

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO
ESCOLA DE GOVERNO PROFESSOR PAULO NEVES DE CARVALHO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

MATHEUS HENRIQUE MARQUES BALBE

IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: estudo de experiências governamentais com IA, *Big Data* e *Blockchain* no Brasil

Belo Horizonte
2025

MATHEUS HENRIQUE MARQUES BALBE

IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: estudo de experiências governamentais com IA, *Big Data* e *Blockchain* no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao *Curso de Graduação em Administração Pública* da Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, da Fundação João Pinheiro, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Administração Pública.

Orientador: Max Melquíades da Silva

**Belo Horizonte
2025**

B172i Balbe, Matheus Henrique Marques.
Implementação de tecnologias emergentes na administração pública: estudo de experiências governamentais com IA, Big Data e Blockchain no Brasil / Matheus Henrique Marques Balbe. – 2025.

105 f. ; il.

Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Administração Pública) – Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Fundação João Pinheiro, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Max Melquiades da Silva.

Bibliografia: f. 99-105

1. Administração Pública - Tecnologia - Brasil. 2. Big Data. 3. Inteligência Artificial. 4. Blockchains - Base de dados.

CDU 35:004.4(81)

Matheus Henrique Marques Balbe

IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: Estudo de experiências governamentais com IA, *Big Data* e *Blockchain* no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Administração Pública da Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, da Fundação João Pinheiro, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Administração Pública.

Aprovada na Banca Examinadora



Max Melquiades da Silva (Orientador) – Fundação João Pinheiro



Renata de Souza França (Avaliador) – Fundação João Pinheiro



Roger de Miranda Guedes (Avaliador) – Fundação João Pinheiro

Belo Horizonte, 11 de dezembro de 2025

DEDICATÓRIA

Aos perseverantes, que enxergam caminhos onde só há incerteza, pois sabem que o limite é uma fronteira móvel e que não há barreiras intransponíveis para quem se recusa a desistir.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão inicial é dedicada à minha família e amigos, os quais foram meu alicerce. A paciência nos longos dias e noites de estudo, o incentivo constante e a compreensão diante das ausências foram fundamentais para que este trabalho se concretizasse.

Agradeço também à Fundação João Pinheiro e a todos os docentes do Curso Superior de Administração Pública, pelos ensinamentos compartilhados ao longo destes anos, que constituíram a base de conhecimento necessária para o desenvolvimento desta pesquisa. Estendo igualmente minha gratidão aos colegas do CSAP, que tornaram a rotina acadêmica mais leve e significativa — seja pelas risadas nos corredores ou pela parceria inabalável nas provas e trabalhos. Cada um contribuiu, à sua maneira, para que essa trajetória fosse mais humana, divertida e inesquecível.

Manifesto ainda minha sincera gratidão ao meu orientador, Max, pela confiança depositada, pela orientação precisa, pelas críticas construtivas e pela disponibilidade contínua ao longo do processo.

Por fim, registro meu agradecimento especial aos colegas de trabalho da Segov e da Subdigital da Seplag, que, direta ou indiretamente, contribuíram com percepções e insights valiosos sobre os desafios práticos da administração pública, enriquecendo significativamente este estudo.

EPÍGRAFE

“A informação é o petróleo do século XXI, e a análise de dados é o motor de combustão.”
Peter Sondergaard

RESUMO

A administração pública contemporânea enfrenta o desafio de se modernizar para atender às demandas sociais por eficiência, transparência e tomadas de decisão baseadas em evidências. Nesse contexto, este trabalho investiga a implementação de tecnologias emergentes — *Big Data*, Inteligência Artificial e *Blockchain* — no cenário governamental brasileiro. O objetivo central consiste em mapear as aplicações práticas dessas ferramentas, diagnosticar os entraves à sua adoção e prospectar as oportunidades de geração de valor público. Metodologicamente, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, complementada pela análise documental de casos práticos. Os resultados evidenciam que a efetividade dessas iniciativas depende de fatores que transcendem a dimensão técnica. Constatou-se que a implementação não pode ser vista apenas como aquisição de *software*, uma vez que a transformação digital exige uma abordagem sistêmica para superar barreiras organizacionais críticas, como a resistência cultural e a escassez de capacitação profissional. Conclui-se, contudo, que a superação desses desafios permite destravar valor público tangível, com ganhos claros em eficiência operacional, integridade e na gestão de cidades inteligentes. Por fim, o estudo corrobora a viabilidade da convergência estratégica entre essas tecnologias, cuja integração sinérgica atua como um catalisador fundamental para a modernização estatal.

Palavras-chave: Administração Pública; Tecnologias Emergentes; *Big Data*; *Blockchain*; Inteligência Artificial

ABSTRACT

Contemporary public administration faces the challenge of modernizing to meet social demands for efficiency, transparency, and evidence-based decision-making. In this context, this work investigates the implementation of emerging technologies — Big Data, Artificial Intelligence, and Blockchain — within the Brazilian government scenario. The central objective is to map the practical applications of these tools, diagnose the obstacles to their adoption, and explore opportunities for generating public value. Methodologically, a systematic literature review was conducted, complemented by a documentary analysis of practical cases. The results demonstrate that the effectiveness of these initiatives depends on factors that transcend the technical dimension. It was found that implementation cannot be viewed merely as software acquisition, since digital transformation requires a systemic approach to overcome critical organizational barriers, such as cultural resistance and the scarcity of professional training. It is concluded, however, that overcoming these challenges allows for unlocking tangible public value, with clear gains in operational efficiency, integrity, and smart city management. Finally, the study corroborates the viability of strategic convergence among these technologies, whose synergistic integration acts as a fundamental catalyst for state modernization.

Keywords: Artificial Intelligence; Big Data; Blockchain; Emerging Technologies; Public Administration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Referências selecionadas sobre Big Data..... | 19 |
| Quadro 2 - Referências selecionadas sobre Inteligência Artificial..... | 20 |
| Quadro 3 - Referências selecionadas sobre Blockchain..... | 23 |
| Figura 2 - Comparativo entre Redes Centralizada, Descentralizada e Distribuída.... | 42 |
| Figura 3 - Funcionamento genérico de uma blockchain..... | 43 |
| Figura 4 - Estrutura de encadeamento de blocos em uma rede blockchain..... | 43 |
| Quadro 4 - Desafios identificados na aplicação de Big Data, IA e Blockchain..... | 67 |
| Quadro 5 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 1: Eficiência Operacional e Otimização de Recursos..... | 85 |
| Quadro 6 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 2: Transparência, Accountability e Integridade de Dados..... | 89 |
| Quadro 7 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 3: Gestão Territorial e Cidades Inteligentes..... | 91 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| AGI | <i>Artificial General Intelligence</i> (Inteligência Artificial Geral) |
| BDA | <i>Big Data Analytics</i> |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| CGU | Controladoria-Geral da União |
| COR | Centro de Operações do Rio |
| DLT | <i>Distributed Ledger Technology</i> (Tecnologia de Registro Distribuído) |
| IA | Inteligência Artificial |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| ML | <i>Machine Learning</i> |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| PL | Projeto de Lei |
| PLN | Processamento de Linguagem Natural |
| SciELO | <i>Scientific Electronic Library Online</i> |
| STF | Supremo Tribunal Federal |
| TCU | Tribunal de Contas da União |
| TIC | Tecnologias da Informação e Comunicação |
| XAI | <i>Explainable Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial Explicável) |
| 3Vs | Volume, Velocidade e Variedade |
| 5Vs | Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade e Valor |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2. METODOLOGIA..... | 16 |
| 3. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS: <i>BIG DATA</i>, IA e <i>BLOCKCHAIN</i>..... | 27 |
| 3.1. <i>Big Data</i>..... | 27 |
| 3.2. Inteligência Artificial..... | 33 |
| 3.3. <i>Blockchain</i>..... | 40 |
| 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 47 |
| 4.1. Experiências e Iniciativas na Administração Pública Brasileira: Uma Análise de Casos..... | 47 |
| 4.1.1. <i>Big Data</i> | 48 |
| 4.1.1.1. Centro De Operações Rio..... | 48 |
| 4.1.1.2. DataViva..... | 50 |
| 4.1.2. Inteligência Artificial..... | 53 |
| 4.1.2.1. Sistema ALICE..... | 53 |
| 4.1.2.2. Projeto Victor..... | 58 |
| 4.1.3. <i>Blockchain</i> | 61 |
| 4.1.3.1. Projeto SOL..... | 61 |
| 4.1.3.2. Rede Blockchain Brasil..... | 64 |
| 4.2. Desafios de Implementação das Tecnologias Emergentes..... | 67 |
| 4.2.1. Desafios Organizacionais e Humanos..... | 68 |
| 4.2.2. Desafios de Infraestrutura e Tecnologia..... | 73 |
| 4.2.3. Desafios Relacionados à Governança dos Dados..... | 75 |
| 4.2.4. Desafios Legislativos e Regulatórios..... | 79 |
| 4.3. Oportunidades de Implementação das Tecnologias Emergentes..... | 84 |
| 4.3.1. Eixo 1: Eficiência Operacional e Otimização de Recursos..... | 84 |
| 4.3.2. Eixo 2: Transparência, Accountability e Integridade de Dados..... | 88 |
| 4.3.3. Eixo 3: Gestão Territorial e Cidades Inteligentes..... | 91 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 96 |
| REFERÊNCIAS..... | 99 |

1. INTRODUÇÃO

A administração pública contemporânea enfrenta desafios persistentes de eficiência, transparência e tomada de decisão baseada em evidências. Para responder a essas demandas, um conjunto de inovações, comumente chamadas de *tecnologias emergentes*, tem ganhado destaque. Esse termo descreve ferramentas que, embora ainda estejam em processo de maturação e consolidação, já demonstram um profundo potencial transformador.

Dentre elas, o *Big Data*, a Inteligência Artificial (IA) e o *Blockchain* se destacam como pilares dessa transformação. Essas inovações oferecem soluções diretas para os problemas crônicos da gestão pública: o *Big Data*, fornecendo a capacidade de analisar volumes massivos de informação; a IA, automatizando tarefas e otimizando decisões a partir desses dados; e o *Blockchain*, provendo uma camada de segurança e transparência para os registros gerados.

A aplicação integrada dessas tecnologias pode revolucionar a forma como os serviços públicos são prestados. Dessa forma, é possível obter um ganho significativo ao explorar a complementaridade entre elas. O *Big Data* emerge como a disciplina fundamental para lidar com os vastos volumes de dados que os governos geram e coletam em suas atividades cotidianas, desde sistemas de saúde até registros de tráfego (Munné, 2016). A IA, por sua vez, funciona como o motor analítico capaz de processar esse grande volume de dados, automatizando processos, identificando padrões complexos e fornecendo subsídios para decisões mais assertivas. Por fim, o *Blockchain* oferece a infraestrutura de governança e segurança, permitindo o registro imutável e descentralizado das transações, o que é crucial para garantir a integridade e a transparência em processos críticos, como licitações ou a execução orçamentária (Burite; Sacramento; Raupp, 2023).

Apesar do grande potencial, a implementação dessas tecnologias no contexto da administração pública brasileira ainda se mostra incipiente e heterogênea (Schaulet; Trez, 2023; Silveira, 2024; Ribeiro & Segatto, 2025). De fato, embora existam iniciativas notáveis de aplicação, a adoção em larga escala esbarra em uma série de obstáculos. Nesse sentido, estudos recentes indicam que muitos órgãos públicos brasileiros não estão plenamente preparados, apontando a resistência à inovação dentro das instituições, a necessidade premente de capacitação dos servidores e a permanência de fragilidades estruturais que inviabilizam a adoção

plena dessas tecnologias (Schaulet; Trez, 2023; Silveira, 2024; Ribeiro & Segatto, 2025).

Diante do cenário relatado, o objetivo geral deste trabalho é prospectar desafios e possibilidades de implementação das tecnologias emergentes: *Big Data*, IA e *Blockchain* na administração pública brasileira, a partir de relatos de experiências de implementação na literatura. Nesse sentido, a investigação priorizou a busca por iniciativas desenvolvidas no contexto nacional, adotando uma perspectiva abrangente que não se restringiu a uma única esfera de atuação governamental. Por isso, a análise contemplou a multiplicidade da administração pública, incorporando evidências tanto dos níveis federal, estadual e municipal, quanto dos poderes Executivo, Legislativo e Judiciário.

Para operacionalizar essa investigação e cobrir a amplitude de escopo proposta, definiram-se os seguintes objetivos específicos: (1) analisar conceitualmente as tecnologias de *Big Data*, IA e *Blockchain*; (2) mapear casos de aplicação e experiências relevantes na administração pública brasileira; (3) discutir desafios técnicos, institucionais e culturais que dificultam sua adoção; e (4) levantar as possibilidades que essas tecnologias oferecem para a modernização da gestão pública.

A persecução desses objetivos é fundamental, pois a convergência sinérgica entre essas tecnologias no aparato estatal pode significar mais do que uma mera atualização tecnológica, mas, sim, tratar da construção de uma infraestrutura digital que viabiliza novos modelos de governança, baseados em decisões orientadas por dados, maior transparência dos processos públicos e formas mais colaborativas de interação entre Estado e sociedade. Essas mudanças representam alicerces sobre o qual se pode construir um Estado, que não apenas processe informações em volume (*Big Data*) e tome decisões inteligentes e rápidas (IA), mas que o façam de forma comprovadamente íntegra e transparente (*Blockchain*). Compreender as possibilidades e os desafios dessa combinação é, portanto, essencial para estabelecer uma confiança programada capaz de superar as fraquezas institucionais tradicionais.

O trabalho está organizado de modo a oferecer um percurso lógico entre conceitos, casos e síntese interpretativa. Após a apresentação metodológica, a pesquisa avança para um capítulo dedicado aos fundamentos conceituais de *Big Data*, IA e *Blockchain*, no qual são discutidos seus princípios, características

técnicas e formas de funcionamento. Em seguida, desenvolve-se um capítulo analítico que reúne experiências e iniciativas da administração pública brasileira, examinando casos concretos de aplicação das três tecnologias e, posteriormente, sistematizando os principais desafios técnicos, organizacionais, legais e de governança identificados na literatura e nos estudos de caso. Na sequência, o texto apresenta as oportunidades que emergem da adoção dessas tecnologias, organizadas em eixos que destacam ganhos de eficiência, avanços em transparência e aplicações voltadas à gestão territorial e às cidades inteligentes. Por fim, o trabalho se encerra com uma reflexão conclusiva que retoma os achados, discute suas implicações para a gestão pública contemporânea e aponta caminhos promissores para pesquisas futuras.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa foi definida a partir de diferentes critérios de classificação científica. Conforme Gil (2008), uma pesquisa pode ser caracterizada com base na sua abordagem, na sua natureza, nos objetivos perseguidos e nos procedimentos técnicos empregados.

Nesse sentido, a presente investigação adota uma abordagem qualitativa, por buscar compreender, de maneira profunda e contextualizada, um fenômeno social contemporâneo: a aplicação de tecnologias emergentes na administração pública brasileira. Como destacam Sousa e Santos (2020), a pesquisa qualitativa é especialmente útil para interpretar práticas organizacionais e explorar fenômenos complexos, considerando as múltiplas dimensões envolvidas na realidade social.

Em relação aos objetivos, a pesquisa possui um caráter exploratório e descritivo. É exploratória por tratar de um fenômeno ainda em consolidação, na qual a literatura, apesar de crescente, ainda não apresenta modelos teóricos consolidados sobre a adoção conjunta dessas tecnologias no contexto do setor público brasileiro. É, concomitantemente, descritiva, pois se propõe a registrar, sistematizar e descrever o estado atual do conhecimento, identificando os principais desafios e as oportunidades documentadas.

A estratégia metodológica central foi a revisão sistemática da literatura, complementada pela análise documental de estudos de caso. Esta escolha se justifica por sua capacidade de permitir uma análise crítica, aprofundada e replicável do conhecimento já consolidado em fontes teóricas, empíricas e institucionais (Gil, 2008). A condução da pesquisa foi estruturada em três etapas interdependentes.

A primeira etapa foi dedicada ao levantamento exploratório e à definição de um protocolo de busca. A definição do escopo da pesquisa partiu de uma busca exploratória inicial focada no termo "tecnologias emergentes" (*emerging technologies*).

Deste levantamento, identificou-se que a IA, o *Big Data* e o *Blockchain* se destacam como os três pilares centrais da modernização tecnológica discutida na literatura, justificando sua seleção como o tripé de análise deste trabalho. A IA foi selecionada por sua capacidade de automatizar processos e apoiar decisões complexas; o *Big Data*, por ser o alicerce indispensável para a gestão e análise de

grandes volumes de informação; e o *Blockchain*, pelo seu potencial disruptivo em garantir transparência, imutabilidade e segurança de registros.

