0949	0.1114	0.3538	-0.0530	0.2805	0.2576	0.6570	1.0000

## APÊNDICE C

Tabela 34 - Parâmetros de referência para os eixos da sustentabilidade por país.

<b>PAÍS</b>	<b>CIDADE</b>	<b>ANO</b>	<b>GNI <i>per</i><sup>1</sup> <i>capita</i> (US\$)</b>	<b>IDH<sup>2</sup></b>	<b>EPI<sup>3</sup></b>
<b>Arábia Saudita</b>	Riyadh	2016	21610	0.857	44
<b>Argentina</b>	Buenos Aires	2016	12220	0.828	52.2
<b>Austrália</b>	Melbourne LGA	2016	54140	0.935	74.9
<b>Bélgica</b>	Aalter	2017	42750	0.917	73.3
<b>Canadá</b>	Toronto	2015	47570	0.917	71
<b>Croácia</b>	Zagreb	2016	12380	0.832	63.1
<b>Emirados</b>	Dubai	2015	42860	0.860	55.6
<b>Espanha</b>	Barcelona	2014	29130	0.880	74.3
<b>Estados Unidos</b>	Los Angeles	2017	59060	0.919	69.3
<b>Filipinas</b>	Makati	2015	3380	0.702	38.4
<b>Geórgia</b>	Tbilisi	2017	4040	0.783	41.3
<b>Holanda</b>	Amsterdam	2016	46900	0.929	75.3
<b>Inglaterra</b>	London	2015	44290	0.916	81.3
<b>Jordânia</b>	Amman	2015	3900	0.721	53.4
<b>México</b>	Guadalajara	2016	9400	0.764	52.6
<b>Noruega</b>	Oslo	2016	81810	0.951	77.7
<b>Polônia</b>	Kielce	2017	12740	0.868	60.9
<b>Portugal</b>	Sintra	2017	20050	0.848	67
<b>Taiwan</b>	Taipei	2017	25704	0.907	57.2

Fonte: WORLD BANK (2020)<sup>1</sup>. ONU (2020)<sup>2</sup>. WENDLING et al. (2020)<sup>3</sup>. Adaptado pela autora.

## APÊNDICE D

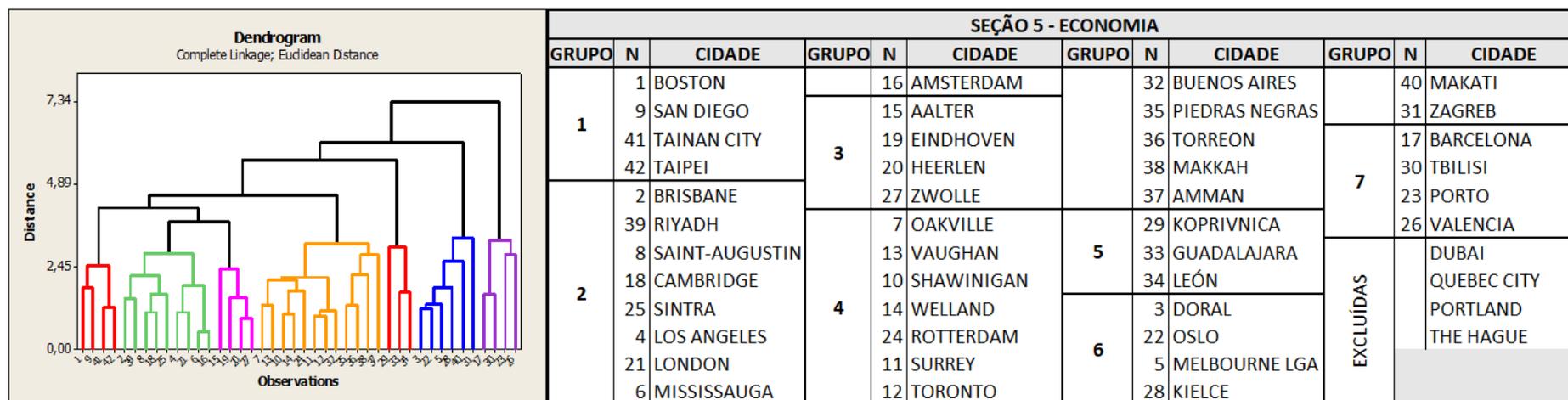


Figura 22 - Agrupamentos da Seção 5.

