



SMART NORDESTE: Análise de Condições Necessárias à Maturidade de Cidades Inteligentes Segundo o Modelo Brasileiro

Allyne Sousa Gomes

Universidade Federal do Piauí/allynegomess@gmail.com

Thiago Assunção de Moraes

Universidade Estadual do Piauí/thiagoassuncao@pcs.uespi.br

Nilman do Nascimento Silva Leda

Universidade Estadual do Piauí/nilmanleda@pcs.uespi.br

Palavras-chave: Cidades inteligentes; Maturidade Urbana; Análise de Condições Necessárias; Gestão Pública.

1. Contextualização

As cidades contemporâneas enfrentam desafios como o crescimento populacional acelerado, a urbanização desordenada, a má gestão de recursos e a insuficiência de infraestrutura urbana. Esses fatores contribuem para o agravamento de problemas ambientais, a sobrecarga de serviços públicos, o enfraquecimento das economias locais e o surgimento de tensões sociais. Como aponta Angel (2023), no Sul Global (onde ocorre a maior parte do crescimento urbano) a expansão das cidades de forma desordenada compromete a produtividade, a inclusão social, a resiliência e a sustentabilidade urbana. De modo complementar, Pandey et al. (2025) evidenciam que as desigualdades de infraestrutura estão intrinsecamente associadas ao processo de urbanização, sobretudo nas regiões mais vulneráveis, acentuando desigualdades sociais e fragilizando os sistemas urbanos. Nesse cenário, o problema central desta pesquisa consiste em compreender quais são as condições necessárias para que municípios brasileiros da região Nordeste, avancem em seu processo de maturidade rumo a se tornarem cidades inteligentes, superando os obstáculos estruturais que limitam seu desenvolvimento.

Nesse contexto, muitas cidades recorrem à transformação digital como estratégia para lidar com os desafios urbanos, avançando no processo de se tornarem “cidades inteligentes”. Por exemplo, 112 cidades europeias foram selecionadas pela União Europeia para alcançar neutralidade de carbono até 2030, como parte da missão “100 Climate-Neutral and Smart Cities”, sendo que 33 dessas já tiveram seus planos oficiais aprovados, incluindo Lyon, Sevilha, Malmö, Lisboa e Florença (Reuters, 2024). Além disso, mais de 500 cidades devem estar utilizando tecnologia de “gêmeo digital” (digital twin) até 2025, aplicadas em monitoramento ambiental e gestão urbana integrada (Reuters, 2024).

Apesar dos avanços, a adoção plena do conceito de cidade inteligente ainda enfrenta obstáculos significativos. Barreiras técnicas, sociais, econômicas e estratégicas limitam a efetividade das iniciativas implementadas, exigindo planejamento cuidadoso e políticas



públicas integradas (Aljower et al., 2023). A complexidade das cidades modernas, caracterizadas pela diversidade cultural, econômica e territorial, dificulta a transformação digital e a criação de soluções tecnológicas eficazes e inclusivas (Batagin; Lopes, 2016).

No Brasil, o debate sobre cidades inteligentes permeia as iniciativas já em curso em diferentes estados e municípios. As disparidades regionais, os déficits em infraestrutura básica e as limitações orçamentárias configuram entraves significativos à implementação desse modelo urbano (Brasil, 2021; IPEA, 2023). Nesse sentido, ferramentas de avaliação como o Modelo Brasileiro de Maturidade para Cidades Inteligentes Sustentáveis (MMCISB) representam um avanço importante, pois possibilitam mensurar a evolução das cidades em múltiplas dimensões (Econômica, Sociocultural, Ambiental e Institucional) e identificar gargalos que limitam sua transformação (Brasil, 2021).

Apesar do crescente interesse pelas cidades inteligentes, ainda há escassez de estudos que apliquem o MMCISB em municípios nordestinos de médio porte. A literatura privilegia grandes capitais ou estudos baseados em *frameworks* internacionais (Silva; Barbosa, 2022). Pouco se investiga, portanto, como capitais e cidades polo do Nordeste, em contextos marcados por restrições fiscais e estruturais, podem avançar em direção à inteligência urbana. Isso se torna ainda mais relevante considerando que a região concentra 36% da população brasileira, mas responde por apenas 18% do PIB nacional (IPEA, 2023).