É relevante apontar que a Internet das Coisas (*IoT*) também foi frequentemente identificada nesse levantamento exploratório, muitas vezes atuando em conjunto com as tecnologias selecionadas. Contudo, optou-se por sua exclusão para manter o foco do estudo. Enquanto a *IoT* atua primariamente como uma tecnologia habilitadora para a geração e coleta de dados (através de sensores e dispositivos conectados), o escopo desta pesquisa concentra-se estritamente nas tecnologias que formam a camada de gestão, análise e governança da informação. Esta delimitação foi necessária para garantir a análise sobre os pilares que impactam diretamente os processos decisórios e a governança na administração pública, em vez de se estender à vasta infraestrutura física de coleta de dados.

A segunda etapa consistiu na coleta sistemática de literatura, com base em fontes obtidas em múltiplos repositórios. Utilizou-se a plataforma *Perplexity AI*, com o filtro de busca direcionado ao modo "Acadêmico", como ferramenta auxiliar para a identificação e sumarização inicial de artigos científicos sobre as três tecnologias, complementada por buscas abrangentes em bases de dados renomadas como Google Acadêmico, SciELO, Scopus e *Web of Science*.

O procedimento de coleta de dados na segunda etapa foi operacionalizado de maneira segmentada, respeitando as especificidades de cada eixo tecnológico abordado na pesquisa. Em vez de uma busca única e genérica, optou-se por realizar varreduras independentes para cada tecnologia — *Big Data*, Inteligência Artificial e *Blockchain* — cruzando-as sistematicamente com o contexto governamental. Para tanto, foram estruturadas *strings* de busca que utilizavam o operador booleano *AND* para conectar o termo tecnológico principal (ex.: *Big Data*) aos descritores do setor público (como "Administração Pública" ou *Public Administration*). Simultaneamente, o operador *OR* foi empregado para agrupar sinônimos e termos correlatos em português e inglês — tais como "Governo Digital" *OR e-Government*, e "Desafios de Implementação" *OR Implementation Challenges* —, ampliando a sensibilidade da recuperação bibliográfica. Essa estratégia de segmentação permitiu um refinamento mais preciso dos resultados, assegurando que apenas documentos que abordassem efetivamente a intersecção entre a ferramenta tecnológica e a gestão estatal fossem selecionados para o *corpus* de análise.

Adicionalmente, foram consultados documentos técnicos de órgãos do setor público brasileiro (ex: Tribunal de Contas da União (TCU), Tribunal de Justiça, Governos Estaduais) e organizações internacionais (ex: OCDE, Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento) para triangular as informações sobre desafios e oportunidades institucionais.

Com o escopo definido, estabeleceram-se os critérios de elegibilidade para a seleção do *corpus* documental:

- **Critérios de Inclusão:**

- Trabalhos que abordam conceitualmente ou empiricamente o uso de ao menos uma das três tecnologias (IA, *Blockchain* ou *Big Data*) no contexto da administração pública;
- Estudos que tratam da aplicação dessas tecnologias em processos de modernização, eficiência ou transparência no setor público, com foco especial no Brasil;
- Documentos que apresentam estudos de caso de implementação no setor público, análises teóricas, *frameworks* de implementação ou discussões sobre as possibilidades e desafios da adoção;
- Publicações científicas (artigos, dissertações), técnicas (relatórios de órgãos de controle) ou de organizações reconhecidas, publicadas, preferencialmente, nos últimos 10 anos (2015-2025);
- Estudos clássicos e de relevância que, embora anteriores ao recorte temporal de 10 anos, são fundamentais para estabelecer a base conceitual das tecnologias emergentes aqui citadas.

- **Critérios de Exclusão:**

- Estudos com foco exclusivo no setor privado;
- Estudos repetitivos ou de caráter puramente opinativo, sem respaldo empírico ou teórico suficiente;
- Trabalhos que não apresentam informações claras sobre a aplicação ou os desafios das tecnologias;
- Publicações com abordagem exclusivamente técnica sobre o desenvolvimento da tecnologia (ex: detalhamento de algoritmos ou criptografia), mas que não discutem as implicações de seu uso.
- Trabalhos que não estavam disponíveis para acesso ou download (ex: link quebrado ou indisponibilidade do arquivo).

Nessa lógica, a partir de um conjunto inicial de aproximadamente 87 referências obtidas nas bases de dados e fontes previamente selecionadas, procedeu-se à aplicação dos critérios de inclusão e exclusão conforme o delineamento metodológico.

Concluído o processo de triagem e análise, que envolveu a leitura de títulos e resumos, o conjunto inicial de 87 referências foi sistematicamente reduzido. Após a exclusão de duplicatas e trabalhos que não atendiam integralmente aos critérios, o *corpus* documental final foi consolidado em 39 trabalhos. Os Quadros 1, 2 e 3 organizam tais referências de forma sistemática, indicando o foco temático de cada publicação, o tipo de estudo e as justificativas para sua inclusão, proporcionando assim uma visão clara e fundamentada do corpo teórico selecionado.

Quadro 1 - Referências selecionadas sobre *Big Data*

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| BRAGA, L. F. <i>et al.</i> (2023) | Gestão estratégica de <i>Big Data</i> para tomada de decisão no setor público; Estudo de caso do COR (Rio de Janeiro). | Estudo de Caso. | Examina um caso de aplicação de <i>Big Data</i> na administração pública no Brasil (Rio de Janeiro) |
| ERSOY, A.; ALBERTO, K. C. (2019) | Uso de <i>Big Data</i> para entender infraestrutura urbana; Estudo de caso de Belo Horizonte (COP-BH, DataViva). | Estudo de Caso. | Examina um caso de aplicação de <i>Big Data</i> na administração pública no Brasil (Belo Horizonte). |
| ESPINOSA, J. A. <i>et al.</i> (2019) | Revisão dos desafios do <i>Big Data</i> (3Vs), gestão, escassez de talentos, privacidade e análise (BDA). | Artigo de Conferência (HICSS). | Aprofunda os desafios técnicos e culturais (escassez de talentos) da implementação. |
| JIA, Q-H. <i>et al.</i> (2017) | Aplicação da Visualização de Dados na Administração Pública; valor para transparência e tomada de decisão. | Artigo de Conferência (Conceitual). | Discute as possibilidades (transparência, decisão científica) da visualização de dados no setor público. |
| MAÇADA, A. C. G. <i>et al.</i> (2015) | <i>Big Data</i> e Capacidades de Gestão da Informação (CGI). | Artigo Conceitual (Revisão). | Conecta <i>Big Data</i> a desafios institucionais e capacidades organizacionais. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|---|--|---|--|
| MUNNÉ, R. (2016) | Aplicações, benefícios, motores e restrições (<i>drivers/constraints</i>) do <i>Big Data</i> no Setor Público. | Capítulo de Livro (Revisão). | Analisa possibilidades e desafios (técnicos e institucionais) do <i>Big Data</i> no setor público. |
| PESSOA, R. M.; FREITAS, E. E.; BORGES, T. B. (2016) | Plataforma DataViva (Minas Gerais); Visualização de dados públicos socioeconômicos; Governança colaborativa. | Artigo de Conferência (CONSAD). | Examina um caso de aplicação (DataViva) de <i>Big Data</i> e visualização de dados na administração pública no Brasil. |
| SAGIROGLU, S.; SINANC, D. (2013) | Definição conceitual (3Vs), métodos e desafios de segurança/privacidade do <i>Big Data</i> . | Revisão de Literatura. | Essencial para a fundamentação conceitual (3Vs) e desafios técnicos/privacidade. |
| SCHAULET, E.; TREZ, G. (2023) | Prontidão (readiness) do setor público brasileiro (médio e grande porte) para <i>Big Data</i> . | Estudo Empírico (<i>Survey/Replicação</i>). | Diagnóstico direto da prontidão no Brasil, focando em desafios institucionais. |
| SOARES, J. R.; ROUT, C. R. de; RAUPP, F. M. (2022) | <i>Big Data Analytics</i> (BDA) em Governo Local; modelo de processos focado em gestão. | Revisão Sistemática (EnANPAD). | Foco em Governo Local, destacando desafios de planejamento e gestão. |
| TAURION, C. (2013) | Conceituação (5Vs), tecnologias (Hadoop, Stream Processing) e perfis profissionais (Data Scientist, CDO). | Livro (Conceitual). | Fundamentação conceitual (5Vs) e discussão de desafios de implementação (perfis, tecnologia). |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 2 - Referências selecionadas sobre Inteligência Artificial

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|-----------------------------|---|------------------------------|--|
| ALMEIDA, M. I. S. de (2023) | Bibliometria sobre IA na Administração Pública e Automação na Administração Pública; Mapeamento de padrões, tendências e estrutura intelectual. | Caderno Enap (Bibliometria). | Fornecer uma revisão bibliométrica ampla dos desafios e oportunidades da IA na gestão pública. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|--|--|---|---|
| ALVES, M. A. S.; ANDRADE, O. M. de (2021) | XAI (Inteligência Artificial Explicável) para reduzir opacidade ("caixa-preta") e combater vieses algorítmicos (e.g., Compas, Google Fotos). | Artigo de Pesquisa (Teórico/Conceitual). | Aprofunda o desafio central da opacidade ("caixa-preta") e discute a XAI como solução para vieses e discriminação. |
| ANDRADE, M. D. de; PRADO, D. A. (2022) | Aplicação da IA (Projeto Victor) para redução do tempo de análise de Recursos Extraordinários no STF. | Artigo de Periódico. | Analisa o impacto do Projeto Victor (IA) no STF focado na redução do tempo de análise. |
| BORGES, N. M. <i>et al.</i> (2024) | Adoção de IA em bancos públicos brasileiros; Mapeamento de tecnologias, desafios e resultados (panorama heterogêneo) via portais da transparência. | Artigo de Conferência (SINGEP-CIK) (Qualitativo/Exploratório). | Examina casos de aplicação de IA (Bancos Públicos) na administração pública no Brasil, analisando contratos. |
| CARVALHO, A. C.; FERRO, M. R.; MELO, F. L. N. B. de (2025) | Desafios da regulação da IA no setor público; PL 2338/2023; Justiça Algorítmica; Sandboxes Regulatórios. | Artigo de Portal Jurídico (Análise). | Aprofunda os desafios legais e a necessidade de um marco regulatório (Sandboxes) para a IA no Brasil. |
| COSTA, S. R. da (2020) | Contribuição da IA (IA Fraca vs. Forte) para celeridade em trabalhos repetitivos no sistema jurídico; Cita Alice, Victor, Dra. Luzia. | Dissertação (Mestrado em Mídia e Tecnologia). | Analisa a aplicação de IA (vários casos) no Judiciário brasileiro para ganhos de eficiência. |
| COMBA, B. B. <i>et al.</i> (2024) | Inteligência Artificial na gestão pública: desafios e oportunidades; Panorama geral de aplicação. | Artigo de Periódico (Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza). | Traz uma discussão atualizada sobre o panorama macro dos desafios e oportunidades da IA, servindo como contraponto teórico geral aos estudos de caso específicos. |
| DIAS, S. A. J. <i>et al.</i> (2023) | O caso Victor (STF) sob a ótica de redes de colaboração e inovação no setor público. | Artigo de Periódico (Revista Contemporânea). | Complementa os estudos de Maia Filho (2018) e Peixoto (2021) ao adicionar a perspectiva de "redes de colaboração" na análise da ferramenta Victor. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|--|--|---|---|
| FILHO, A. I. da; CARNEIRO, D. K. de O.; COELHO, F. de S. (2022) | Gestão da inovação no setor público (antecedentes, determinantes, processo, resultados); Uso de IA (Algoritmo Apriori) para analisar casos de inovação. | Artigo de Conferência (EnANPAD) (Multimétodo). | Utiliza IA (mineração de dados) como método para analisar a própria inovação no setor público. |
| MACHADO, João Batista de Souza (2025) | Governança algorítmica e IA na auditoria governamental; Desafios e oportunidades do sistema Alice para o controle interno. | Dissertação (Mestrado em Governança e Desenvolvimento). | Estudo de caso aprofundado sobre a aplicação de IA (Alice) no TCU, focando em governança algorítmica e controle. |
| MAIA FILHO, M. S.; JUNQUILHO, T. A. (2018) | Perspectivas de aplicação da IA ao Direito, com foco no Projeto Victor (STF). | Artigo de Periódico. | Analisa o caso de aplicação do Projeto Victor (STF) no contexto do Direito. |
| MENDONÇA, M. <i>et al.</i> (2024) | Evolução da IA (Fraca vs. Forte); Foco em Chatbots (definição, funcionamento, aplicações); Aplicações na Educação. | Capítulo de Livro (Revisão Conceitual). | Define conceitos-chave (IA Fraca/Forte) e detalha a tecnologia de Chatbots, com aplicações na educação. |
| MENEZES, A. P. V. C. (2022) | Uso da IA (Projeto Alice) para aperfeiçoamento da governança e controle de contratações públicas no TCU. | Dissertação (Mestrado em Administração Pública). | Estudo de caso aprofundado sobre a aplicação de IA (Alice) no TCU para controle de contratações. |
| PEIXOTO, F. H. (2020) | Aplicação da IA (Projeto Victor) para redução do tempo de análise de Recursos Extraordinários no STF. | Relatório de Pesquisa. | Relatório técnico detalhado sobre a implementação e os resultados do Projeto Victor no STF. |
| PESSANHA, C. (2019) | Análise do Projeto Victor (IA no STF) e a agenda da inteligência artificial no Judiciário. | Ensaio / Artigo Conceitual. | Examina o Projeto Victor (STF) como um caso de aplicação de IA na administração pública brasileira. |
| RIBEIRO, M. M.; SEGATTO, C. I. (2025) | Adoção de IA por organizações públicas brasileiras (federais/estaduais); Associação com capacidades de TI (baseado na Pesquisa | Artigo de Pesquisa (Análise de microdados/Survey). | Fornecer um diagnóstico empírico (TIC Governo 2021) da adoção de IA no Brasil, correlacionando-a com as capacidades de TI. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|--|---|---|---|
| | TIC Governo Eletrônico (2021). | | |
| ROCHA, A. L. M. et al. (2022) | Sistema Alice (Auditoria de compras); Desafios, resultados e perspectivas de auditoria contínua. | Artigo de Periódico (Revista da CGU). | Enriquece a análise do sistema Alice, somando-se a Menezes (2022) e Machado (2025), focando especificamente na perspectiva da CGU e auditoria de compras. |
| TOLEDO, A. T.; MENDONÇA, M. (2023) | IA na administração pública para eficiência; Foco no Poder Judiciário (Justiça 4.0); Percepção de servidores públicos (<i>survey</i>). | Artigo de Pesquisa (Bibliográfica, documental, <i>survey</i>). | Analisa a busca por eficiência via IA, com foco em casos no Judiciário (Justiça 4.0) e na percepção dos servidores. |
| TOOSI, A. et al. (2021) | Histórico da evolução da IA (ciclos de "inverno" e "verão"); Distinção conceitual entre IA Fraca (<i>Narrow</i>) e IA Forte (<i>AGI</i>); Importância da XAI (IA Explicável). | Artigo de Periódico (Revisão Crítica). | Fundamental para a base teórica do TCC, pois define a diferença entre a IA que temos hoje (Fraca/Especializada) e a ficção (Forte), além do seu período de "inverno". |
| VASCONCELOS, E. S.; SANTOS, F. A. dos (2024) | Desafios e oportunidades da IA na gestão pública brasileira; Barreiras éticas, legais (regulação) e tecnológicas (infraestrutura, dados). | Artigo de Pesquisa (Revisão sistemática). | Foca nos desafios e barreiras (éticas, legais, tecnológicas) da adoção da IA no contexto brasileiro. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Quadro 3 - Referências selecionadas sobre *Blockchain*

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|------------|---|---------------------------------|--|
| AGU (2020) | Guia conceitual e mapeamento de usos potenciais do <i>Blockchain</i> no setor público brasileiro. | Guia / Relatório Institucional. | Mapeia conceitos e potenciais aplicações de <i>Blockchain</i> no contexto da Administração Pública Brasileira. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|---|--|---|--|
| BURITE, A. S.; SACRAMENTO, A. R. S.; RAUPP, F. M. (2023) | Implicações da aplicação combinada de Blockchain, Smart Contracts e Inteligência Artificial nas contratações e no orçamento público. | Pesquisa Bibliográfica e Documental (Artigo em Periódico - Revista da CGU). | Essencial para a pesquisa por abordar a convergência tecnológica. Analisa como a integração dessas três ferramentas (e não apenas uma isolada) impacta a eficiência, a accountability e o controle de gastos (ex: Projeto Harpia/PR e Rede Blockchain Brasil). |
| MOURA, L. M. F. de; BRAUNER, D. F.; JANISSEK-MUNIZ, R. (2020) | Perspectiva tecnológica do <i>Blockchain</i> na Administração Pública; Transparência, confiança e imutabilidade de dados. | Revisão Sistemática de Literatura (Artigo em Periódico - RAC). | Sistematiza o conhecimento sobre o uso de <i>Blockchain</i> no setor público, identificando categorias de uso, benefícios (como auditabilidade e segurança) e barreiras, fundamental para contrapor ou complementar a discussão sobre <i>Big Data</i> . |
| NAKAMOTO (2008) | Proposta original do Bitcoin como sistema de dinheiro eletrônico <i>peer-to-peer</i> baseado em <i>Blockchain</i> . | Artigo técnico / <i>white paper</i> de proposta de sistema. | Marco fundador da tecnologia <i>Blockchain</i> , que fundamenta conceitualmente a arquitetura descentralizada utilizada nas aplicações deste trabalho. |
| RODRIGUES, L. M. S.; FERREIRA, R. N. (2024) | Funcionamento, evolução histórica (movimento Cypherpunk) e maturidade (Blockchain 1.0 a 3.0) da tecnologia no setor público. | Pesquisa Bibliográfica (Artigo em Periódico - Processando o Saber). | Importante para contextualizar a evolução histórica e a maturidade da tecnologia. Traz casos de uso variados (identidade digital, saúde/CDC e BNDES) e discute barreiras críticas como a interoperabilidade e questões culturais. |

| Referência | Foco | Tipo de Estudo | Motivo de inclusão |
|-----------------------------|--|--|---|
| SILVEIRA, L. T. da S (2024) | Aplicação de <i>Blockchain</i> no combate à corrupção em licitações públicas; perspectivas e desafios no Brasil. | Trabalho de Conclusão de Curso (Administração Pública) | Monografia focada no uso de <i>Blockchain</i> em licitações públicas no Brasil, abordando desafios e perspectivas. |
| SILVA; MARQUES (2021) | Revisão sistemática de literatura sobre usos de <i>Blockchain</i> no setor público, identificando aplicações, benefícios e desafios. | Artigo científico – revisão sistemática de literatura | Apresenta o estado da arte das pesquisas sobre <i>Blockchain</i> na administração pública, oferecendo base teórica consolidada para classificar casos e discutir tendências |
| TCU (2020) | Levantamento de possibilidades e limitações do <i>Blockchain</i> no Setor Público Federal (visão do TCU). | Documento Oficial (Acórdão/Relatório). | Documento oficial do TCU mapeando possibilidades, limitações e recomendações do <i>Blockchain</i> para o governo federal. |

Fonte: Elaboração própria (2025)

Por fim, a terceira etapa foi voltada à sistematização dos achados. Os documentos e artigos selecionados, após leitura exploratória de títulos e resumos, foram submetidos à análise de conteúdo, conforme a abordagem metodológica proposta por Bardin (2011).