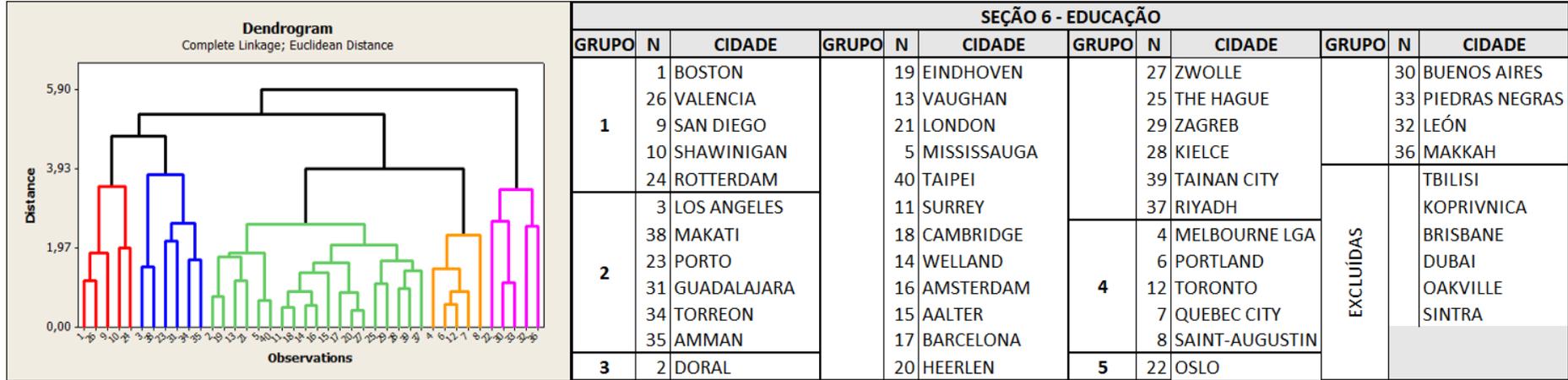


Figura 23 - Agrupamentos da Seção 6.



Figura 24 - Agrupamentos da Seção 7.



Figura 25 - Agrupamentos da Seção 8.



Figura 26 - Agrupamentos da Seção 9.



Figura 27 - Agrupamentos da Seção 10.



Figura 28 - Agrupamentos da Seção 11.

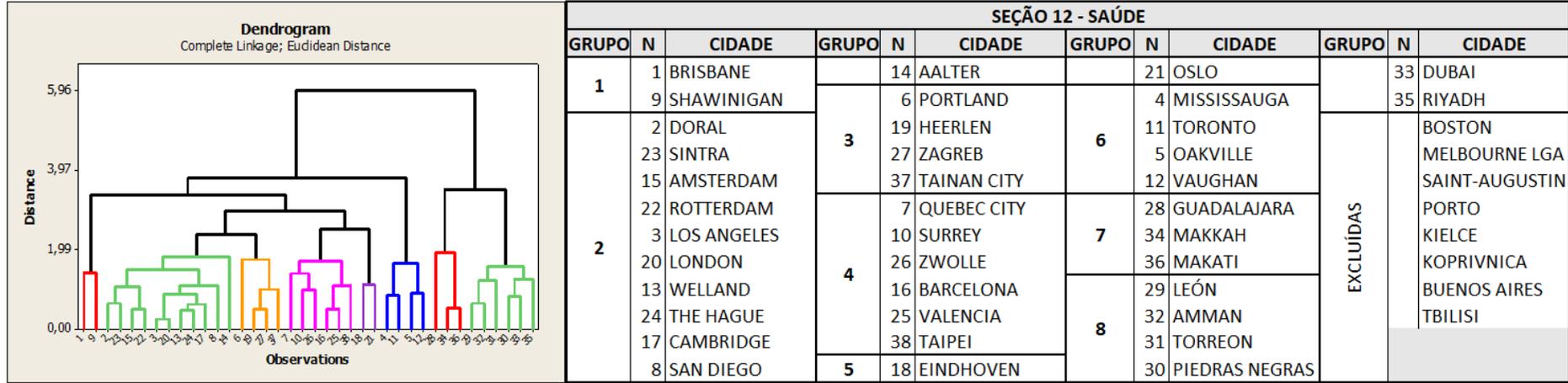


Figura 29 - Agrupamentos da Seção 12.