Diante dessa lacuna, o objetivo geral da pesquisa é analisar a maturidade urbana de 25 municípios do nordeste, no período de 2020 a 2024, com base no Modelo Brasileiro aplicando a NCA (*Necessary Condition Analysis*) para identificar gargalos críticos e níveis de evolução possíveis. Para alcançar esse propósito, os objetivos específicos são: (i) selecionar e organizar 20 indicadores distribuídos nas quatro dimensões do modelo; (ii) analisar as condições necessárias para o alcance de diferentes níveis de maturidade de uma cidade inteligente; (iii) estabelecer os níveis de condições indispensáveis ao avanço da maturidade urbana e à formulação de políticas públicas adaptadas às realidades locais, respeitando as particularidades institucionais e socioeconômicas de cada município.

A pesquisa é relevante porque aplica, pela primeira vez em larga escala no Nordeste, o MMCISB em conjunto com a NCA, oferecendo um diagnóstico contextualizado e prescritivo sobre a maturidade urbana regional (MCTI, 2021). No campo acadêmico, contribui ao preencher a lacuna de estudos que tratam da aplicação de modelos nacionais em cidades médias e capitais fora do eixo Sul-Sudeste (Albino, Berardi e Dangelico, 2015), além de introduzir a NCA como abordagem inovadora em gestão pública urbana (Dul, 2016; Vis; Dul, 2018). No campo prático, gera subsídios para gestores municipais ao indicar condições mínimas indispensáveis para o avanço da maturidade inteligente, orientando políticas de inovação, sustentabilidade e governança. Por fim, no campo político, reforça a relevância da Agenda 2030 da ONU (ODS 11), ao alinhar diagnóstico científico com a formulação de estratégias públicas voltadas para cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

2. Síntese do suporte teórico a ser adotado

Este estudo ancora-se na Teoria Contingencial, que defende a adaptação das estratégias organizacionais às condições ambientais e institucionais específicas (Donaldson,



2001), e na Teoria dos Sistemas, que permite compreender as cidades como sistemas complexos e interdependentes (Katz; Kahn, 1978). Também dialoga com a literatura sobre Governança em Redes (Klijn; Koppenjan, 2016), que reforça a importância da coordenação interinstitucional, e com estudos sobre inovação no setor público (Fernandes; Moreira, 2019). Essas teorias fornecem suporte para analisar as cidades inteligentes não apenas como resultado de avanços tecnológicos, mas como processos integrados que dependem de fatores institucionais, sociais e de gestão pública.

A Teoria Contingencial sustenta, por meio de Donaldson (2001), que não há um único modelo de gestão ou planejamento urbano que sirva de forma universal, sendo necessário adaptar estratégias às características específicas de cada cidade, como porte, capacidade institucional e contexto socioeconômico. Essa abordagem é especialmente relevante na análise do nível de maturidade de municípios como Teresina, Parnaíba e Picos, cujas realidades estruturais e institucionais variam significativamente.

Nesse sentido, Katz e Kahn (1978) ao abordarem a Teoria de Sistemas, complementam essa lógica ao afirmarem que a teoria dos sistemas está basicamente preocupada com problemas de relacionamentos, de estrutura e de interdependência, em vez de se concentrar nos atributos constantes dos objetos. Mas os sistemas vivos, sejam organismos biológicos ou organizações sociais, são agudamente dependentes de seu ambiente externo e, portanto, devem ser concebidos como sistemas abertos (Katz; Kahn, 1978).

3. Descrição preliminar dos procedimentos metodológicos a serem adotados

A pesquisa utilizará dados secundários, apoiada no MMCISB (2021) e na técnica de Análise de Condições Necessárias. O método NCA, proposto por Dul (2016) e consolidado em estudos de ciências sociais aplicadas (Dul; Van der Valk; Veen, 2020), identifica condições necessárias, mas não suficientes, para que um determinado resultado ocorra. A lógica é não compensatória: se uma condição essencial não atinge o nível mínimo requerido, o resultado desejado não pode ser alcançado, independentemente dos demais fatores (Vis; Dul, 2018).

Quanto aos procedimentos de coleta, os dados serão acessados em bases secundárias públicas e oficiais, tais como IBGE, SNIS, INEP, DATASUS e Tesouro Nacional, de acordo com os indicadores previstos no MMCISB. Esses dados serão extraídos diretamente dos portais institucionais, em formato aberto (planilhas CSV), garantindo transparência e reprodutibilidade. Após a coleta, os arquivos serão armazenados em repositório digital próprio, organizado por município e por dimensão do modelo (econômica, sociocultural, ambiental e institucional), com versionamento para preservar a integridade das informações.