Esta técnica permitiu a identificação e o levantamento (*survey of the literature*) das categorias temáticas centrais da pesquisa, definidas, *a priori*, com base nos objetivos específicos, permitindo uma análise comparativa e a síntese dos achados. As categorias centrais que estruturaram a análise foram:

1. Conceitos e Aplicações Gerais (IA, *Big Data*, *Blockchain*): Fundamentação teórica de cada tecnologia.
2. Estudos de Caso e Experiências no Brasil: Mapeamento e descrição das implementações práticas identificadas na administração pública brasileira.
3. Levantamento de Desafios: Identificação, categorização e análise dos desafios (técnicos, institucionais, culturais) mais apontados pela literatura brasileira.

4. Levantamento de Oportunidades: Identificação, categorização e análise das possibilidades a partir dos casos analisados e citados pela literatura.

No que tange especificamente aos estudos de casos de aplicação das tecnologias no setor público brasileiro, a definição da amostra guiou-se pela proeminência das iniciativas na literatura científica analisada. Foram selecionadas duas experiências representativas para cada tecnologia, cuja escolha derivou de sua recorrência nos artigos acadêmicos e de seu ineditismo para o contexto brasileiro.

Uma vez identificados esses casos-chave na revisão bibliográfica, procedeu-se à coleta suplementar de dados em fontes documentais (relatórios de gestão, portais de transparência e sítios institucionais) e jornalísticas. Essa estratégia de aprofundamento documental teve como objetivo atualizar as informações técnicas e obter indicadores de resultados recentes que, devido à defasagem temporal das publicações acadêmicas, muitas vezes não constam nos estudos originais.

Para reforçar a consistência dos resultados, foi aplicada a triangulação de fontes, conforme defendido por Flick (2009). Esse método consistiu no cruzamento de informações provenientes: (i) dos artigos científicos, que fornecem a base teórica crítica; (ii) dos documentos institucionais coletados na etapa suplementar, que oferecem a visão oficial e dados quantitativos; e (iii) de conteúdos de divulgação técnica em mídias digitais especializadas, utilizados para capturar informações recentes que, dada a velocidade da inovação tecnológica, muitas vezes ainda não constam na literatura acadêmica. A síntese obtida por meio dessa triangulação permitiu fundamentar a discussão sobre como as tecnologias emergentes estão sendo aplicadas e quais os obstáculos e possibilidades reais para sua consolidação no setor público brasileiro.

3. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS: *BIG DATA*, IA e *BLOCKCHAIN*

Para que a incorporação de *Big Data*, Inteligência Artificial e *Blockchain* na gestão pública ultrapasse o tecnicismo e produza valor público efetivo, é indispensável uma compreensão aprofundada de seus fundamentos conceituais e arquitetônicos. Antes de analisar usos, casos e impactos, é necessário entender como essas tecnologias operam, quais problemas se propõem a resolver e quais limitações estruturais carregam.

Nesse sentido, este capítulo apresenta os fundamentos teóricos e operacionais de cada tecnologia, discutindo seus princípios, formas de funcionamento, características técnicas centrais e potencialidades intrínsecas. Ao delinear esse panorama conceitual, constrói-se a base analítica necessária para, nos capítulos seguintes, examinar de maneira crítica como essas ferramentas vêm sendo adotadas no contexto governamental brasileiro e quais oportunidades e desafios se colocam para a administração pública contemporânea.

3.1. *Big Data*

A gênese do fenômeno conhecido como *Big Data* remonta ao início dos anos 2000, um período marcado pela ascensão da internet e pela proliferação de tecnologias de informação e comunicação que catalisaram uma produção de dados sem precedentes. A sua origem está intrinsecamente ligada à necessidade pragmática enfrentada pelas gigantes da internet, como Google e Yahoo, que precisavam "gerenciar as enormes e contínuas quantidades de dados geradas pelos seus usuários nas páginas de busca" (Richards, 2017 *apud* Soares; Rolt; Raupp, 2022, n.p.). Nesse contexto inicial, a conceituação de *Big Data* era essencialmente técnica, referindo-se a grandes volumes de dados que, simplesmente, superavam a capacidade das ferramentas e métodos tradicionais de banco de dados para armazenamento, gerenciamento e processamento eficiente (Espinosa *et al.*, 2019, tradução nossa).

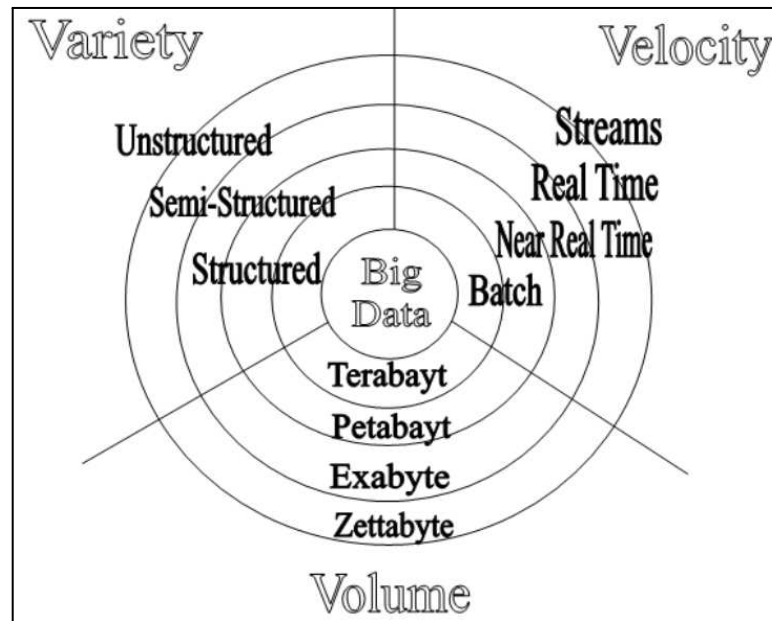
Em seguida, a percepção da magnitude desse fenômeno começou a se consolidar. A revista *The Economist*, em 2008, publicou uma reportagem que descrevia o *Big Data* como um verdadeiro "dilúvio de dados", destacando o sucesso de empresas que já o utilizavam como um ativo estratégico (Maçada; Brinkhues; Freitas Júnior, 2015). A escala dessa torrente de informações foi drasticamente

ilustrada por Eric Schmidt, então CEO do Google, que em 2010 afirmou que "a cada dois dias a sociedade já gerava tanta informação quanto gerou dos seus primórdios até 2003, ou seja, cinco *exabytes*" (Taurion, 2013, n. p). A explosão quantitativa de dados não apenas redefiniu os desafios tecnológicos, mas também sinalizou o surgimento de um novo paradigma informacional, impulsionando a busca por novas formas de extrair valor desse imenso repositório digital.

Além disso, a transição do *Big Data* de um mero desafio técnico para um ativo de importância estratégica global tornou-se evidente com iniciativas governamentais de alto nível. Um marco significativo foi a "Iniciativa de Pesquisa e Desenvolvimento de *Big Data*" anunciada pela administração Obama em 2012, que destinou mais de 200 milhões de dólares em novos investimentos para a área, evidenciando seu reconhecimento como uma nova fronteira para a inovação e a competitividade (The White House, 2012 *apud* Munné, 2016, tradução nossa; Weiss; Zgorski, 2012 *apud* Sagiroglu; Sinanc, 2013). Concomitantemente, o campo acadêmico refletiu essa crescente relevância, com um aumento significativo no número de pesquisas sobre o tema a partir de 2011, consolidando o *Big Data* como um campo de estudo robusto (Simon, 2013 *apud* Soares; Rolt; Raupp, 2022).

Em sua essência, o *Big Data* é definido como "um termo para conjuntos de dados massivos com estrutura grande, mais variada e complexa, com dificuldades de armazenamento, análise e visualização para processos ou resultados posteriores" (Sagiroglu; Sinanc, 2013, tradução nossa, p. 42). De forma complementar, o Banco Mundial (2014 *apud* Schaulet; Trez, 2023) o descreve como um imenso volume de dados, estruturados ou não, cujo tamanho excede a capacidade de processamento dos métodos tradicionais de software e banco de dados. Contudo, a definição mais difundida e que captura a natureza multifacetada do fenômeno é aquela que o caracteriza por seus atributos intrínsecos, inicialmente propostos por Laney (2001) e consolidados como o modelo dos "Vs", ou seja, a inter-relação entre Volume, Velocidade e Variedade (*apud* Schaulet; Trez, 2021), que pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 - Os três “Vs” do *Big Data*.



Fonte: Sagioglu e Sinanc (2013, p. 42).

Inicialmente, o modelo original se baseia em três dimensões fundamentais. A primeira, Volume, refere-se à magnitude e à escala dos dados, que ultrapassam a casa dos *terabytes* e *petabytes* (Johnson *et al.*, 2017 *apud* Braga *et al.*, 2023). A segunda, Velocidade, diz respeito não apenas à rapidez com que os dados são gerados, mas também à necessidade de sua coleta e análise em tempo real para maximizar seu valor informacional (Laney, 2001 *apud* Schaulet; Trez, 2023). Por fim, a Variedade exprime a diversidade de formatos e fontes, abrangendo desde dados estruturados, como os de bancos de dados relacionais, até dados não estruturados, como áudio, vídeo, páginas de Internet, textos (Laney, 2001 *apud* Schaulet; Trez, 2023), que constituem a maior parte do universo digital. Foi a partir dessa tríade que o *Big Data* passou a ser compreendido não apenas pela quantidade, mas pela complexidade e dinâmica dos dados.

Em seguida, com o amadurecimento do campo, o modelo foi expandido para incluir mais duas características cruciais, passando a ser conhecido como o modelo dos 5Vs. A Veracidade foi incorporada para destacar a importância da qualidade, da consistência e da confiabilidade dos dados, um desafio crítico, pois a análise e os resultados precisam ser verdadeiros e livres de erros para que se possa extrair deles um valor genuíno (Raghupathi, 2014 *apud* Schaulet; Trez, 2023; Saha; Srivastava, 2014 *apud* Schaulet; Trez, 2023). O quinto "V", o Valor, representa o objetivo final de toda a iniciativa de *Big Data*: a capacidade de transformar o imenso volume de

dados em *insights* acionáveis e em retorno estratégico, que deve superar os custos de coleta, armazenamento e processamento (Taurion, 2013). De acordo com Taurion (2013), a essência do conceito pode ser resumida na combinação de quatro elementos fundamentais — volume, variedade, velocidade e veracidade — que, quando integrados, são capazes de gerar valor.

O funcionamento do *Big Data*, por sua vez, apoia-se em um ecossistema tecnológico concebido para superar as limitações das arquiteturas tradicionais de processamento e armazenamento de informações. Em vez de depender de estruturas centralizadas e rigidamente esquematizadas, são adotados modelos distribuídos, escaláveis e capazes de lidar com grandes volumes, velocidades e variedades de dados. Como observa Taurion (2013), esse novo paradigma rompe com a lógica dos bancos relacionais ao privilegiar estruturas flexíveis e processamento massivamente paralelo, permitindo que dados heterogêneos — oriundos de diferentes fontes e formatos — sejam capturados, armazenados e analisados de maneira eficiente.

Além disso, o paradigma de análise também evoluiu. Enquanto a mineração de dados (*data mining*) tradicional se concentra na extração de padrões de bases de dados estáticas (Morgan, 2014 *apud* Braga *et al.*, 2023; Onan *et al.*, 2016 *apud* Braga *et al.*, 2023), o *Big Data* introduziu o conceito de processamento de *stream* (*stream computing*), que permite a análise de dados em tempo real, à medida que eles fluem continuamente através do sistema (Taurion, 2013). Essa capacidade foi viabilizada por infraestruturas de computação em nuvem (*cloud computing*) que atuam como um impulsionador do *Big Data* (Taurion, 2013). A elasticidade da nuvem permite o ajuste dinâmico da capacidade de armazenamento e processamento, lidando com a imprevisibilidade do volume de dados e reduzindo significativamente os custos de implementação.

A transição do *Big Data* de um conceito puramente tecnológico para uma força motriz de inovação é mais bem compreendida por meio de suas aplicações práticas, que se estendem por múltiplos domínios. A capacidade de analisar vastos e complexos conjuntos de dados inaugura uma nova era de análise e decisões, permitindo que organizações, tanto no setor privado quanto no público, otimizem processos, personalizem serviços e antecipem tendências com uma precisão sem precedentes. Dessa forma, "os grandes dados podem criar soluções eficientes para setores importantes da administração pública, como saúde, segurança, mobilidade e

educação" (El Houari *et al.*, 2015 *apud* Braga *et al.*, 2023, p. 3415), ao mesmo tempo em que redefinem as estratégias competitivas no mercado. Essa dualidade de impacto demonstra a onipresença e a versatilidade, como uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão no século XXI (Maçada; Brinkhues; Freitas Júnior, 2015).

No setor privado, as aplicações são vastas e transformadoras, atuando como um catalisador para a redefinição de estratégias de mercado e gestão de riscos. Primeiramente, no campo do *marketing*, o *Big Data* é crucial para a chamada análise de sentimento (*sentiment analysis*), permitindo que as empresas entendam a inteligência do usuário, os padrões de compra e o sentimento das massas a partir de dados de redes sociais e outras fontes digitais (Sagiroglu; Sinanc, 2013; Taurion, 2013). Essa compreensão aprofundada do comportamento do consumidor viabiliza a criação de campanhas e ofertas altamente personalizadas, incluindo o marketing baseado em localização (*location-based marketing*). No varejo, essa capacidade analítica se estende à fixação de preços em tempo real com base na demanda e no estoque, como fazem grandes redes para otimizar suas margens em milhões de itens (Maçada; Brinkhues; Freitas Júnior, 2015).

Em seguida, na análise de riscos, o *Big Data* emerge também como uma poderosa arma no combate a fraudes, especialmente nos setores financeiro e de seguros (Taurion, 2013). A capacidade de cruzar informações de diversas fontes em tempo real permite a detecção de padrões anômalos e a previsão de atividades fraudulentas no momento em que ocorrem, minimizando perdas financeiras. Essa análise preditiva não se limita à fraude, estendendo-se à avaliação de crédito, à precificação de apólices e à gestão de portfólios de investimento, onde a identificação de tendências ocultas pode gerar vantagens competitivas significativas. Por conseguinte, a exploração estratégica desses dados não apenas otimiza as operações existentes, mas também fomenta a criação de "novos modelos de negócio baseados no valor das informações armazenadas e analisadas" (Taurion, 2013, n.p.).

