

## Modelo de Metrificação de Cidades Brasileiras

Bolsista Clarissa Correia Lima Loureiro (CTI) [cloureiro@cti.gov.br](mailto:cloureiro@cti.gov.br)

### Resumo

*Este documento apresenta o modelo de metrificação das cidades brasileiras. É um modelo inédito porque leva em consideração as características, que são diversas, plurais, e de países do Sul Global. A ponderação de cada um dos indicadores foi feita a partir de uma profunda pesquisa para cada um dos indicadores para escolher a prioridade de cada um. Foram desenvolvidas equações para cada um dos indicadores, foram feitas transformações de escalas para cada um deles, e foi desenvolvida uma análise estatística para cada um dos indicadores. O modelo de metrificação é composto pelo desenvolvimento de análise de dados aliada a técnicas de estatística, data mining, Big Data. Além de uma extensa pesquisa e análise de políticas públicas relacionadas a uma boa diversidade de indicadores.*

*Palavras-chave: Modelo de Metrificação, Modelo Estatístico, Cidades Inteligentes, Cidades do Sul Global.*

### 1. Introdução

Para entender o estado atual das cidades, com seus problemas, sua capacidade, e suas possibilidades de melhoria da qualidade de vida das pessoas que a habitam, assim como geração de renda de forma equânime, é preciso entender os dados. Para isto, é necessária uma tradução dos dados para haver uma efetiva informação sobre a cidade.

A estatística faz uma intermediação que nos fornece uma informação traduzida do dado, tradução feita pelos conceitos e métodos estatísticos.

A estatística é a parte da matemática aplicada que fornece métodos para a coleta, a organização, a descrição, a análise e a interpretação de dados quantitativos e a sua utilização para a tomada de decisão (CRESPO, 2009).

É importante entender como foram feitas as coletas dos dados, quais as variáveis envolvidas, se são dependentes de quais áreas, se são quantitativas ou qualitativas, seus tipos, para o entendimento da confiabilidade dos dados e se estes refletem a realidade das cidades.

Existem milhares de indicadores de cidades. Porém os dados dos indicadores precisam trazer informações que reflitam bem a realidade das cidades, e que sejam confiáveis.

A União das Nações Unidas, desenvolveu os 17 objetivos do milênio, e com ele diversos temas para melhorias nas cidades e no mundo. Esses objetivos são divididos em temas, com suas respectivas áreas. Para possibilitar a medição das condições das cidades e viabilizar um diagnóstico da realidade em que estas se encontram em cada um dos temas, foram divididas as informações, e para uma melhor organização, foram conhecidos alguns indicadores de cidades inteligentes.

Os indicadores de cidades inteligentes são diversos, provenientes de diversas fontes, com métricas diferentes no Brasil.

Neste artigo, é explicada a importância de um tratamento matemático e estatístico dos dados, com enfoque em outliers, das cidades brasileiras para o desenvolvimento de um modelo matemático e estatístico que fosse ideal para metrificar todas as dimensões do Desenvolvimento Sustentável do Modelo de Maturidade de Cidades Inteligentes do Brasil.

## **2. Metodologia**

Visando a construção de uma metrificação confiável e que refletisse a realidade das cidades, foram realizadas pesquisas, estudos e o desenvolvimento de um modelo matemático estatístico para a parte de metrificação do MMCISB.

Com o objetivo de desenvolver um bom modelo, foram feitas análises estatísticas dos dados secundários brasileiros, para que, individualmente, a cada um dos 80 indicadores, a métrica personalizada fosse criada e integrada a todo o modelo.

Primeiramente foram divididas as áreas em que o modelo matemático estatístico iria ser aplicado. Os indicadores foram escolhidos com critério rígido que levou em consideração a quantidade de cidades que possuíam dados, o modelo de maturidade do Internacional Telecommunications Union, ITU, (ITU, 2016) os objetivos do milênio, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODS, da ONU (ONU, 2015), normas da ISSO (ISO, 2018), Carta Brasileira de Cidades Inteligentes (Carta, 2020), entre outros critérios.

Das quatro dimensões do MMCISB, três dimensões foram escolhidas por se tratar de áreas em que os indicadores são provenientes de dados secundários, ou seja, dados abertos das cidades do Brasil. As três dimensões do desenvolvimento sustentável são: econômica, sociocultural e meio ambiente. Estas dimensões possuem seus tópicos, e indicadores.