O tratamento dos dados envolverá etapas rigorosas de verificação da consistência e qualidade das informações, incluindo a identificação e eliminação de inconsistências, duplicidades e dados ausentes que poderiam comprometer a análise. Para viabilizar a comparação entre indicadores com diferentes unidades de medida e escalas, serão adotadas técnicas de normalização e padronização, assegurando que todos os dados sejam convertidos para uma escala comum e compatível.



O modelo do MCTI está estruturado em quatro dimensões (Econômica, Sociocultural, Meio Ambiente e Capacidades Institucionais da Gestão Pública Municipal), permitindo uma avaliação abrangente da adoção de práticas sustentáveis, inovadoras e integradas à realidade brasileira no contexto urbano (Klij; Koppenjan, 2016). Cada dimensão expressa uma lógica evolutiva da maturidade urbana, oferecendo fundamentos para compreender como os municípios incorporam práticas voltadas à sustentabilidade, inovação, desenvolvimento econômico e fortalecimento institucional (Nam; Pardo, 2011).

O tratamento envolverá a padronização das variáveis conforme as definições do MMCISB, a verificação de consistência dos dados (checagem de valores ausentes, discrepantes ou inconsistentes) e a normalização estatística para permitir comparações entre municípios. Em seguida, os indicadores serão organizados em matrizes de dados compatíveis com a aplicação da NCA, de modo a identificar condições necessárias para o avanço da maturidade urbana. Todo o processo seguirá protocolos de rastreabilidade, garantindo a replicabilidade dos resultados.

A amostra da pesquisa contemplará 25 municípios do Nordeste brasileiro, abrangendo todas as capitais estaduais e cidades polo regionais selecionadas com base em sua centralidade econômica, sociocultural, ambiental e institucional, conforme critérios estabelecidos pelo Modelo Brasileiro de Maturidade para Cidades Inteligentes Sustentáveis (MMCISB). A escolha desses municípios buscou assegurar representatividade territorial e diversidade de trajetórias urbanas, contemplando desde metrópoles consolidadas, como Salvador, Recife e Fortaleza, até cidades médias de importância estratégica, como Juazeiro do Norte, Feira de Santana e Mossoró.

Essa seleção resultou em um conjunto de 25 municípios $\times$ 5 anos (2020 – 2024) = 125 casos cidade-ano, o que garante robustez estatística para a aplicação da NCA, especialmente nos testes de permutação e na elaboração das *bottleneck tables*, ou tabela de gargalos, que indica, para diferentes metas de resultado (Y), os valores mínimos requeridos de cada condição (X). Essa tabela permite identificar os limites não-compensatórios que cada município deve superar para tornar possível a elevação da maturidade urbana. Diferentemente de técnicas tradicionais que apontam fatores suficientes, a *bottleneck table* mostra os requisitos mínimos indispensáveis, fornecendo um roteiro prescritivo de prioridades para os gestores públicos.

Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa fundamentam-se na aplicação da Análise de Condições Necessárias (NCA) aos indicadores do Modelo Brasileiro de Maturidade para Cidades Inteligentes Sustentáveis (MMCISB), no período de 2020 a 2024. Inicialmente define-se o resultado (Y) como o nível de maturidade de cada município, obtido a partir da agregação normalizada dos 20 indicadores que compõem o modelo. As condições (X) serão estabelecidas a partir desses indicadores e dimensões do MMCISB, considerados potenciais fatores necessários para que os municípios atinjam determinados patamares de maturidade urbana.

Na sequência, para cada relação entre condição (X) e resultado (Y), serão traçadas as ceiling lines (CE-FDH e CR-FDH), que delimitam os valores mínimos exigidos dos indicadores para possibilitar diferentes níveis de maturidade. Em seguida, será calculado o tamanho do



efeito (d), parâmetro que mede a importância de cada condição, interpretado segundo a literatura ($d \geq 0,1$ = pequeno; $d \geq 0,3$ = médio; $d \geq 0,5$ = grande) (Dul, 2016). Para aferir a robustez dos resultados, serão aplicados testes de significância por permutação (5.000 repetições), assegurando maior confiabilidade estatística (Dul, 2016). Por fim, analisaremos as *bottleneck tables*, ou tabelas de gargalos, que indicam os valores mínimos necessários de cada indicador para metas de maturidade predefinidas (60%, 70%, 80% e 90%), fornecendo um roteiro prescritivo de prioridades para o avanço da maturidade das cidades analisadas (Vis; Dul, 2018).