No setor público, o *Big Data* apresenta um potencial igualmente revolucionário, oferecendo ferramentas para aprimorar a formulação de políticas públicas, a prestação de serviços e a segurança dos cidadãos. Na área da saúde, por exemplo, a análise de grandes volumes de dados de pesquisa e

desenvolvimento permite modelar de forma mais eficiente em quais medicamentos alocar recursos, acelerando a inovação (Taurion, 2013).

Um caso de uso exemplar é o do Google Flu Trends¹, que, ao analisar padrões de busca online, conseguia identificar tendências de propagação de gripe antes mesmo da consolidação dos dados oficiais, permitindo uma resposta de saúde pública mais ágil e eficaz (Taurion, 2013; Maçada; Brinkhues; Freitas Júnior, 2015). Essa mesma lógica se aplica à vigilância de outras doenças e à gestão de surtos epidêmicos, em que a velocidade da informação é crítica.

Além disso, na segurança pública, a análise permite que as agências detectem e se antecipem a atividades ilícitas ao cruzar dados de diversas fontes, como câmeras de vigilância, registros públicos e informações de mídias sociais. O *Real Time Crime Center* (RTCC) de Nova York é um exemplo notório, reunindo bilhões de informações para identificar conexões criminais e fornecer dados em segundos aos policiais em campo, otimizando a alocação de recursos e a prevenção de crimes (Taurion, 2013). Em um nível mais amplo, a análise também serve como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão governamental, promovendo informações com mais transparência e melhores insights sobre a realidade (Milakovich, 2012 *apud* Schaulet; Trez, 2023).

Adicionalmente, o potencial do *Big Data* na esfera governamental não se restringe apenas ao monitoramento e controle, mas estende-se à qualificação da oferta de valor público. Conforme apontam Sagiroglu e Sinanc (2013, p. 43), a aplicação dessas tecnologias no setor público é decisiva para criar transparência por meio de dados acessíveis, permitindo aos gestores descobrir necessidades latentes da população e customizar ações para oferecer produtos e serviços mais adequados.

Diante desse percurso, torna-se evidente que o *Big Data* ultrapassou sua origem técnica e se afirma como um elemento estruturante da tomada de decisão no século XXI. Em um contexto em que governos e organizações operam em ambientes cada vez mais complexos e orientados por dados, a capacidade do *Big*

¹ O Google Flu Trends é considerado um exemplo paradigmático do potencial preditivo do Big Data, mas também um estudo de caso canônico sobre suas limitações. Inicialmente celebrado por sua capacidade de prever surtos de gripe com base em padrões de busca, o modelo, com o tempo, perdeu acurácia devido a mudanças no comportamento de pesquisa dos usuários — um fenômeno conhecido como *model drift*. O projeto foi eventualmente descontinuado, consolidando-se como uma lição sobre a necessidade de validação, monitoramento e recalibração contínua dos modelos preditivos para garantir sua relevância e precisão a longo prazo.

Data, de converter grandes volumes de informações heterogêneas em conhecimento acionável, redefine práticas de gestão e inaugura novas formas de pensar políticas públicas e inovação. Assim, o *Big Data* deixa de ser apenas uma ferramenta tecnológica e se torna parte essencial da capacidade estatal de compreender a realidade, antecipar demandas e agir com eficiência e transparência. Seu papel tende a se ampliar continuamente, impulsionado pela demanda por análises mais precisas e decisões baseadas em evidências — e é nesse movimento que revela sua força mais profunda: transformar dados em poder decisório e, sobretudo, em novas possibilidades de futuro para a administração pública.

3.2. Inteligência Artificial

A concepção da Inteligência Artificial, enquanto campo formal de estudo, possui suas raízes fincadas em meados do século XX, um período marcado por um otimismo efervescente em relação ao potencial das máquinas. Primeiramente, destaca-se a contribuição seminal de Alan Turing, que na década de 1950 propôs seu famoso Teste de Turing, um critério para aferir se uma máquina seria capaz de exibir um comportamento inteligente indistinguível do de um ser humano. Contudo, o marco inaugural que formalmente batizou e estabeleceu a IA como uma disciplina acadêmica foi a Conferência de Dartmouth, realizada em 1956. Nesse evento, pesquisadores pioneiros se reuniram sob uma premissa audaciosa: a de que “todos os aspectos da aprendizagem ou qualquer outra característica da inteligência poderiam, em princípio, ser descritos com tal precisão que uma máquina poderia ser feita para simulá-los” (Russell, Norvig, 2016 *apud* Borges *et al.*, 2024, p. 2). Esta declaração de intenções deu início à primeira grande onda de pesquisa, caracterizada pelo desenvolvimento de sistemas baseados em regras e lógica simbólica, que buscavam replicar o raciocínio humano por meio de manipulação de símbolos e heurísticas.

Impulsionada pelo entusiasmo da Conferência de Dartmouth, a primeira onda de desenvolvimento da IA, entre as décadas de 1950 e 1970, concentrou-se na criação de programas capazes de realizar tarefas específicas que demandavam algum tipo de raciocínio lógico. Nessa fase, surgiram os primeiros programas de xadrez e sistemas de resolução de problemas lógicos. É também neste período que se observa o desenvolvimento dos primeiros *chatbots*, como o notório ELIZA, criado por Joseph Weizenbaum no MIT, na década de 1960 (Mendonça *et al.*, 2024). O

ELIZA operava com base em um sistema de reconhecimento de padrões e substituição de palavras-chave, simulando um diálogo terapêutico sem, contudo, compreender de fato o conteúdo da conversa. Embora rudimentares, essas primeiras aplicações demonstraram a viabilidade de se criar máquinas que poderiam interagir e executar tarefas que, até então, eram exclusivas do domínio humano, pavimentando o caminho para futuras investigações e desenvolvimentos na área.

Contudo, o otimismo inicial e as altas expectativas geradas pela mídia e por especialistas, muitas vezes fundamentados em previsões exageradas, foram seguidos por um período de desilusão e cortes drásticos no financiamento, fenômeno classificado como os "invernos da IA" (Toosi et al., 2021). As promessas iniciais esbarraram em barreiras tecnológicas, pois acreditava-se erroneamente que a capacidade de resolver problemas maiores seria apenas uma questão de obter hardware mais rápido e maior capacidade de memória, uma suposição contestada pelo desenvolvimento da teoria da complexidade computacional (Toosi et al., 2021). Críticas severas, como as apresentadas no relatório Lighthill no Reino Unido e a retirada de apoio da DARPA nos Estados Unidos, expuseram a incapacidade dos sistemas da época em lidar com a complexidade do mundo real, resultando na interrupção de pesquisas, especialmente em redes neurais (Toosi et al., 2021).

A superação do "inverno da IA" deu-se com a segunda onda de avanços, entre as décadas de 1980 e 1990, marcada pelo surgimento e popularização dos "sistemas especialistas" (Toosi et al., 2021).. Diferentemente das abordagens generalistas anteriores, esses sistemas eram projetados para atuar em domínios de conhecimento altamente específicos, como assistentes virtuais ou jogos, emulando o raciocínio de um especialista humano por meio de um vasto conjunto de regras do tipo "se-então". Nesse mesmo período, a evolução dos *chatbots* continuou, com o surgimento de programas como o A.L.I.C.E (acrônimo de *Artificial Linguistic Internet Computer Entity*) em 1995, que utilizava um conjunto de regras mais sofisticado para a interação (Mendonça *et al.*, 2024), aproveitando a recém-criada *World Wide Web* para coletar e processar grandes quantidades de dados de linguagem natural, além de possibilitar que se envolvessem conversas mais complexas e fluidas. Essa fase foi fundamental para demonstrar o valor comercial e prático da IA, consolidando sua aplicação em nichos estratégicos e preparando o terreno para a revolução que estava por vir com o advento de novas abordagens computacionais.

A virada do milênio inaugurou a era da revolução do *machine learning* (aprendizado de máquina), uma mudança de paradigma que deslocou o foco dos sistemas baseados em regras para algoritmos estatísticos capazes de aprender diretamente a partir de dados. Três fatores foram determinantes para essa transformação: o crescimento exponencial do poder computacional, o desenvolvimento de algoritmos mais eficientes e, crucialmente, a disponibilidade de volumes massivos de dados digitais, o *Big Data*. A partir de então, a capacidade de uma máquina "aprender" não dependia mais de ser explicitamente programada por um humano, mas sim de sua capacidade de extrair padrões e fazer previsões a partir da análise de grandes conjuntos de dados.

A consolidação do *machine learning* tornou a Inteligência Artificial uma presença tangível no cotidiano, principalmente a partir dos anos 2000. Foi a partir dessa época que "chatbots como Siri, Alexa e Google Assistant começaram a aparecer, oferecendo interações mais naturais e complexas" (Mendonça *et al.*, 2024, p. 31), migrando de simples respondentes de perguntas para assistentes virtuais capazes de executar tarefas personalizadas. A popularização dessas ferramentas reflete o amadurecimento de técnicas de aprendizado profundo (*deep learning*) e processamento de linguagem natural (PLN), que permitiram um salto qualitativo na capacidade de interação e compreensão das máquinas. Esse avanço não se restringiu ao setor de consumo, influenciando também a forma como as organizações públicas e privadas concebem seus serviços, buscando maior eficiência e personalização na interação com os cidadãos e clientes (Rahmani, Zohuri, 2023 *apud* Borges *et al.* 2024).

No entanto, à medida que os sistemas de Inteligência Artificial se tornaram mais complexos, emergiu o problema da opacidade algorítmica. A opacidade algorítmica, frequentemente referida pelo termo "caixa-preta" (*black box*), é um conceito fundamental para compreender as limitações dos sistemas contemporâneos de Inteligência Artificial. Em sua essência, a opacidade algorítmica descreve a incapacidade de se enxergar além do *output* produzido por um modelo (Alves; Andrade, 2021). Em termos formais, pode ser definida como "qualquer momento que um sistema tecnológico se engaja em comportamentos que, embora apropriados, podem ser difíceis de entender ou prever, do ponto de vista humano" (Surden, 2014, *apud* Alves; Andrade, 2021, p. 358).

Essa dificuldade de compreensão não é acidental; ela é uma consequência direta da complexidade técnica de certos métodos. Enquanto a programação tradicional era "interpretável, uma vez que seu código-fonte foi previamente escrito por um desenvolvedor", os modelos modernos de *machine learning*, e especialmente os de *deep learning* (aprendizado profundo), funcionam de maneira distinta. Nesses sistemas, "existem múltiplas camadas de redes neurais que se sobrepõem umas às outras, tornando mais complexa a compreensão do seu raciocínio" (Alves; Andrade, 2021, p. 351).

Na prática, esses algoritmos complexos apenas retornam resultados, sem, contudo, oferecer explicações razoáveis sobre como se chegou a determinada predição (Alves; Andrade, 2021). A escala dessa complexidade é o que torna a opacidade um problema tão intrincado, já que para reconhecer uma imagem, um classificador pode utilizar e ponderar sobre milhões de critérios, utilizando milhões de imagens do seu banco de treinamento. A consequência direta então seria a incapacidade de se compreender as relações entre dados de entrada (*input*) e dados de saída (*output*) (Alves; Andrade, 2021).

A principal implicação da opacidade algorítmica é que ela "pode encobrir falhas e vieses algorítmicos" (Alves; Andrade, 2021, p. 352). Se o processo decisório permanece oculto, torna-se "um grande desafio determinar quando, como e por que o algoritmo errou" (Alves; Andrade, 2021, p. 360), o que impede a auditoria, a correção de vieses e a atribuição de responsabilidades.

Em resposta direta a este problema, consolidou-se o campo da Inteligência Artificial Explicável (XAI). A XAI é conceitualmente definida como um esforço para oferecer informações que ajudam a explicar o processo preditivo de determinado modelo algorítmico. O objetivo da XAI é dotar os sistemas da "capacidade para explicar suas predições, por meio de estratégias textuais ou visuais que forneçam compreensão qualitativa sobre seu processo de predição" (Ribeiro *et al.*, 2018, *apud* Alves; Andrade, 2021, p. 361). Em suma, a XAI busca transformar a "caixa-preta" algorítmica em uma "caixa de vidro", ou seja, transparente, fácil de visualizar e entender. Esse processo é fundamental pois permite a verificabilidade, auditoria e apuração de responsabilidade e pode colaborar para a identificação de vieses em modelos algorítmicos.

Atualmente, a IA vive sua fase mais efervescente, caracterizada pela predominância de redes neurais profundas, que viabilizaram capacidades antes

consideradas “ficção científica” em áreas como processamento de linguagem natural, visão computacional e o desenvolvimento de agentes autônomos. A IA contemporânea está provocando “efeitos transformativos em mercados, na dinâmica individual e no comportamento humano” (Mustak *et al.*, 2021 *apud* Almeida, 2023, p. 16), com o investimento mundial em sistemas cognitivos e inteligentes crescendo de US\$ 24 bilhões em 2018 para uma projeção de US\$ 2 trilhões em 2026 (Almeida, 2023; Exame, 2025). Essa fase é frequentemente associada à Quarta Revolução Industrial, na qual a IA se integra a outras tecnologias disruptivas como a Internet das Coisas (IoT) e *Big Data*, criando um ecossistema tecnológico capaz de redefinir a estrutura da sociedade. No setor público, essa integração permite que novas tecnologias e técnicas sejam “incorporadas em diversas fases das políticas públicas, incluindo as etapas de formulação, tomada de decisão, implementação, monitoramento e avaliação” (Janssen, Hartog, Matheus, Yi Ding & Kuk, 2022 *apud* Ribeiro, Segatto, 2025, p. 2), sinalizando um futuro de governança cada vez mais orientada por dados e inteligência computacional.

A trajetória histórica da Inteligência Artificial, desde suas origens teóricas até a consolidação do *machine learning*, culminou em um cenário contemporâneo de inovação acelerada, na qual a IA se manifesta de formas cada vez mais sofisticadas e onipresentes. A fase atual é marcada pela ascensão da IA Generativa, uma vertente tecnológica impulsionada por arquiteturas de redes neurais avançadas, como os *Transformers*². Esses modelos, que fundamentam sistemas como a série GPT da OpenAI e o Gemini do Google, demonstram uma capacidade sem precedentes de criar novos conteúdos, como textos, imagens e códigos, com notável fluidez e coerência.

Contudo, a inteligência artificial atual, mesmo nos modelos mais avançados como GPT4 e Gemini Plus, é classificada como IA Fraca (Mendonça *et al.*, 2024). Eles são, na verdade, a expressão mais avançada da IA Fraca, que é projetada e treinada para realizar tarefas específicas, como a geração de texto, e não possui consciência, autoconsciência ou entendimento geral do mundo (Mendonça *et al.*, 2024).

² A arquitetura *Transformer*, introduzida em 2017, revolucionou o Processamento de Linguagem Natural (PLN). O seu principal avanço é o mecanismo de “atenção”, que permite ao modelo ponderar a importância de diferentes palavras em um texto para capturar o contexto de forma mais eficiente, permitindo o processamento paralelo de dados (Vaswani *et al.*, 2018 *apud* Mendonça *et al.*, 2024).

Essa distinção é vital, pois a aspiração máxima no campo da IA é a Inteligência Artificial Geral (AGI) ou IA Forte. A AGI descreve sistemas hipotéticos com capacidade intelectual humana ou superior, capazes de aprender e transferir conhecimento entre diferentes áreas, diferentemente da IA Fraca (Wei *et al.*, 2020 *apud* Mendonça *et al.*, 2024; Mendonça *et al.*, 2024). Contudo, a AGI permanece um objetivo puramente teórico e ainda não foi alcançada.

As aplicações práticas da IA, embora especializadas, abrangem um espectro funcional amplo e de grande relevância para a administração pública. A IA preditiva, por exemplo, que utiliza algoritmos para analisar dados históricos e antecipar cenários futuros, tem sua eficácia intrinsecamente ligada ao fenômeno do *Big Data*. Essa sinergia é fundamental, pois a capacidade dos modelos de IA de aprender e fazer previsões acuradas depende do acesso a um volume, variedade e velocidade de dados que excedem em muito a capacidade de análise dos métodos tradicionais, sendo utilizada a IA para processar essa imensidão de informações. Essa abordagem permite uma transição de uma gestão reativa para uma governança proativa, onde é possível antecipar demandas por serviços de saúde, otimizar rotas de transporte público ou prever áreas com maior risco de incidentes, possibilitando a alocação de recursos de forma mais inteligente e a melhoria na gestão de riscos.