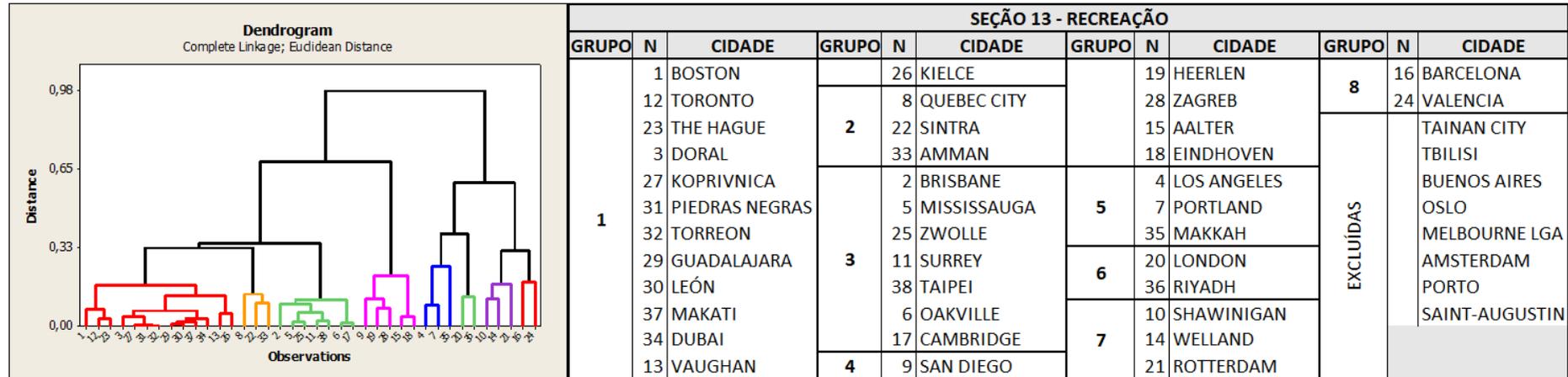


Figura 30 - Agrupamentos da Seção 13.

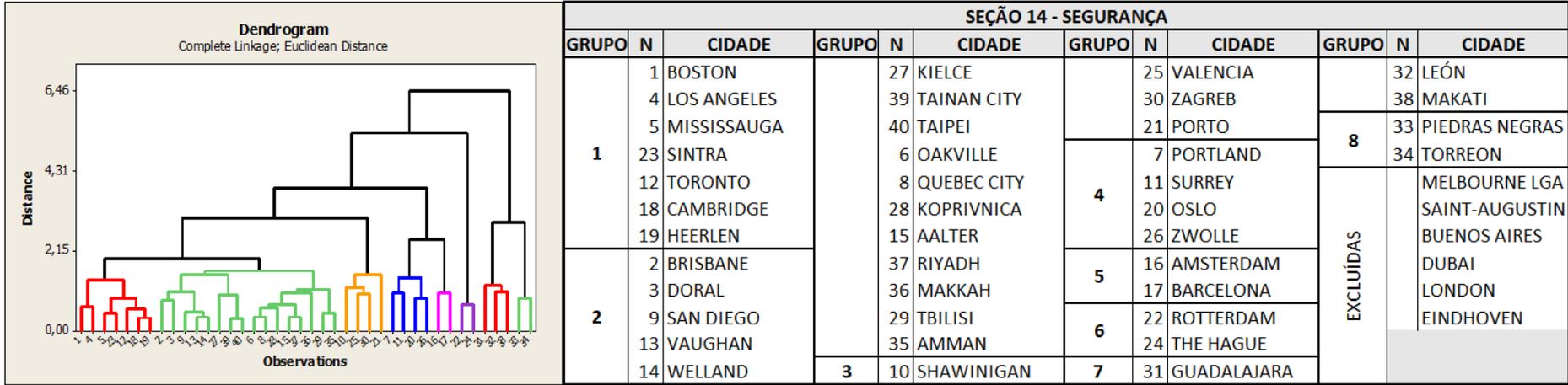


Figura 31 - Agrupamentos da Seção 14.