### **2.1 Análise dos Indicadores**

Foi realizada uma cuidadosa e detalhada análise de 80 indicadores de dados secundários. A análise necessária para cada indicador é única e específica para aquele indicador. Os cálculos, os gráficos, o raciocínio, foram detalhadamente descritos e documentados em um relatório extenso, que é de uso restrito a equipe do laboratório Poli.Tic, um laboratório do CTI Renato Archer, especializado no fomento de políticas públicas e que também trabalha com tecnologias da informação e comunicação, para a melhoria da qualidade de vida das pessoas que moram no Brasil.

Para cada indicador foi feita uma detalhada e criteriosa análise dos dados com os seguintes itens:

- Análise estatística; Normalização; Transformação de Escala; Critérios para definição dos intervalos dos níveis; Peso Estatístico; Fórmula de contribuição do indicador para o modelo de maturidade; Relatório de aplicação do modelo e exemplos para Desenvolvedores; Regras e equações dos Outliers.

Para alguns indicadores foram elaboradas notas técnicas para explicar algumas referências e informações. As informações sobre os indicadores, a relação entre nota e qualidade de vida, a importância e relevância de cada indicador, estão explicados detalhadamente na metodologia do Modelo de Maturidade de Cidades Inteligentes do Brasil, MMCISB.

No documento mencionado acima, foram expostas todas as métricas para cada indicador, a contribuição da nota para cada tópico e dimensão. A integração das quatro dimensões foi feita e bem detalhada na metodologia do modelo MMCISB. A ordem de cada dimensão, com os respectivos tópicos foi seguida para dar sequência à metrificação dos indicadores de toda a área do Desenvolvimento Sustentável.

## **2.2 Modelos de avaliação de cidades inteligentes**

Um levantamento da literatura encontrou 53 (cinquenta e três) modelos de avaliação de cidades inteligentes. Cada modelo possui seus vieses e objetivos para observar as cidades, os quais foram categorizados como: a) conjuntos de indicadores, que medem diferentes aspectos da gestão de uma cidade; b) modelos de cidades inteligentes, utilizados como mapas de componentes da cidade, mostrando como estes últimos estão relacionados com alguns meios de avaliar o funcionamento de cada um deles ou as relações entre eles; c) índices compostos, que atribuem uma única medida a uma cidade com base em indicadores que medem suas diferentes dimensões; d) ferramentas de avaliação, nas quais se avaliam intervenções na cidade, bem como processos para sua realização (Backhouse, 2020).

Contudo, grande parte dos modelos de avaliação disponíveis na literatura científica é proveniente de países do Norte Global (Santos; Araújo; Baungarten, 2016), que não dão conta de analisar os problemas de países como o Brasil (Marchetti, Oliveira e Figueira, 2019), por exemplo. Há municípios brasileiros em que existem ainda infraestrutura e serviços urbanos insuficientes para atender toda a população local, à ausência de serviços primários e sustentáveis e aos problemas derivados de restrições ambientais econômicas, sociais e políticas, que são notáveis em algumas cidades latino-americanas, foram superados principalmente nas cidades do Norte Global ocidental. Há a necessidade de produzir metodologias de avaliação que sejam mais contextualizadas às realidades dos municípios nos quais serão empregadas.

Na mesma perspectiva, Schaffers et al. (2011) aponta que, os gestores municipais, ao implementarem soluções tecnológicas em seus municípios, devem customizá-las para atender às particularidades dos locais onde serão aplicadas. Do mesmo modo, Backhouse & Dahou (2020) ressaltam que há ambientes sociais e políticos que favorecem a implantação de determinada solução, porém há outros que impossibilitam tais implementações. Os autores utilizam como argumento a construção de aplicativos, por exemplo, durante a atual pandemia do corona vírus, “para rastrear o movimento de indivíduos com suspeita de infecção: em alguns países, esses aplicativos foram adotados rapidamente, enquanto em outros foram considerados uma ameaça à privacidade dos dados pessoais” (Backhouse & Dahou, 2020, p.82). Da mesma forma, Marchetti, Oliveira e Figueira (2019) consideram que aspectos ambientais, culturais e educacionais podem interferir e mesmo alterar os resultados esperados para as tecnologias instaladas. Dessa maneira, para os autores, se as cidades, sobretudo as da América Latina, se desenvolvem de maneira desigual, isso demanda respostas distintas e particulares no tocante ao seu desenvolvimento como cidades inteligentes.