Paralelamente, a IA interativa tem se consolidado como a face mais visível da tecnologia no setor de serviços. Nos últimos anos, “a tecnologia de chatbots avançou significativamente, transformando-se de simples programas de resposta automática para assistentes virtuais sofisticados” (Mendonça *et al.*, 2024, p. 28). Essas ferramentas são exemplos de IA Fraca que auxiliam em tarefas, como a realização de interações com usuários em tempo real, oferecendo suporte e respostas às suas consultas. No serviço público, esses sistemas automatizam o atendimento primário, esclarecem dúvidas frequentes e guiam os cidadãos através de processos burocráticos, gerando ganhos de eficiência e agilidade no desenvolvimento de atividades da Administração (Toledo; Mendonça, 2023). Essa automação representa uma aplicação direta do que se entende por IA Fraca, sendo um “processo de automação avançado, que é a criação, por meio de softwares, de robôs configurados para executarem o passo a passo de tarefas repetitivas, a partir do processamento de grande volume de informações” (Costa, 2020 *apud* Toledo; Mendonça, 2023, p. 414).

Além das aplicações preditivas e interativas, a IA autônoma representa outra fronteira de inovação, referindo-se a sistemas que operam no mundo físico com mínima intervenção humana. A robótica, aliada à IA, já é uma realidade em certos contextos da administração pública global. As aplicações se estendem a diversos setores, como até no uso de drones para monitoramento de infraestruturas críticas e gestão de desastres.

As oportunidades geradas pela adoção da IA no setor público são substanciais e multifacetadas. Um dos benefícios mais diretos é a otimização da força de trabalho. Ao automatizar tarefas rotineiras e processuais, a IA promove a “liberação dos preciosos recursos cognitivos de funcionários públicos, que podem ser alocados para tarefas de maior valor agregado” (Dwivedi *et al.*, 2021 *apud* Almeida, 2023, p. 63). Isso não apenas aumenta a produtividade, mas também qualifica o serviço público, permitindo que os servidores se concentrem em atividades que exigem pensamento crítico, empatia e criatividade — habilidades intrinsecamente humanas. Essa mudança redefine o papel do agente público, que passa de executor de procedimentos para analista estratégico e gestor de soluções complexas.

Além de transformar o trabalho, a IA potencializa a qualidade da governança. A melhoria na tomada de decisão é uma vantagem fundamental, pois a “análise de dados impulsionada pela IA oferece embasamento sólido para a tomada de decisões na gestão pública, promovendo uma administração mais eficaz e fundamentada em evidências” (Maia *et al.*, 2022 *apud* Comba *et al.*, 2024, p. 3).

Adicionalmente, a IA viabiliza um nível de personalização sem precedentes nos serviços públicos. Ao analisar dados individuais, é possível a “personalização dos serviços de acordo com as necessidades individuais dos cidadãos” (Maia *et al.*, 2022 *apud* Comba *et al.*, 2024, p. 3), tornando a interação com o Estado mais direta, relevante e satisfatória. Em última análise, a aplicação estratégica da IA converge para o objetivo maior da administração pública: a criação de “valor público”, que se traduz em “melhorias em termos de qualidade, eficiência, aumento da satisfação de servidores e funcionários públicos ou maior participação do cidadão na construção de soluções” (Hjelmar, 2021 *apud* Filho, Carneiro, Coelho *et al.*, 2022, p. 2).

3.3. *Blockchain*

O *blockchain* emergiu, no final da primeira década do século XXI, como uma das inovações mais disruptivas no campo das tecnologias digitais. A proposta inicial foi apresentada por Satoshi Nakamoto³, em 2008, no artigo intitulado *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, cujo objetivo era criar um sistema de pagamentos eletrônico descentralizado, baseado em prova criptográfica, sem a necessidade de intermediários financeiros. Embora inicialmente associado apenas às criptomoedas, o *blockchain* logo passou a ser compreendido como uma tecnologia de registro distribuído (*Distributed Ledger Technology – DLT*), com potencial de aplicação em diversos setores, inclusive na gestão pública.

De maneira conceitual, o *blockchain* pode ser definido como um livro-razão digital distribuído, no qual as informações são registradas em blocos encadeados cronologicamente e protegidos por mecanismos criptográficos. Cada bloco contém um conjunto de transações validadas, um código único denominado *hash* e a referência ao bloco anterior, formando assim uma cadeia de registros imutável. Essa característica garante que qualquer tentativa de alteração em um bloco impactaria toda a sequência, exigindo elevado poder computacional para ser concretizada, o que torna a fraude praticamente inviável (Bashir, 2017 *apud* Silva; Marques, 2021).

Diferentemente das plataformas tradicionais, que dependem da confiança em intermediários, a tecnologia possibilita a criação de sistemas *trustless*, nos quais a confiança é substituída por protocolos matemáticos e criptográficos. Nesse sentido, o *Blockchain* promove uma mudança de paradigma, pois transfere a segurança e a autenticidade das operações da esfera institucional para a esfera tecnológica.

O contexto histórico do *Blockchain* é marcado por três fases de evolução. A chamada *Blockchain* 1.0 refere-se ao uso inicial em criptomoedas, tendo o Bitcoin como exemplo paradigmático. Posteriormente, com a *Blockchain* 2.0, surgem os contratos inteligentes (*smart contracts*), que permitem automatizar acordos digitais autoexecutáveis, notadamente com a plataforma Ethereum. A fase mais recente, conhecida como *Blockchain* 3.0, expande o uso da tecnologia para além do setor financeiro, alcançando áreas como saúde, cadeia de suprimentos, identidade digital e serviços públicos (Rodrigues; Ferreira, 2024).

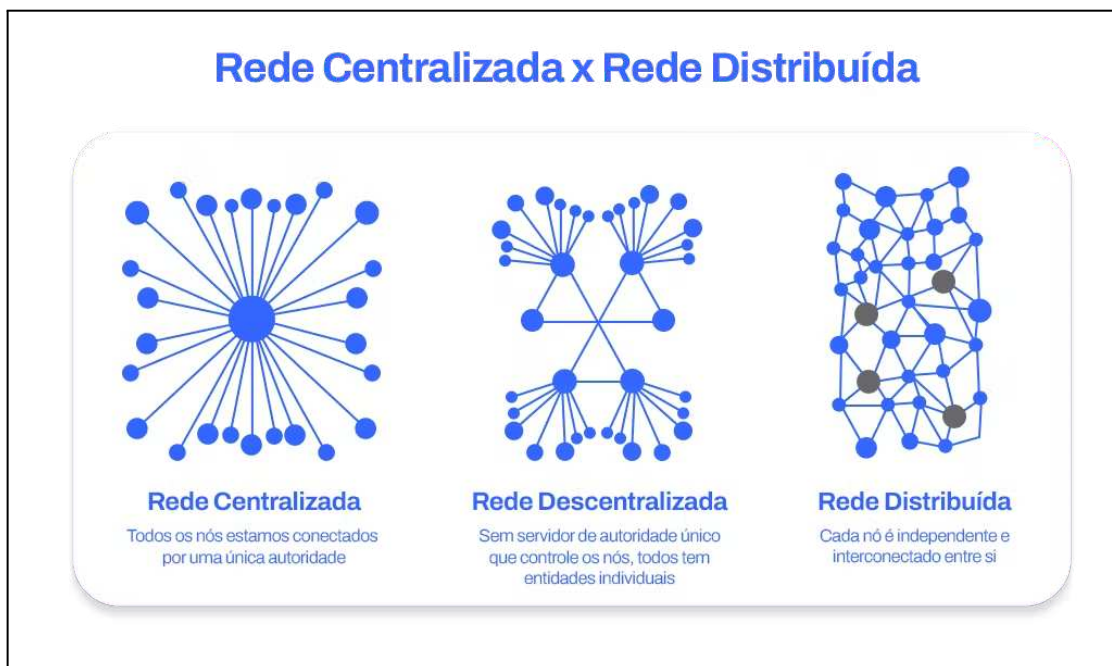
³ Satoshi Nakamoto é o pseudônimo da pessoa ou grupo de pessoas desconhecidas que desenvolveram o Bitcoin. A verdadeira identidade de Nakamoto nunca foi revelada.

No âmbito conceitual, embora haja consenso sobre o caráter descentralizado e seguro do *Blockchain*, a literatura ainda apresenta diferentes enfoques. Segundo o *Guia de Conceitos e Usos Potenciais da Blockchain no Setor Público*, da Advocacia-Geral da União (AGU), trata-se de uma tecnologia de registro distribuído que permite maior transparência, confiabilidade e rastreabilidade das transações, sendo especialmente relevante para o setor governamental (AGU, 2020). O TCU também reconhece o *Blockchain* como um recurso estratégico capaz de aprimorar a auditoria, o controle social e a governança digital no Estado (AGU, 2020).

Entre as características essenciais que diferenciam o *Blockchain* dos modelos tradicionais de armazenamento de dados, destacam-se:

- **Arquitetura Distribuída:** A característica fundamental do *Blockchain* é operar em uma rede distribuída, e não apenas descentralizada. Nesse modelo, os dados não são controlados por uma única autoridade; em vez disso, uma cópia idêntica do registro de transações é replicada e compartilhada entre todos os participantes. Cada nó da rede é independente e se conecta a vários outros, eliminando a necessidade de um servidor ou intermediário central. Essa estrutura garante uma resiliência extrema, pois não existe um ponto único de falha (*single point of failure*): se um ou vários participantes ficarem offline, a rede continua a operar de forma segura e ininterrupta, conforme ilustrada diferença da Rede Distribuída na figura 2.

Figura 2 - Comparativo entre Redes Centralizada, Descentralizada e Distribuída.



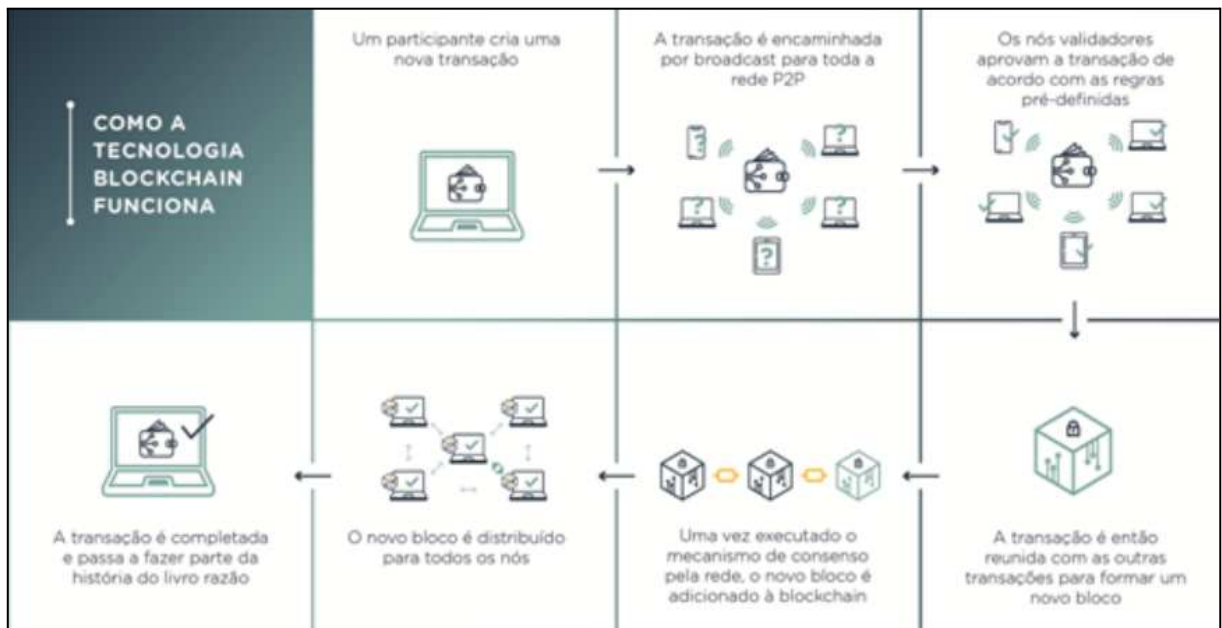
Fonte: Mundo Invest (2021).

- **Imutabilidade:** uma vez inserido, o registro não pode ser alterado sem consenso da rede, garantindo integridade das informações.
- **Transparência e auditabilidade:** todos os participantes podem verificar os registros, o que fortalece a confiança nos processos.
- **Segurança criptográfica:** o uso de chaves públicas e privadas assegura a autenticidade das transações e a identidade dos usuários.

O funcionamento do *blockchain* pode ser compreendido como um processo tecnológico que combina elementos da criptografia, da ciência da computação, da teoria dos jogos e das redes distribuídas, de modo a criar uma infraestrutura descentralizada de registro de informações. Diferentemente dos sistemas convencionais, em que uma autoridade central administra e valida transações, no *Blockchain* essa função é exercida coletivamente por uma rede de participantes interligados, denominados nós. A coordenação entre esses agentes é assegurada por algoritmos de consenso que permitem validar dados de forma descentralizada, assegurando a integridade e a confiabilidade das informações (AGU, 2020).

A figura 3 ilustra detalhes de fluxo genérico de funcionamento em uma rede *blockchain*:

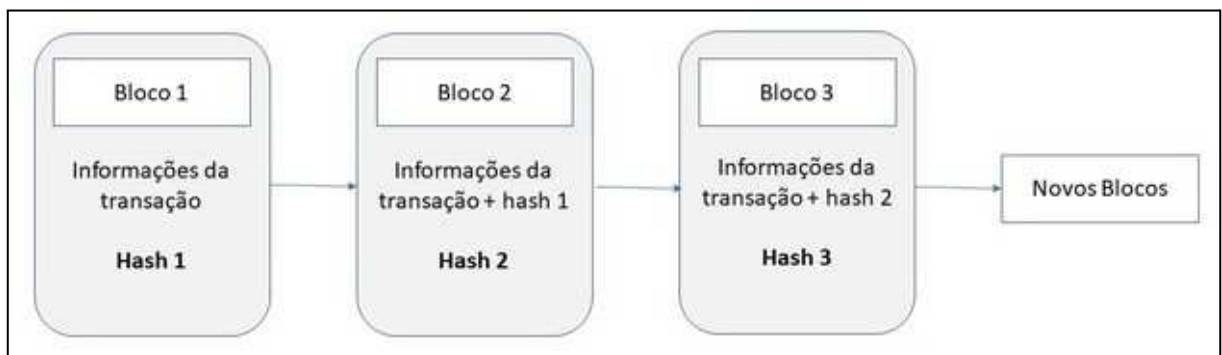
Figura 3 - Funcionamento genérico de uma *blockchain*.



Fonte: Acórdão 1613/2020 do TCU, adaptado de Comissão Europeia.

No nível estrutural, cada transação é agrupada em blocos que, por sua vez, apresentam três componentes fundamentais: o cabeçalho, que contém informações de identificação como versão, carimbo temporal e referência ao bloco anterior; o corpo, que reúne as transações validadas; e o código de autenticação, denominado *hash*, que funciona como assinatura criptográfica única. O encadeamento dos blocos ocorre justamente pela referência sucessiva entre *hashes*, formando a denominada cadeia de blocos, conforme figura 4.

Figura 4 - Estrutura de encadeamento de blocos em uma rede blockchain



Fonte: Dicionário Financeiro (2025).

Esse mecanismo assegura a imutabilidade do sistema, pois qualquer tentativa de alteração em uma transação exigiria a modificação de todos os blocos subsequentes, algo que, em redes robustas, demandaria poder computacional impraticável (Nakamoto, 2008; Rodrigues; Ferreira, 2024). Essa característica tem sido apontada pelo TCU (2020) como elemento fundamental para a rastreabilidade e a auditabilidade, dois atributos especialmente relevantes no contexto da administração pública.

A segurança do *blockchain* é reforçada pelo uso de criptografia assimétrica, baseada em pares de chaves pública e privada. A chave pública funciona como endereço digital do usuário, enquanto a chave privada possibilita assinar transações de modo único, garantindo sua autoria. Uma vez assinada com a chave privada do emissor, a transação pode ser verificada por qualquer participante da rede por meio da chave pública correspondente, assegurando a legitimidade do registro⁴. Ademais, o uso de funções de *hash* criptográfico permite detectar instantaneamente qualquer tentativa de adulteração, já que mínimas alterações em um dado resultam em códigos completamente distintos. Esses elementos tornam a tecnologia robusta contra fraudes e manipulações, fortalecendo a confiabilidade em ambientes digitais descentralizados.

Outro aspecto central para a segurança e o funcionamento das redes é o modo como os participantes chegam a um consenso sobre a validade das transações. Para essa finalidade, foram desenvolvidos diferentes algoritmos, sendo os mais conhecidos o *Proof of Work* (PoW) e o *Proof of Stake* (PoS), ambos projetados primariamente para redes públicas e sem permissão (*permissionless*), em que os participantes são anônimos e não há uma relação de confiança pré-estabelecida. O PoW, adotado na rede Bitcoin, exige que os validadores (mineradores) invistam em poder computacional para resolver problemas matemáticos complexos. Embora extremamente seguro, esse método consome uma quantidade massiva de recursos energéticos e resulta em baixa escalabilidade. Em contrapartida, o PoS, utilizado em plataformas mais recentes, substitui a competição computacional pela alocação de ativos digitais. Nesse modelo, os validadores "apostam" suas próprias moedas, e a chance de validar um novo bloco é

⁴ A primeira transação de Bitcoin, realizada em 2009 entre Satoshi Nakamoto e Hal Finney, permanece registrada e pode ser consultada publicamente na *blockchain* do Bitcoin, evidenciando a transparência e a imutabilidade do sistema.

proporcional ao montante investido, o que reduz drasticamente o consumo energético e melhora a velocidade da rede (Silveira, 2024).