A aplicação da NCA possibilitará verificar quais indicadores funcionam como condições necessárias para que cada município atinja patamares de maturidade urbana (60%, 70%, 80% e 90%), de acordo com o MMCISB (MCTI, 2021). Dessa forma, o enfoque é prescritivo e voltado à gestão pública, identificando os gargalos que impedem a elevação de cada município em direção a níveis mais avançados de maturidade, e não estabelecendo comparações hierárquicas ou competitivas entre as cidades analisadas (Dul, 2016; Vis; Dul, 2018).

4. Resultados Esperados

A aplicação da NCA permitirá examinar quais variáveis, dentre as quatro dimensões do MMCISB (Econômica, Sociocultural, Ambiental e Capacidades Institucionais) configuram condições necessárias para o avanço da maturidade municipal. Diferentemente das abordagens tradicionais baseadas em correlação média, a NCA identifica fatores cuja ausência impõe limites objetivos ao desempenho observado.

Espera-se que a análise evidencie a existência de fatores estruturais mínimos relacionados à governança, à capacidade fiscal, à inclusão digital e à infraestrutura básica, considerando as características históricas e institucionais da região. No entanto, a identificação da intensidade dos efeitos de condição necessária (d) dependerá da rodagem empírica e da verificação estatística dos envelopes superiores dos dados.

A descrição detalhada dos resultados será apresentada a partir da mensuração dos efeitos de condição necessária, permitindo discutir, com base empírica, quais dimensões exercem maior influência estrutural sobre o nível de maturidade inteligente nos municípios analisados.

5. Referências

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 3–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>.

ALJOWDER, T.; ALI, M.; KURNIA, S. Development of a maturity model for assessing smart cities: A focus area maturity model. **Smart Cities**, v. 6, n. 4, p. 99, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/smartcities6040099>.



ANGEL, S. Urban expansion: Theory, evidence and practice. **Buildings & Cities**, v. 4, n. 1, p. 124–138, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5334/bc.323>.

BATAGIN, E. R.; LOPES, A. A. R. Cidades inteligentes: Uma abordagem baseada em plataformas digitais. **Revista de Administração Pública**, v. 50, n. 6, p. 927–946, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/WFCtthJDVWnPXfB4JtNDhMP>.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Modelo de maturidade para cidades inteligentes – Versão 2/2021. Brasília, DF: MCTI, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cidadesinteligentes/inteligente_mmcisb_guia.pdf. Acesso em: 05 maio 2025.

DONALDSON, L. **The contingency theory of organizations**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2001.

DUL, J. Necessary condition analysis (NCA): Logic and methodology of “necessary but not sufficient” causality. **Organizational Research Methods**, v. 19, n. 1, p. 10–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428115584005>.

DUL, J.; VAN DER VALK, W.; VAN VEEN, E. Necessary condition analysis in business and management research. **Industrial Marketing Management**, v. 91, p. 252–264, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.01.009>.

FERNANDES, L. S.; MOREIRA, P. R. Segurança da informação em cidades inteligentes: Desafios e estratégias para a proteção de dados urbanos. **Revista Brasileira de Segurança da Informação**, v. 7, n. 2, p. 45–60, 2019.

IPEA – **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Desigualdades regionais e potencial de desenvolvimento: diagnóstico das regiões Norte e Nordeste. Brasília: IPEA, 2023. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>.

KATZ, D.; KAHN, R. L. **The social psychology of organizations**. 2. ed. New York: Wiley, 1978.

KLIJN, E. H.; KOPPENJAN, J. F. M. **Governance networks in the public sector**. London: Routledge, 2016.

NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times. **ACM**, p. 282–291, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Relatório de desenvolvimento sustentável 2018**. Nova Iorque: ONU, 2018. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>.

PANDEY, B. et al. Rising infrastructure inequalities accompany urbanization. **Nature Communications**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56789-0>.

REUTERS. **EU backs 650-billion-euro plan to help cities reach net zero by 2030**. 25 jun. 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/sustainability/sustainable-finance-reporting/eu-backs-650-billion-euro-plan-help-cities-reach-net-zero-by-2030-2024-06-25/>.

SILVA, L.; BARBOSA, A. Inovação em gestão pública para cidades inteligentes: Limites e possibilidades no Brasil. **Revista Brasileira de Administração Pública**, v. 56, n. 3, p. 621–639, 2022.



VIS, B.; DUL, J. Analyzing relationships of necessity not just in kind but also in degree: Complementing crisp-set qualitative comparative analysis with NCA. **Sociological Methods & Research**, v. 47, n. 4, p. 872–899, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0049124115626179>.