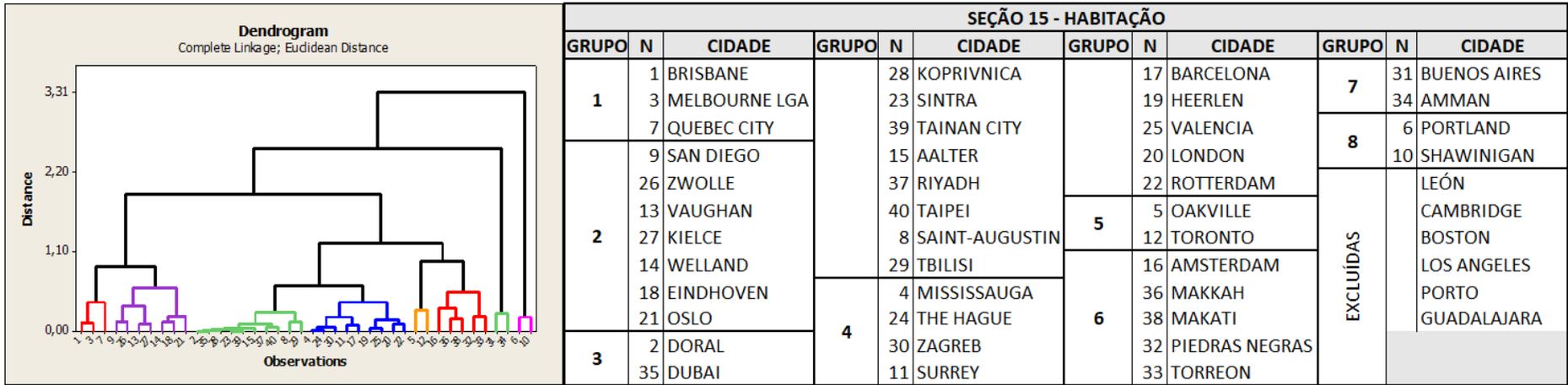


Figura 32 - Agrupamentos da Seção 15.

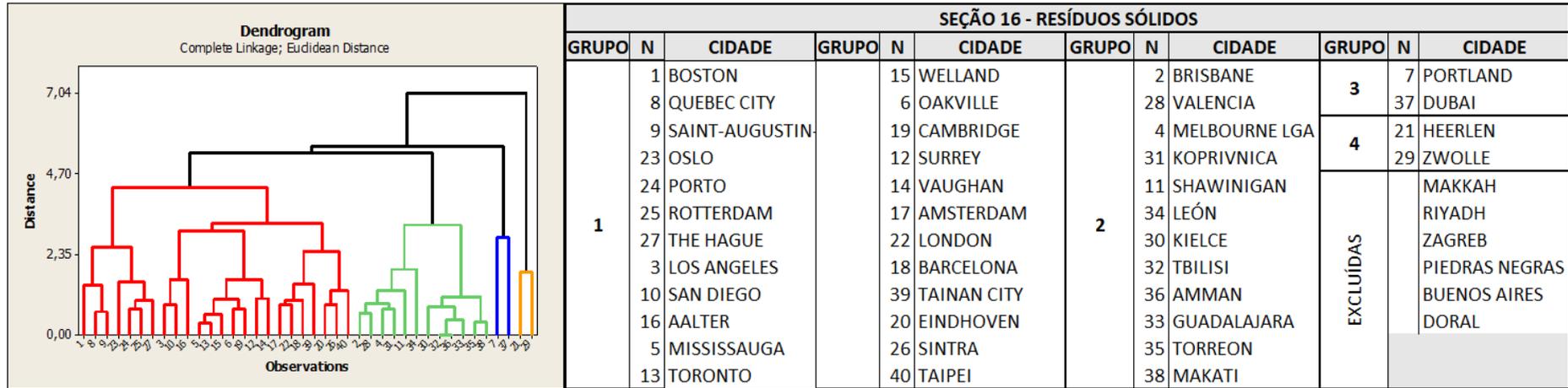


Figura 33 - Agrupamentos da Seção 16.

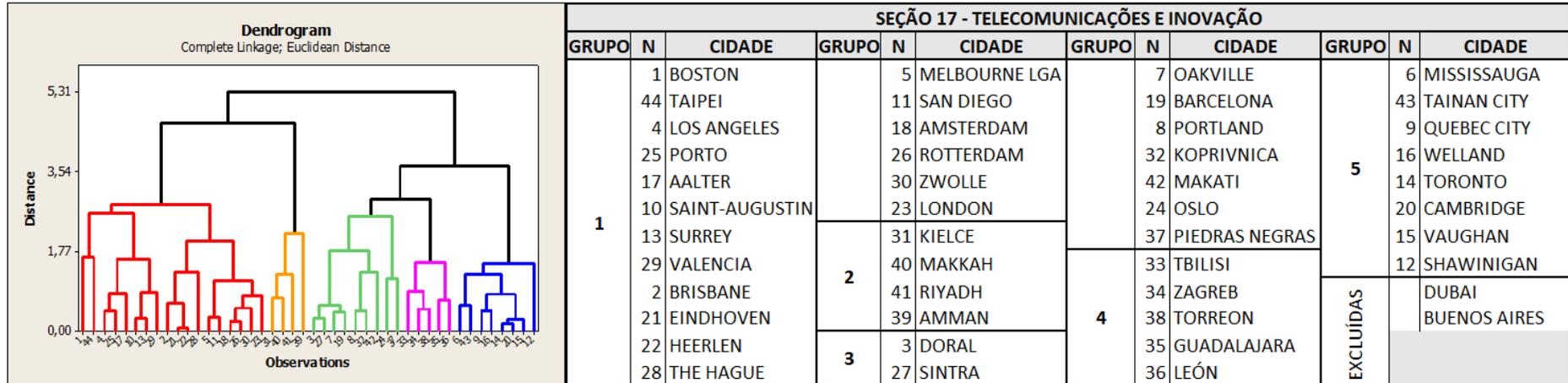


Figura 34 - Agrupamentos da Seção 17.