A diversidade de arranjos técnicos permitiu a consolidação de diferentes modelos de *Blockchain*, geralmente classificados como públicos, privados ou consorciais. Os *Blockchains* públicos, como o Bitcoin e o Ethereum, são totalmente abertos, permitindo que qualquer indivíduo participe da rede e valide transações. Embora garantam maior descentralização e transparência, enfrentam limitações de desempenho e alto custo energético. Os *Blockchains* privados, por sua vez, são controlados por uma única organização, que estabelece as regras de acesso e de validação, oferecendo maior eficiência, mas com menor grau de descentralização. Entre esses dois extremos, encontram-se os *Blockchains* consorciais ou permissionados, geridos coletivamente por diferentes organizações ou instituições, sendo frequentemente apontados como os mais promissores para o setor público, uma vez que conciliam eficiência operacional com governança compartilhada e transparência (AGU, 2020).

Esses elementos tornam o *Blockchain* um instrumento potencialmente revolucionário para organizações públicas, uma vez que dialoga diretamente com princípios constitucionais como a publicidade, a moralidade e a eficiência. Além disso, o *Blockchain* insere-se em uma tendência mais ampla de transformação digital da administração pública, marcada pelo uso intensivo de tecnologias emergentes para modernizar processos, reduzir custos e aumentar a transparência. No caso brasileiro, relatórios recentes da AGU e do TCU apontam que a tecnologia já começa a ser discutida como um recurso de apoio à integridade em licitações, à rastreabilidade de transferências de recursos públicos e ao fortalecimento do controle social (AGU, 2020; TCU, 2020).

Em síntese, o *Blockchain* pode ser definido como um sistema de registro distribuído que alia descentralização, imutabilidade e segurança criptográfica para assegurar transações digitais confiáveis. Sua importância, contudo, transcende o aspecto tecnológico, ao representar um novo paradigma institucional, no qual a confiança não depende exclusivamente de atores humanos ou instituições, mas é incorporada na própria arquitetura do sistema. Esse caráter disruptivo torna a tecnologia especialmente relevante para a administração pública, que enfrenta desafios recorrentes de eficiência, transparência e legitimidade. Compreender o funcionamento interno da tecnologia é, portanto, passo indispensável para avaliar

seu potencial de aplicação na gestão pública, o que será detalhado nos próximos capítulos deste trabalho.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos ao longo da pesquisa, articulando os fundamentos conceituais previamente explorados com evidências empíricas e exemplos concretos da administração pública brasileira. A partir da identificação de iniciativas em diferentes áreas governamentais, busca-se compreender como essas tecnologias têm sido operacionalizadas, quais impactos produzem e de que forma dialogam com os desafios estruturais do setor público. Dessa forma, o capítulo constitui a ponte entre a base teórica discutida anteriormente e as implicações práticas da transformação digital no setor público.

4.1. Experiências e Iniciativas na Administração Pública Brasileira: Uma Análise de Casos

Esta seção apresenta uma análise de casos que ilustram como as tecnologias estudadas neste trabalho vêm sendo, efetivamente, incorporadas em iniciativas do governo brasileiro. O objetivo é examinar, de maneira comparativa e contextualizada, experiências que demonstram distintas etapas de maturidade digital, diferentes arranjos institucionais e variados propósitos de uso.

Para tanto, a seleção das iniciativas obedeceu ao critério da intencionalidade, definindo-se dois casos representativos para cada tecnologia (totalizando seis experiências), escolhidos com base na sua relevância nacional e na disponibilidade de dados. A construção descritiva de cada caso baseou-se na triangulação de fontes: confrontou-se a literatura acadêmica com documentos oficiais, portais institucionais e matérias jornalísticas, estratégia necessária para capturar dados operacionais recentes e indicadores de resultados que, pela velocidade da inovação tecnológica, muitas vezes ainda não se encontram consolidados em artigos científicos.

Essa análise empírica permite identificar padrões, limitações e avanços relevantes, servindo de base para a discussão posterior sobre desafios e oportunidades da adoção dessas tecnologias no setor público."

4.1.1. Big Data

4.1.1.1. Centro De Operações Rio

A gestão de grandes metrópoles como o Rio de Janeiro, um centro urbano de vasta população e acentuada desigualdade social, impõe a necessidade de soluções integradas para coordenar múltiplos serviços em áreas críticas (Braga *et al.*, 2023). Historicamente, a administração pública opera de forma reativa e fragmentada, com secretarias e departamentos atuando em suas próprias bases informacionais que impediam uma visão unificada dos acontecimentos da cidade. Esse modelo descentralizado e desarticulado resulta em respostas lentas e, por vezes, ineficazes a incidentes urbanos, desde problemas de trânsito até emergências climáticas, pois cada entidade detinha apenas uma fração do panorama completo. Foi para superar esse paradigma de gestão reativa que o Centro de Operações Rio (COR) foi concebido em 2010, fruto de uma parceria estratégica entre a prefeitura e a IBM. A iniciativa nasceu com o propósito de funcionar como um *hub* centralizador, integrando em tempo real os fluxos de dados de mais de trinta agências para monitorar a cidade e aprimorar os processos do setor público do Rio de Janeiro. (Braga *et al.*, 2023).

Consolidado como o principal centro de inteligência urbana⁵ da América Latina, o COR materializa essa visão integradora. A estrutura reúne cerca de 500 profissionais de mais de 50 órgãos e concessionárias de serviços públicos, criando um ecossistema de colaboração. Essa equipe multidisciplinar atua 24 horas por dia para monitorar, integrar ações de planejamento e garantir a pronta resposta a impactos de ocorrências como chuvas intensas, deslizamentos, acidentes e eventos de grande porte. Inaugurado em dezembro de 2010, o COR-Rio tornou-se um modelo de referência internacional, exportando seus protocolos e procedimentos para o enfrentamento de eventos extremos e inspirando a criação de centros similares em outras cidades do país e do mundo. O reconhecimento de sua excelência é atestado por prêmios de prestígio, como o Ibero-Americano DTI 2025 na categoria Tecnologia e Gestão de Dados, o Connect Smart Cities em 2021, e o Latin America Geospatial em 2014 (Centro de Operações Rio, 2025).

⁵ A inteligência urbana é um conceito central no campo das Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), referindo-se à capacidade de uma cidade integrar e analisar dados provenientes de múltiplas fontes. O objetivo é gerar conhecimento e *insights* para apoiar a tomada de decisão e otimizar os serviços urbanos.

O objetivo central do COR é transformar um volume massivo de informações — provenientes do monitoramento de tráfego, da meteorologia, da defesa civil, dos órgãos de segurança e de dados enviados pelo próprio público — em inteligência acionável (Braga *et al.*, 2023). Essa capacidade de processamento e análise permite não apenas uma resposta coordenada e eficiente a incidentes em curso, mas, fundamentalmente, a antecipação de eventos críticos, funcionando como um suporte estratégico vital para o planejamento das secretarias e agências governamentais. A sua missão é, portanto, viabilizar um modelo de governança proativa, no qual, conforme descreve o estudo de caso de Braga *et al.*, (2023, p. 3414), "[...] concebe soluções em conjunto para as diversas contingências da cidade carioca".

A arquitetura operacional do COR é estruturada para garantir agilidade e especialização, com uma organização interna dividida em chefias executivas e duas subchefias especializadas: uma focada nas operações da cidade, responsável pela mobilidade e tratamento de crises climáticas, e outra voltada ao monitoramento e apoio à segurança pública (Braga *et al.*, 2023). A base tecnológica que sustenta essa complexa estrutura é o GEOPORTAL, um sofisticado sistema de informação geográfica que permite a visualização de múltiplas camadas de dados sobre um mapa dinâmico da cidade (Braga *et al.*, 2023). Através dele, operadores podem filtrar e analisar em tempo real informações como o fluxo do trânsito, registros de pluviômetros e a localização de ônibus via GPS (Braga *et al.*, 2023). O monitoramento é reforçado por um moderno *data center* e uma vasta rede de sensores, que inclui cerca de 5.000 câmeras, controle semafórico, sensores georreferenciados e uma malha de *wi-fi* urbano, garantindo uma cobertura informacional abrangente e detalhada.

O processo de transformar essa imensa quantidade de dados brutos em inteligência para a tomada de decisão é o cerne da operação do COR. As decisões são fundamentadas na análise de dados históricos sobre o comportamento dos diversos fenômenos urbanos, o que possibilita a criação de planos de ação preventivos e robustos (Braga *et al.*, 2023). Por exemplo, o plano de trabalho para o período de chuvas observa todas as séries históricas de incidentes, questões climáticas e dados de pluviômetros para gerar um mapa de risco detalhado. Esse mapa é então discutido com os vários órgãos de apoio para alinhar estratégias. A partir do cruzamento dessas informações, são desenvolvidos procedimentos operacionais padrão que guiam as ações das equipes em diferentes cenários,

garantindo que a resposta a uma emergência seja sistemática, coordenada e baseada nas melhores práticas aprendidas com eventos passados (Braga *et al.*, 2023).

A visão de futuro do COR é aprofundar a automação e a inteligência de sua plataforma, mantendo-se na vanguarda da inovação em gestão urbana. Um dos projetos em andamento é a implantação de "postes inteligentes" em áreas estratégicas, equipados com fibra óptica e sensores para uma coleta de dados ainda mais granular (Braga *et al.*, 2023).

O uso de *Big Data Analysis*, nesse caso, foi fundamental, pois a mineração de grande volume de dados é o que permite transformar a vasta quantidade de informações em conhecimento estratégico (Braga *et al.*, 2023). A ambição se estende à incorporação de *machine learning*, para que o sistema possa aprender com as decisões tomadas e, futuramente, sugerir ou até acionar as agências responsáveis de forma autônoma, consolidando como o *Big Data* pode auxiliar no desempenho de ações e potencializar respostas a incidentes em cidades inteligentes.

4.1.1.2. DataViva

A crescente digitalização da gestão governamental gerou um volume de dados sem precedentes, inaugurando a era do *Big Data* na administração pública. Este fenômeno, caracterizado pelo massivo volume, alta velocidade e ampla variedade de informações, apresenta tanto um desafio monumental quanto uma oportunidade singular para a modernização do Estado. Nesse contexto, a transformação de dados brutos em conhecimento estratégico para a tomada de decisão tornou-se um imperativo para governos que buscam maior eficiência, transparência e capacidade de resposta às demandas sociais. No Brasil, um dos exemplos emblemáticos dessa transformação é a plataforma DataViva, uma iniciativa pioneira que materializa o potencial da análise de grandes volumes de dados para a formulação de políticas públicas.

Lançada em 2013, a plataforma surge como um marco, tornando Minas Gerais pioneira na disponibilização de dados socioeconômicos neste formato. O projeto foi desenvolvido pelo Governo de Minas Gerais, com financiamento de sua agência de fomento à inovação, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a partir de uma colaboração estratégica com acadêmicos

de renome, como os professores Ricardo Hausmann, da Harvard Kennedy School of Government, e Cesar Hidalgo, do Massachusetts Institute of Technology (MIT). Essa parceria entre o poder público e centros de pesquisa de vanguarda posicionou o DataViva como uma ferramenta de governança ativa e colaborativa. Concebida fundamentalmente como um instrumento de utilidade pública, o DataViva é “[...]:

uma plataforma de visualização dados [sic] focada em *Big Data*. Sua missão é fundamentar processos de decisão e investigação científica através da utilização de grandes conjuntos de dados, fortalecendo uma cultura *data-driven* nas esferas pública e privada” (DataViva, 2025, on-line)

A iniciativa emerge, portanto, como uma resposta direta à necessidade de converter o vasto e complexo acervo de dados governamentais em conhecimento acionável, capacitando múltiplos atores sociais — gestores públicos, empreendedores, acadêmicos e cidadãos — com insumos para decisões mais bem fundamentadas e estabelecendo um pilar para uma nova cultura de gestão orientada por evidências.

A robustez da plataforma DataViva reside em sua capacidade de processar e dar sentido a um volume massivo e heterogêneo de informações, característica central do fenômeno *Big Data*. A iniciativa integra e analisa um conjunto de dados de escala nacional. Conforme detalhado por Ersoy e Alberto (2019, p. 376, tradução nossa), a "plataforma disponibiliza dados oficiais estratégicos (sobre exportações, atividade econômica, localização, educação e ocupações) não só para Belo Horizonte mas também para mais de 5000 outros municípios brasileiros”.

A magnitude dos dados, que representam as dimensões de Volume e Variedade, é explicitada da seguinte forma:

São mais de 4 milhões de registros de comércio internacional por ano, mais de 50 milhões de registros de empregados por ano e mais de 40 milhões de registros de matrículas. Possibilitar que este volume de dados se transforme em informações relevantes é o verdadeiro desafio de execução de uma plataforma elaborada sob o conceito de *Big Data*. (Pessoa; Freitas; Borges, 2016, p. 11)

Lidar com essa escala exige mais do que simples capacidade de armazenamento; requer uma infraestrutura tecnológica e analítica capaz de realizar a integração, o processamento e a análise de fontes de dados díspares e complexas. O desafio inerente a essa escala não é apenas técnico, mas conceitual: transformar essa imensidão de registros em *insights* coerentes e úteis.

Para além de sua robusta arquitetura conceitual e tecnológica, o valor fundamental da plataforma DataViva reside em sua filosofia de democratização do conhecimento e no conseqüente impacto sobre a governança pública. A iniciativa parte do pressuposto de que a simples disponibilização de dados, por si só, é insuficiente para gerar valor social. A verdadeira transformação ocorre quando informações complexas são traduzidas em formatos intuitivos e acessíveis, capacitando um público amplo a extrair seus próprios *insights*. Essa abordagem é explicitada pelo líder da equipe de desenvolvimento, Caesar Hidalgo, ao afirmar que: “Abrir os dados de uma forma visual é a maneira mais importante de fazer com que os dados cheguem ao público. A visualização de dados permite que as pessoas realmente usem os dados” (Hidalgo *apud* Jia, Li & Gao, 2017, tradução nossa, p. 25). O DataViva operacionaliza essa visão ao oferecer uma vasta gama de representações gráficas, incluindo curvas empilhadas, mapas, *tree-maps*, que tornam a exploração de padrões socioeconômicos uma tarefa intuitiva.

Essa ênfase na visualização interativa confere à plataforma um caráter eminentemente democrático, quebrando as barreiras de conhecimento técnico que tradicionalmente limitam a análise de dados a um círculo restrito de especialistas. Com efeito, “a flexibilidade da plataforma possibilita que cada indivíduo a utilize para responder àquelas perguntas que lhe interessam diretamente, tornando-se a ferramenta de análise e diagnóstico” (Pessoa, Freitas; Borges, 2016, p. 3). Um gestor municipal pode, por exemplo, analisar a vocação econômica de sua região para atrair investimentos, um estudante pode investigar as tendências do mercado de trabalho para orientar sua carreira, e um jornalista pode fundamentar suas reportagens com evidências empíricas robustas.

O impacto do DataViva, por fim, transcende a função de uma ferramenta de consulta, consolidando-se como um catalisador para um ecossistema de inovação e um novo modelo de governança colaborativa. A plataforma se estabelece como um espaço de diálogo e planejamento compartilhado, onde a análise de dados públicos fomenta novas formas de interação entre governo, academia e o setor privado. Conforme apontam Pessoa, Freitas e Borges (2016, p. 3):

[...] mais do que apenas disponibilizar informações públicas, o DataViva é uma plataforma de planejamento colaborativo, em que todos podem explorar a complexidade das histórias por trás dos dados, de maneira livre, crítica e propositiva. Ao apontar relações e evidenciar dinâmicas que não eram vistas até então, o sistema permite que atores públicos e privados

aprimorem suas estratégias e decisões (Pessoa, Freitas e Borges (2016, p. 3).

O DataViva, portanto, exemplifica a aplicação prática do *Big Data* para decifrar a complexidade socioeconômica de um país. Ao fazer isso, a plataforma se firma como um caso de referência sobre como a aplicação estratégica do *Big Data* pode gerar valor público, aumentar a transparência governamental e, fundamentalmente, construir uma cultura de gestão mais inteligente, participativa e baseada em evidências compartilhadas.