O Modelo de Maturidade de Cidades Inteligentes e Sustentáveis da União Internacional de Telecomunicações, MMCISUIT, funciona como um arcabouço para que cada cidade possa elaborar seu próprio modelo de avaliação e definir seu caminho de transformação digital e desenvolvimento sustentável (ITU, 2019).

## 2.3 Método do Desvio Padrão para Detecção de Outliers

O método do desvio padrão chamado o método Standard Deviation (SD) ou desvio padrão livre, é um dos mais utilizados, tanto no meio acadêmico quanto em empresas que lidam com a área de análise de dados. Este método foi o escolhido para a detecção de outliers no modelo.

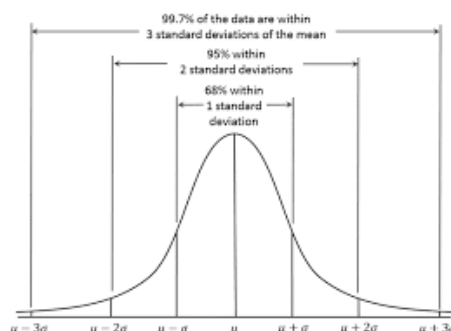


Figura 1 – Desvio Padrão em uma distribuição normal.  
Fonte: Journal of the Institute for Quality Assurance

68.3% dos valores serão +/- 1 S.D; 95.4% dos valores serão +/- 2 S.D; 99.7% dos valores serão +/- 3 S.D.

O método Standard Deviation (SD) ou desvio padrão livre, escolhido, se baseia na fórmula:

$$X \pm 3(SD)$$

Em que: X é a média dos resultados de cada indicador; SD o desvio padrão do respectivo indicador.

Os outliers são identificados se seus respectivos valores forem menores que o menor valor da fórmula, quando utilizado o sinal de subtração:

$$X - 3(SD)$$

Os outliers são identificados se seus respectivos valores forem maiores que o maior valor, quando utilizado o sinal de adição, definido pela fórmula:

$$X + 3(SD)$$

## 2.4 Etapas para o cálculo dos outliers

Para o cálculo dos outliers, podemos fazer por etapas com os dados, como em um algoritmo, ou sequência:

Encontrar a Média: média aritmética simples x

$$\text{Identificação da Variância: } \frac{(x_1-x)^2}{(n-1)} + \frac{(x_2-x)^2}{(n-1)} + \frac{(x_3-x)^2}{(n-1)} \dots + \frac{(x_n-x)^2}{(n-1)}$$

$$\text{Identificação do Desvio Padrão: } \sqrt{\text{var}}$$

$$\text{Aplicação da fórmula: } X \pm 3(SD)$$

## 2.5 Os critérios dos indicadores para seleção do cálculo dos outliers

Para cada indicador, foi feita uma análise estatística em que foram calculadas as médias, medianas, primeiro quartil, terceiro quartil, desvio padrão, variância, para a normalização dos

valores dos indicadores relacionados a cada nível de maturidade dos indicadores, aplicando o método boxplot.

Além das análises anteriores, foi utilizado o método do Standard Deviation (SD) ou Desvio Padrão livre, para aumentar a confiabilidade dos dados, com o objetivo de informar as cidades sobre resultados muito fora da normalidade das médias dos dados brasileiros, recomendando as cidades a tomar as devidas ações quando necessário.

Os indicadores que passarão pelo método Standard Deviation (SD) ou Desvio Padrão livre, dentro da análise de dados do modelo, serão indicadores com resultados de dados numéricos, e que atendam os seguintes critérios:

- Os indicadores não poderão ser binários, pois possuem apenas 2 opções de respostas;
- Os indicadores não poderão ter respostas com somatório de pontuação de alternativas ou de múltipla escolha. Por exemplo, os indicadores da base MUNIC;
- Os indicadores não poderão ser de fonte primária, pois se trata de informações que ainda não foram adquiridas no sistema, a sua maioria de indicadores é de somatório de pontuação das alternativas, ou de múltipla escolha, ou binários, por isso não se aplicam ao cálculo, de acordo com os critérios acima.