Figura 35 - Agrupamentos da Seção 18.



Figura 36 - Agrupamentos da Seção 19.

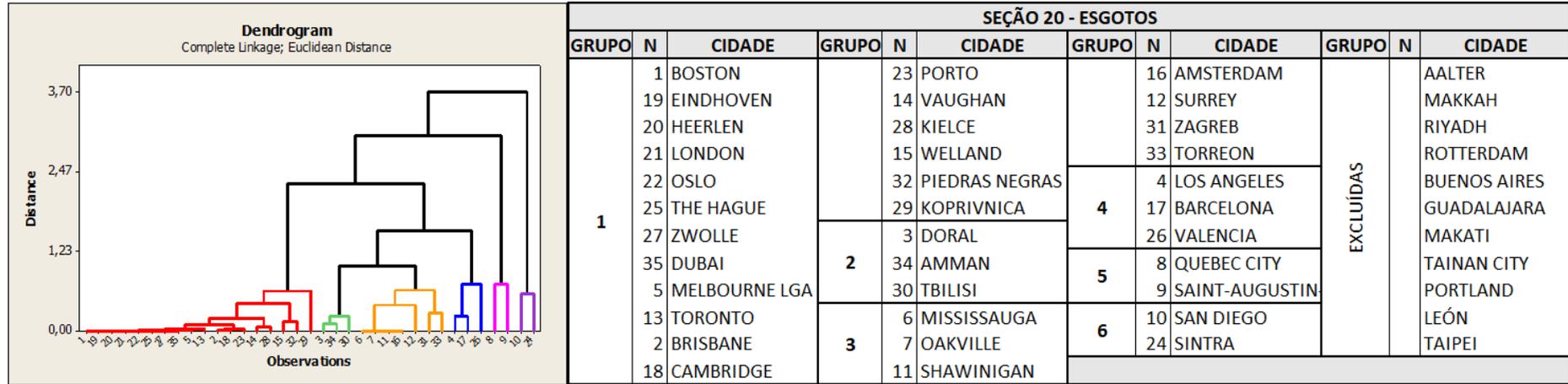


Figura 37 - Agrupamentos da Seção 20.

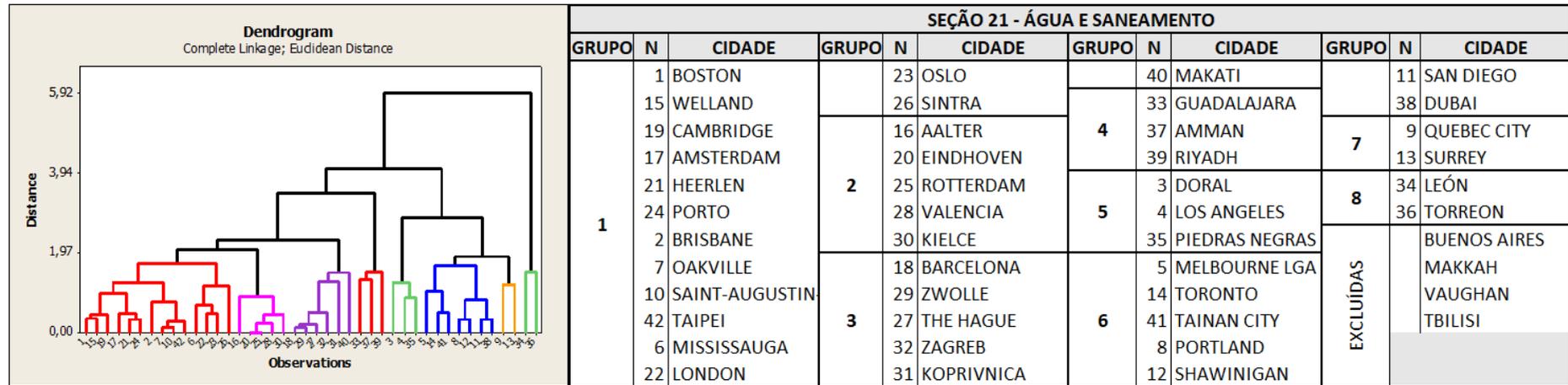


Figura 38 - Agrupamentos da Seção 21.