4.1.2. Inteligência Artificial

4.1.2.1. Sistema ALICE

No cenário de transformação digital, a Inteligência Artificial e a governança algorítmica emergem como pilares para a reestruturação da auditoria governamental, transitando de um modelo reativo e amostral para uma abordagem proativa, contínua e baseada em dados massivos. No epicentro dessa inovação no Brasil está o Sistema ALICE - acrônimo de Analisador de Licitações, Contratos e Editais - uma solução tecnológica idealizada pela Controladoria-Geral da União (CGU) em 2014 e lançada em 2015. Essencialmente, o sistema Alice é uma ferramenta que analisa diariamente, de forma automatizada, processos de compras e contratações públicas. Sua concepção partiu da necessidade de superar as limitações operacionais da auditoria tradicional que, diante do colossal volume de licitações, mostrava-se incapaz de realizar uma fiscalização exaustiva e em tempo hábil para prevenir irregularidades.

O sucesso e o potencial da ferramenta desenvolvida pela CGU rapidamente chamaram a atenção de outros órgãos de controle. Em maio de 2016, foi concretizada uma parceria de cooperação técnica na qual a CGU cedeu o sistema ao TCU. A partir de então, o TCU adotou, evoluiu e usa a ferramenta até os dias atuais.

O sistema se enquadra conceitualmente como uma materialização da Auditoria Contínua, uma vez que, conforme destacam Rocha, Rezende e Oliveira (2022, p. 296), "[...] é, portanto, uma ferramenta de Auditoria Contínua, com funcionamento de automação robótica de processos, que emite alertas sobre possíveis problemas em compras públicas".

A operacionalização do sistema é marcada por um notável grau de autonomia e sofisticação técnica, iniciando seu ciclo de atuação de forma imediata e proativa. Conforme destaca Machado (2025, p. 63), "a análise conduzida pela ferramenta Alice ocorre de maneira cotidiana e autônoma, dispensando a intervenção humana em sua execução". Esse processo preventivo se desdobra em duas fases distintas. Na primeira, que ocorre no momento exato da publicidade do certame, o sistema realiza uma varredura textual automatizada do documento recém-publicado. A aplicação do sistema pelo TCU ilustra essa abrangência inicial:

Trata-se de um sistema que busca possíveis inconsistências nos editais de licitação e atas de pregão eletrônico publicados diariamente no Portal de Compras do Governo Federal – Comprasnet, realizando análises e enviando mensagens eletrônicas, de forma automática, às unidades técnicas, no mesmo dia da publicação desses editais e atas, com apontamentos dos riscos detectados, considerando aspectos como os valores envolvidos e buscando tipologias de restrição à competitividade previstas na jurisprudência do TCU. (Machado, 2025, p. 61)

Após essa análise inicial focada no texto do edital, o Sistema avança para uma segunda e igualmente crucial fase de sua atuação preventiva, que se desenrola à medida que os concorrentes se apresentam para disputar o certame. Neste momento, o sistema deixa de analisar apenas o "o quê" está sendo licitado para investigar "quem" está participando da licitação. Essa etapa é formalmente disparada a partir dos registros do processo, pois, como esclarecem Nacano *et al.* (2018, p. 12, *apud* Machado, 2025, p. 67): "já nas atas de pregão eletrônico, o sistema identifica os fornecedores participantes e os vencedores do pregão e, em seguida, executa 23 análises de cruzamentos de dados".

Essa capacidade de correlacionar informações de múltiplas fontes é o que permite a detecção de esquemas sofisticados de fraude, pois, como aponta Machado (2025, p. 71), "o ALICE cruza informações de diversas bases de dados, o que permite identificar conexões suspeitas e esquemas complexos de corrupção que seriam difíceis de detectar por métodos tradicionais". As bases utilizadas incluem o Cadastro de Pessoas Físicas (CPF), o Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ) e, fundamentalmente, o Cadastro Nacional de Empresas Inidôneas e Suspensas (CEIS), entre outras. Essa habilidade de conectar informações dispersas permite que o sistema identifique padrões que, isoladamente, poderiam passar despercebidos, mas que, em conjunto, revelam riscos elevados.

O resultado desse cruzamento é a identificação de um conjunto de "tipologias" de irregularidades, que são agrupadas em três classes principais de

risco: a proibição de contratação com a administração pública, a identificação de "empresas fantasmas" e a detecção de baixa competitividade. Na primeira classe, o sistema verifica se alguma empresa participante ou seus sócios constam em cadastros de sanções, como o CEIS. A análise vai além, buscando identificar tentativas de burlar punições, como quando o "sócio ou administrador da empresa vencedora do certame ou contratada é também sócio ou administrador de pessoa jurídica proibida de contratar com a Administração Pública" (Machado, 2025, p. 100). Para a segunda classe, o sistema busca por indícios de empresas de fachada, utilizando trilhas de auditoria específicas, como a que identifica um "Licitante participante de pregão eletrônico que possui pelo menos um sócio falecido em seu quadro societário" (Machado, 2025, p. 102).

Na terceira classe, focada na simulação de competição, o sistema é particularmente robusto, buscando uma vasta gama de relacionamentos suspeitos entre os concorrentes. O TCU (2018) *apud* Menezes (2021, p. 63), por exemplo, define como indícios de conluio a existência de "Licitantes com sócios com parentesco", "Licitantes com ex-sócios em comum" e "Licitantes com contadores em comum".

A análise é tão granular que inclui a verificação da participação de "Licitantes matriz e filial" no mesmo certame. Outro ponto de atenção é a verificação de potenciais conflitos de interesse, onde uma trilha de auditoria específica é projetada para identificar se um licitante possui como sócio servidor público estadual ou municipal, ou se há um vínculo direto entre a empresa contratada e um empregado da própria entidade contratante. A análise, portanto, transcende a documentação do processo licitatório e se aprofunda na rede de relações que o permeia, transformando dados brutos em inteligência acionável e permitindo uma fiscalização preventiva, cirúrgica e altamente eficaz.

Nessa lógica, o sistema aplica um poderoso motor analítico, cuja arquitetura tecnológica é um dos seus maiores diferenciais. Conforme detalha Machado (2025, p. 63), "a operacionalização da ferramenta Alice fundamenta-se na aplicação de técnicas computacionais avançadas, abrangendo o uso de Aprendizado de Máquina (Machine Learning - ML) e Expressões Regulares (Regex)". As Expressões Regulares (Regex) são utilizadas para identificar padrões textuais específicos nos documentos, como cláusulas restritivas ou exigências editalícias que já foram mapeadas como irregulares pela jurisprudência dos órgãos de controle. O

Aprendizado de Máquina, por sua vez, confere ao sistema a capacidade de "aprender" com novos dados, identificando anomalias e padrões de fraude que não foram previamente codificados, tornando a análise mais dinâmica e adaptativa.

O resultado desse robusto processo analítico é a geração de alertas qualificados, que são direcionados aos auditores para subsidiar a ação de controle. A finalidade desses alertas, como define Machado (2025, p. 17), é propiciar "a intervenção preventiva e tempestiva em processos licitatórios publicados". Esses alertas não são meras notificações binárias de "risco" ou "não risco", mas sim um dossiê analítico que contextualiza a potencial irregularidade, como detalhado por Nacano *et al.* (2018, p. 12) (*apud* Machado, 2025, p.67):

O resultado das análises é enriquecido com a atribuição de fator de risco ao certame (em função da gravidade dos indícios encontrados) e com a extração do valor estimado da licitação a partir do edital (materialidade do objeto), possibilitando ação de controle mais tempestiva e efetiva. Após as análises, as secretarias responsáveis por fiscalizar as aquisições federais recebem dois e-mails sobre os editais e atas publicados no dia relativos à sua clientela, com os alertas referentes aos indícios encontrados e links para informações complementares no sistema DGI Consultas. (Nacano *et al.*, 2018, p.12 *apud* Machado, 2025, p. 67)

Dessa forma, a ferramenta opera sob uma lógica de "auditoria por exceção", direcionando o recurso humano – a expertise do auditor – para os casos que apresentam a maior combinação de probabilidade de irregularidade e impacto financeiro potencial. Isso otimiza drasticamente a alocação de esforços da equipe de fiscalização, permitindo uma cobertura muito mais ampla e estratégica do universo de contratações públicas. A tempestividade é, talvez, o atributo mais transformador do sistema, pois redefine o momento da atuação do controle. A capacidade de intervir antes da consolidação do dano ao erário representa o principal valor agregado pela ferramenta:

O trabalho garante tempestividade à atuação da CGU porque ocorre em apenas oito dias corridos a partir da data de publicação do edital ou do ato relacionado com a compra. Com essa agilidade de análise, possíveis recomendações podem ser implementadas pelos gestores antes da realização da sessão pública do pregão, por exemplo. O objetivo principal do trabalho é agregar valor à gestão pela indicação de riscos sobre a futura contratação. (Rocha; Rezende; Oliveira, 2022, p. 300)

Essa capacidade de intervenção tempestiva se traduz em resultados financeiros expressivos, que atestam a efetividade do ALICE como um instrumento de proteção ao patrimônio público. Os dados consolidados demonstram um impacto direto na economia de recursos, com cifras que validam o investimento na tecnologia. De acordo com os registros da CGU, "Já são mais de R\$ 9,7 bilhões em

compras suspensas a partir de suas indicações, apenas pela CGU" (Rocha; Rezende; Oliveira, 2022, p. 296). No âmbito do TCU, a aplicação da ferramenta também gerou benefícios financeiros significativos, como os R\$ 3,8 bilhões em benefícios de controle alcançados pela Secretaria de Fiscalização de Tecnologia da Informação (Sefti) em 2019, a partir de informações fornecidas pelo sistema.

A evolução do Sistema ALICE demonstra um esforço contínuo de aprimoramento e expansão de suas capacidades. Uma das iniciativas mais relevantes nesse sentido é o "Projeto Alice Nacional", uma cooperação técnica entre o TCU e os tribunais de contas estaduais e municipais, com o apoio da Associação dos Membros dos Tribunais de Contas do Brasil (Atricon). O objetivo é estender a aplicação da ferramenta para analisar editais de licitação e atas de pregões de estados e municípios, criando uma rede nacional de controle automatizado. A ideia consiste na criação de uma base de dados nacional de contratações públicas, permitindo análises comparativas e a identificação de padrões de fraude em uma escala nacional. A colaboração interinstitucional é um pilar desse projeto, no qual os tribunais parceiros contribuem com dados e, em contrapartida, recebem acesso às análises e alertas gerados pela plataforma.

Paralelamente à expansão de seu escopo geográfico, o ALICE tem sido integrado a um ecossistema de outras ferramentas de inteligência artificial desenvolvidas pelo TCU, que, em conjunto, formam uma suíte robusta para a análise de dados no controle externo. Ferramentas como Monica (Monitoramento Integrado para o Controle de Aquisições), que oferece um painel com informações detalhadas sobre as compras efetuadas na esfera federal; Adele (Análise de Disputa em Licitações Eletrônicas), que monitora a dinâmica dos lances em pregões para detectar indícios de conluio; Sofia (Sistema de Orientação sobre Fatos e Indícios para o Auditor), que realiza uma revisão crítica dos textos produzidos pelos auditores, cruzando informações e identificando inconsistências; e Carina (Crawler e Analisador de Registros da Imprensa Nacional), que extrai diariamente informações de aquisições publicadas no Diário Oficial da União, complementam e enriquecem a atuação do ALICE.

Nesse ecossistema, destaca-se a sinergia com o Ágata (Aplicação para Geração de Análise Textual com Aprendizado), uma solução baseada em algoritmos de aprendizado de máquina utilizada para o refinamento e a atualização dos alertas emitidos pelo ALICE. O Ágata permite que os próprios auditores, sem conhecimento

aprofundado em tecnologia, "treinem" o algoritmo, rotulando os resultados das buscas textuais como pertinentes ou não. Esse processo de *feedback* contínuo aprimora a inteligência do sistema, aumentando a precisão dos alertas e reduzindo a incidência de falsos positivos. Todas essas ferramentas são alimentadas pelo LabContas (Laboratório de Informações de Controle), um ambiente virtual que centraliza e integra mais de 90 bases de dados da Administração Pública Federal, funcionando como o "cérebro" que fornece os insumos para os robôs e painéis de dados. Essa integração sistêmica demonstra uma visão estratégica de longo prazo, na qual a inteligência artificial não é vista como uma solução isolada, mas como parte de uma infraestrutura de dados coesa e colaborativa, projetada para transformar digitalmente os processos de trabalho e potencializar o impacto do controle externo na sociedade brasileira.

4.1.2.2. Projeto Victor

A modernização do Poder Judiciário brasileiro, impulsionada pela inevitável transformação digital que redefine as instituições contemporâneas, encontra no Projeto Victor um de seus mais emblemáticos e audaciosos marcos. Concebido a partir de uma colaboração estratégica entre o Supremo Tribunal Federal (STF) e a Universidade de Brasília (UnB), o projeto representa a aplicação pioneira da IA em um dos gargalos mais críticos da mais alta corte do país. Formalmente, conforme Dias *et al.*, 2023:

o Projeto Victor se constitui numa ferramenta de inteligência artificial criada a partir da iniciativa do Supremo Tribunal Federal em parceria com a Universidade de Brasília, com objetivo de aplicar métodos de aprendizado de máquina (*machine learning*) para realizar o reconhecimento de padrões em processos jurídicos de repercussão geral levados à apreciação do STF" (Dias *et al.*, 2023, p. 7622).

O nome do projeto, uma homenagem ao ministro Victor Nunes Leal⁶ - responsável pela histórica sistematização da jurisprudência do STF em Súmulas - carrega em si a simbologia de sua missão: organizar, sistematizar e conferir celeridade ao fluxo de trabalho da Corte por meio da inovação (Peixoto, 2020). Sua magnitude e complexidade o posicionaram, desde o início, como o maior e mais complexo Projeto de IA do Poder Judiciário (STF, 2018 *apud* Peixoto, 2020),

⁶ O ministro Victor Nunes Leal atuou por nove anos na suprema corte brasileira, iniciando a trajetória em 1960 e terminando em 1969, até ser aposentado compulsoriamente pelo regime militar.

sinalizando uma mudança de paradigma na forma como a gestão processual é concebida e executada no serviço público.

A gênese do projeto está intrinsecamente ligada a um desafio de ordem prática e de grande impacto para a efetividade da justiça: o volume massivo e crescente de Recursos Extraordinários e Agravos que aportam diariamente no STF. A análise manual para aferir o cumprimento do requisito de admissibilidade da repercussão geral, uma tarefa repetitiva, minuciosa e de baixo valor intelectual agregado, gerava um significativo congestionamento processual. Havia, segundo Peixoto (2020, p. 12), uma "robusta percepção na intensificação na atividade humana na manipulação da massa de dados jurídicos, procedimentos repetitivos e sujeição à estresse laboral, erros e necessidade de retrabalho".

A funcionalidade central do Projeto Victor reside na sua capacidade de automatizar a triagem inicial dos recursos, uma etapa crucial do juízo de admissibilidade. Conforme a análise de Dias *et al.* (2023), que se baseia em Filho *et al.* (2018):

No campo processual, o Projeto Victor tem a finalidade de realizar o juízo de admissibilidade acerca da repercussão geral no âmbito da Suprema Corte, avaliando todos processos em sede de recurso extraordinário, bem como os agravos relativos a este instrumento jurídico (Filho *et al.*, 2018 *apud* Dias *et al.*, 2023, p. 7622).

Em termos práticos, a inteligência artificial analisa o conteúdo textual dos processos para classificá-los, identificando se eles se enquadram em algum dos temas de repercussão geral previamente definidos pelo Tribunal (Peixoto, 2020). Essa tarefa, que antes demandava um tempo considerável dos servidores, é agora executada pelo sistema com mais velocidade e precisão.

Apesar da alta tecnologia empregada, a estratégia de implementação do Projeto Victor é firmemente ancorada em uma filosofia de colaboração homem-máquina. A iniciativa afasta-se deliberadamente de uma visão de substituição do trabalho humano pela automação. O propósito, conforme esclarece o próprio tribunal, não é delegar a decisão final a um algoritmo, mas, sim, usar a IA para atuar em camadas de organização dos processos, de modo que os responsáveis pela análise dos recursos possam identificar os temas relacionados de forma mais clara e consistente (STF, 2018, *apud* Filho; Junquillo, 2018).

A avaliação da pertinência e do sucesso de uma inovação tecnológica no setor público transcende a mera análise de sua arquitetura conceitual, exigindo uma

rigorosa aferição de seus resultados práticos e do impacto sistêmico que ela promove. No caso do Projeto Victor, a eficácia do projeto é sustentada por métricas quantitativas que demonstram uma transformação paradigmática na eficiência operacional do Supremo Tribunal Federal. O indicador mais expressivo e frequentemente citado refere-se à drástica redução do tempo necessário para a execução da tarefa de triagem processual, reduzindo para cinco segundos, um trabalho que antes era feito em 44 minutos, por servidores humanos. (STF, 2021 *apud* Dias *et al.*, 2023)

Este ganho exponencial de celeridade, que representa uma otimização de mais de 500 vezes, não foi alcançado em detrimento da qualidade. Pelo contrário, o sistema opera com um elevado grau de confiabilidade, ostentando uma acurácia de 95% em suas classificações, conforme dados do próprio tribunal (Supremo Tribunal Federal, 2021 *apud* Dias *et al.*, 2023). A combinação de velocidade e precisão configura um avanço notável, pois desfaz o antigo dilema entre celeridade e acuidade, provando que é possível acelerar o trâmite processual sem sacrificar o rigor técnico.