### 3. Conclusão:

Neste trabalho foi explicada a importância de um tratamento matemático e estatístico dos dados, com enfoque em outliers, das cidades brasileiras para o desenvolvimento de um modelo matemático e estatístico ideal para metrificar todas as dimensões do Desenvolvimento Sustentável do Modelo de Maturidade de Cidades Inteligentes do Brasil, MMCISB, (CTI/poli.TIC, 2020)

Todos os cálculos, análises, e tratamento dos dados do modelo matemático estatístico foi posto em prática em todos os indicadores das dimensões do Desenvolvimento Sustentável do MMCISB. O modelo deu certo, foram aplicadas todas as fórmulas e análises de cada um dos indicadores, e foi possível aos desenvolvedores de plataforma entenderem como aplicar nos algoritmos para os trabalhos futuros, que é a implementação em plataforma para o uso de todas as cidades brasileiras.

### Referências

**ABRAHAM, B. & LEDOLTER, J.** *Statistical Methods for Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 1983.

**AFONSO R.A, et al.** *Brazilian Smart Cities: Using a Maturity Model to Measure and Compare Inequality in Cities*. BR- SCMM: Modelo Brasileiro para Maturidade Brasileira (2015). Available: [https://www.researchgate.net/publication/280162450\\_Brazilian\\_Smart\\_Cities\\_Using\\_a\\_Maturity\\_Model\\_to\\_Measure\\_and\\_Compare\\_Inequality\\_in\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/280162450_Brazilian_Smart_Cities_Using_a_Maturity_Model_to_Measure_and_Compare_Inequality_in_Cities)

**BELLEN H.M.Van.** *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. FGV editora, 2005.

**Carta Brasileira para Cidades Inteligentes**. Available: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes>. 2020.

**Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer** / Laboratório de Instrumentos de Políticas para Tecnologia da Informação e Comunicação (CTI/poli.TIC), (2020). *Modelo de Maturidade de Cidades Inteligentes Sustentáveis Brasileiras*. Campinas, SP: CTI Renato Archer.

**CRESPO A. A.** *ESTATÍSTICA FÁCIL*. 19ª edição Atualizada f1. Editora Saraiva, São Paulo, 2009.

**ISO37120:2018(en)**. *Sustainable Cities and Communities-Indicators for Urban Services and Quality of Life*. Genebra, SWZ. Available: <https://www.iso.org/standard/68498.html>. 2018.

**ISO37122:2019(en)**. *Sustainable Cities and Communities-Indicators for Smart Cities*. Genebra, SWZ. Available: <https://www.iso.org/standard/69050.html>. 2019.

**ISO 37123:2019(en)**. *Sustainable Cities and Communities – Indicators for Resilient Cities*. Genebra, SWZ. Available: <https://www.iso.org/standard/70428.html>. 2019.

**ITU – International Telecommunication Union. ITU-T Y.4904: Smart sustainable cities maturity model**. ITU. Genebra, 2019. Available : <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4904-201912-I/en>

**ITU-T Y.4906: Assessment framework for digital transformation of sectors in smart cities**. ITU. Genebra, 2019. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4906-201907-P>

**ITU-T Y.4901/L.1601: Key performance indicators related to the use of information and communication technology in smart sustainable cities**. ITU. Genebra, 2016. Available: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=12661>

**ITU-T Y.4902/L.1602: Key performance indicators related to the sustainability impacts of information and communication technology in smart sustainable cities**. ITU. Genebra, 2016. Available: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=12662>

**ITU-T Y.4903/L.1603: Key performance indicators for smart sustainable cities to assess the achievement of sustainable development goals**. ITU. Genebra, 2016. Available: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=12884&lang=en>

**ONU SDG. 17 Goals to Transform Our World**. Available <https://nacoesunidas.org/pos2015/>, United Nations, (2015).

**P.M. Januzzi**. *Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas Sociais no Brasil*. (2005). Available [https://static.fecam.net.br/uploads/28/arquivos/4054\\_JANUZZI\\_P\\_Construcao\\_Indicadores\\_Sociais.pdf](https://static.fecam.net.br/uploads/28/arquivos/4054_JANUZZI_P_Construcao_Indicadores_Sociais.pdf)

**ROSNER, B.** *Fundamentals of biostatistics*. 6. ed. [s.l.] Duxbury Press, 2006.

**UCHOA C.E.** *Elaboração de Indicadores de Desempenho Institucional* – Brasília, ENAP/ 2013.