O impacto do Projeto Victor, contudo, não se restringe à eficiência de uma tarefa isolada; ele reverbera por todo o ecossistema processual do STF, gerando um impacto sistêmico positivo. Ao automatizar e acelerar a triagem inicial, a ferramenta atua diretamente sobre um dos principais gargalos do fluxo de trabalho, o que, por consequência, contribui para a melhoria da gestão do acervo geral da Corte. A esse respeito, Andrade e Prado (2022, p. 54) concluem que "o software VICTOR possibilitou uma considerável economia de tempo na identificação de Repercussão Geral dos Recursos Extraordinários, influenciando na redução numérica da classe recursal no STF".

Para além dos expressivos ganhos operacionais, o legado mais duradouro e estratégico do Projeto Victor pode residir em um subproduto de sua implementação: a criação de um vasto e estruturado banco de dados sobre a litigância de repercussão geral. A necessidade de treinar os algoritmos de *machine learning* forçou o STF a organizar e a sistematizar informações que antes se encontravam dispersas em peças processuais não estruturadas. Esse ativo informacional, por si só, tornou-se uma fonte de inteligência sem precedentes para a governança judiciária, permitindo análises e diagnósticos que transcendem a função original do

projeto. Como detalham Filho e Junquilha (2018, p. 228), as possibilidades abertas por esse novo repositório de dados são amplas e estratégicas:

Nesse sentido, a formação do banco de dados é passo importante que apresenta, por si só, elementos fundamentais para a administração do Judiciário brasileiro, os quais, analisados pelo STF e pelo CNJ, podem possibilitar a compreensão: a) dos litigantes mais frequentes que chegam ao STF; b) dos temas de repercussão geral que têm maior volume de processos vinculados e, conseqüentemente, dos temas recentes que cumprem com maior eficácia os objetivos da repercussão geral; c) de quais questões constitucionais estão sofrendo maior judicialização; d) de eventuais casos excepcionais que são reiterados e similares (podendo formar precedentes), mas ainda não se enquadram em algum tema atualmente existente. Possibilita-se, dessa forma, o diagnóstico atual da repercussão geral, o que potencializa a melhoria no manejo desse importante instrumento. (Filho; Junquilha, 2018, p. 228).

Essa capacidade de gerar *insights* a partir de dados concretos representa uma evolução fundamental, permitindo que o STF passe de uma gestão puramente reativa para uma administração proativa e orientada por evidências. A análise de padrões de litigância pode informar a criação de novas súmulas, orientar a pauta de julgamentos e fornecer subsídios para o diálogo com outros poderes e com a sociedade. Desse modo, o Projeto Victor firma-se como um paradigma para o futuro da justiça no Brasil, demonstrando que o uso inteligente da tecnologia pode tornar a prestação jurisdicional não apenas mais rápida e eficiente, mas, fundamentalmente, mais estratégica, transparente e capaz de aprender consigo mesma para aprimorar continuamente seu serviço à sociedade.

4.1.3. *Blockchain*

4.1.3.1. Projeto SOL

O projeto SOL (Solução Online de Licitação) é um exemplo notável da aplicação da tecnologia *Blockchain* na gestão pública brasileira, introduzindo inovações em processos administrativos descentralizados. Desenvolvido pelo Governo da Bahia em parceria com o Banco Mundial, e, posteriormente, replicado pelo Governo do Rio Grande do Norte, o projeto tem como objetivo principal digitalizar e assegurar a integridade dos processos licitatórios realizados por associações e cooperativas da agricultura familiar vinculadas a programas de fomento público, como o *Bahia Produtiva* e o *Governo Cidadão* (SOL, 2025). Essas organizações, ainda que de natureza privada, são executoras de recursos públicos e, portanto, sujeitas à Lei nº 13.019/2014 (BRASIL, 2014), que estabelece o Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MROSC).

O SOL surgiu como uma resposta inovadora a um cenário de armazenamento de informações sobre licitações. O aplicativo integra todas as etapas do processo de licitação em uma plataforma digital, permitindo a geração automática de editais, o envio de propostas eletrônicas, a formalização de atas e contratos, bem como o acompanhamento público das etapas. No entanto, o aspecto mais inovador do projeto está na utilização do *blockchain* como camada de segurança e confiança para os registros administrativos, introduzindo um novo paradigma de integridade documental no setor público.

A arquitetura tecnológica do SOL foi desenvolvida pela empresa Caiena Tecnologia e Design, em código aberto (*open source*), o que permite auditoria e reuso da solução por outros entes federativos. Seu repositório público, disponível no GitHub, inclui módulos voltados à integração de APIs, interfaces de fornecedores e blocos específicos de registro em *Blockchain*. A tecnologia é utilizada de maneira estratégica: a cada etapa relevante do processo licitatório — publicação de edital, recebimento de propostas, julgamento, assinatura de ata e celebração de contrato — o sistema gera um *hash* criptográfico correspondente, que é gravado em uma *Blockchain* permissionada mantida em infraestrutura estatal. Essa prática cria uma “impressão digital” imutável de cada documento, impedindo adulterações posteriores. Caso um edital ou contrato seja alterado após o registro, o novo *hash* não coincidirá com o registro anterior, sinalizando uma inconsistência. Assim, o *Blockchain* funciona como um carimbo de tempo público e inviolável, assegurando que as informações divulgadas às comunidades rurais, fornecedores e órgãos de controle sejam autênticas.

Ao adotar a *Blockchain* como camada de validação e auditabilidade, o projeto SOL adiciona a imutabilidade como princípio das informações da licitação, depositando a confiança na própria estrutura, em que cada bloco de informações é ligado ao anterior por meio de criptografia, formando uma cadeia inquebrável e auditável, tornando o processo resistente a tentativas de manipulação interna ou externa.

Desde sua implementação, o SOL demonstrou resultados expressivos tanto em eficiência administrativa quanto em legitimidade social. Dados oficiais divulgados pela Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional (CAR-BA) e pela própria Caiena indicam que o sistema já beneficiou mais de 1.100 associações e cooperativas, com 1.800 fornecedores cadastrados e aproximadamente 4.000

contratos firmados, movimentando cerca de R\$30 milhões em recursos públicos (SOL, 2025). A digitalização do processo também proporcionou ganhos de rastreabilidade, uma vez que cada ato — da abertura do edital à homologação — é registrado e autenticado de modo verificável. Em reconhecimento à sua relevância e inovação, o projeto recebeu o *iF Design Award 2020*, prêmio internacional concedido a soluções de destaque em design e inovação no setor público.

Sob o ponto de vista conceitual, o caso do SOL é exemplar na demonstração de como o *blockchain* pode ser utilizada sem substituir a infraestrutura existente, mas complementando-a com uma camada de segurança e auditabilidade. Em termos técnicos, o *blockchain* do SOL não armazena o conteúdo integral dos documentos, mas apenas os *hashes*, ou seja, os resumos criptográficos que atestam sua integridade. Isso garante eficiência, privacidade e compatibilidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) (Lei nº 13.709/2018), ao não inserir dados sensíveis que poderiam ser alterados (Brasil, 2018).

O sistema mantém, assim, um equilíbrio entre transparência pública e proteção da informação sensível, já que o conteúdo completo continua hospedado em ambiente seguro do governo estadual, enquanto a *Blockchain* guarda apenas o registro da integridade documental. Essa abordagem é coerente com os princípios de governo digital estabelecidos pelo Decreto nº 10.332/2020, que institui a Estratégia de Governo Digital e incentiva o uso de tecnologias para aumentar a confiança e a eficiência dos serviços públicos.

A adoção da *blockchain* no SOL, contudo, não se restringe a um avanço tecnológico na segurança das informações. Ela representa também um avanço institucional, pois altera a lógica de responsabilização e controle. A partir do momento em que cada registro do processo licitatório é validado por uma rede distribuída, cria-se um mecanismo de *accountability* automatizado, em que qualquer auditor ou cidadão pode verificar, de forma independente, a autenticidade dos dados. Esse modelo reduz a assimetria de informação entre gestores, beneficiários e órgãos de controle. Além disso, o uso da *blockchain* agrega legitimidade às ações das cooperativas, uma vez que estas passam a operar dentro de uma estrutura digital de controle semelhante à de órgãos públicos de maior porte, o que eleva o padrão de governança mesmo em contextos de menor capacidade institucional.

4.1.3.2. Rede *Blockchain* Brasil

A administração pública brasileira, em seu contínuo processo de transformação digital, tem historicamente enfrentado o desafio da fragmentação de seus sistemas de informação. Cada órgão, em suas respectivas esferas de poder — federal, estadual e municipal —, desenvolveu ao longo do tempo suas próprias bases de dados e protocolos de registro, criando "silos" informacionais que dificultam a interoperabilidade, a eficiência na prestação de serviços e, fundamentalmente, a transparência e o controle social sobre os atos governamentais. A ausência de uma camada de confiança digital compartilhada perpetua a dependência de sistemas centralizados e isolados, tornando a auditoria de processos complexa e onerosa.

Foi para endereçar essa lacuna estrutural que a Rede *Blockchain* Brasil (RBB) está sendo concebida. A iniciativa representa um dos ambiciosos projetos de inovação no setor público do país, fruto de uma parceria pioneira formalizada entre o TCU e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), principal instituição de fomento ao desenvolvimento do Brasil. Apresentada oficialmente em 2022, a RBB nasceu com o propósito de estabelecer uma infraestrutura *blockchain* nacional, de governança federativa, que pudesse servir como uma base comum, segura e confiável para o registro de informações e transações em todo o Estado brasileiro (Nicoceli, 2022). O objetivo central é superar o modelo de iniciativas isoladas, oferecendo uma plataforma unificada que garanta a integridade, a imutabilidade e a rastreabilidade de dados públicos cruciais. Na prática, a RBB foi projetada para funcionar como um "cartório digital" público e distribuído, redefinindo o paradigma de confiança ao migrá-lo da credibilidade de instituições individuais para a segurança verificável de um protocolo criptográfico compartilhado e auditável por toda a sociedade (TCU, 2024).

A escolha da arquitetura técnica da RBB foi um passo deliberado e estratégico, inspirado em experiências internacionais e fundamentado nas necessidades específicas do setor público brasileiro. A rede foi estruturada como público-permissionada, um modelo híbrido que busca combinar os benefícios de transparência das redes públicas com a governança e a responsabilidade das redes permissionadas. Essa decisão foi influenciada por iniciativas globais como a

LACChain⁷, a espanhola Alastria⁸ e a EBSI⁹, que demonstraram a adequação desse modelo para aplicações de interesse público.

A necessidade de um modelo híbrido decorre das limitações inerentes às arquiteturas puras. As *blockchains* puramente públicas, como a do Bitcoin ou Ethereum, oferecem máxima transparência e são ideais para implantações focadas em medidas anticorrupção, um potencial destacado pelo Acórdão 1613/2020 do TCU (TCU, 2020). No entanto, seu uso por instituições governamentais enfrenta barreiras significativas, como a necessidade de adquirir criptomoedas para remunerar o processamento na rede, o que representa um desafio regulatório e financeiro para o setor público. Por outro lado, as *blockchains* puramente permissionadas, geralmente privadas, resolvem a questão da governança ao permitir que apenas nós conhecidos e autorizados validem transações, facilitando a determinação de responsabilidades.

A Rede *Blockchain* Brasil tem três tipos de participantes, com diferentes pesos no sistema de governança da rede: Patronos, que são apenas o TCU e o BNDES, com poder de voto e veto, além de serem responsáveis pela gestão dos nós validadores da RBB; Participantes associados, que também gerenciam nós validadores e participam da rede com poder de voto; e Participantes parceiros, que podem utilizar os recursos em *Blockchain* da RBB, mas não participam do núcleo de validação de consenso da rede (Exame, 2023).

Isso permite implementar processos que obedecem ao princípio de *compliance by design* (conformidade desde a concepção), com menor custo e menor desafio tecnológico do que as redes públicas, mas com a transparência que as redes privadas não oferecem. A base tecnológica adotada é a Hyperledger Besu, uma plataforma de código aberto, e o consenso é o *Proof of Authority* (PoA), onde validadores autorizados, como instituições públicas, garantem a integridade da rede de forma eficiente e segura. O código-fonte e a documentação técnica estão disponíveis no repositório público da RBBNet no GitHub, reforçando o compromisso com a abertura e a colaboração.

A aplicação da Rede Brasileira de *Blockchain* (RBB) na administração pública visa desdobrar objetivos estratégicos em soluções práticas para problemas crônicos.

⁷ LACChain é uma iniciativa que busca impulsionar o desenvolvimento de uma infraestrutura *Blockchain* aberta e interoperável na América Latina e Caribe.

⁸ Alastria é um consórcio espanhol de *Blockchain* que reúne empresas, academia e setor público para impulsionar o desenvolvimento de tecnologias descentralizadas na Espanha.

⁹ EBSI é uma iniciativa da União Europeia e seus países membros que visa criar uma infraestrutura de *Blockchain* pan-europeia para a entrega de serviços públicos transfronteiriços.

A primeira e mais imediata aplicação é a Garantia da Integridade de Atos e Contratos Públicos, onde a RBB serve como um repositório imutável para o registro de documentos oficiais. Ao registrar a "impressão digital" criptográfica (*hash*) de um contrato administrativo, por exemplo, assegura-se que o documento original não possa ser alterado retroativamente sem detecção de fraude, conferindo segurança jurídica a licitações, convênios e outros atos formais. Outro objetivo seria a Transparência e Rastreabilidade dos Gastos Públicos, buscando criar um "caminho do dinheiro" totalmente auditável.

Adicionalmente, a RBB promove a Interoperabilidade e Eficiência na Prestação de Serviços, funcionando como uma camada de confiança compartilhada que facilita a comunicação segura entre sistemas de diferentes órgãos. Isso permite, por exemplo, que um sistema consulte a RBB para validar instantaneamente a autenticidade de certidões (como da Receita Federal ou Justiça do Trabalho) necessárias para a emissão de uma licença, eliminando a necessidade de complexas integrações ponto a ponto, simplificando a burocracia e acelerando a entrega de serviços ao cidadão.

Após o período de desenvolvimento e testes, a rede entrou em fase de produção em 2023, com a ativação de seus primeiros nós validadores e o início da integração de casos de uso piloto. O projeto segue um modelo de expansão contínua, com um processo formal para a adesão de novas instituições que desejem operar nós na rede e contribuir para sua governança.

O corpo de nós validadores que compõem a rede atualmente representa a diversidade institucional planejada desde sua concepção. Além dos fundadores, TCU e BNDES, a Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência (Dataprev), o Serviço Federal de Processamento de Dados (Serpro), a Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais (Prodemge) e a Secretaria de Estado de Transparência e Controle do governo do Maranhão (TCU, 2024).

A visão de futuro para a RBB é consolidá-la como a infraestrutura de confiança padrão para o governo digital no Brasil (Nicoceli, 2022). O plano de expansão prevê a adesão de mais órgãos dos poderes Executivo, Legislativo e Judiciário, em todas as esferas federativas, além de empresas públicas e outras entidades de interesse público. À medida que a rede amadurece, espera-se que ela se torne a base para um ecossistema vibrante de aplicações descentralizadas (*dApps*) voltadas para o setor público. Nessa lógica, portanto, o sucesso da RBB não

será medido apenas pela robustez de sua tecnologia, mas por sua capacidade de se tornar uma plataforma onipresente, que silenciosamente garanta a integridade das interações digitais entre o Estado e a sociedade.

4.2. Desafios de Implementação das Tecnologias Emergentes

A adoção de tecnologias emergentes representa um vetor significativo de modernização para a administração pública. Individualmente, cada uma das ferramentas promete ganhos substanciais, como a otimização de processos, a melhoria na tomada de decisão baseada em evidências e a criação de valor público (Maia *et al.*, 2022 *apud* Comba *et al.* 2024; Hjelmar, 2021 *apud* Filho, Carneiro, Coelho *et al.*, 2022). Contudo, a transição da promessa teórica para a implementação prática no contexto brasileiro é condicionada por um conjunto de fatores organizacionais, técnicos e institucionais.

A sistematização apresentada a seguir busca oferecer uma visualização dos principais entraves à adoção dessas ferramentas, classificando-os de acordo com o seu provável escopo de incidência. A análise sugere uma predominância de desafios transversais, entendidos neste estudo como obstáculos que tendem a impactar, simultaneamente, as três tecnologias analisadas.

Além destes, o quadro aponta para a existência de desafios parciais, que afetariam, no mínimo, duas tecnologias, e desafios específicos, que parecem ficar restritos a uma única tecnologia. Estes últimos podem ocorrer em decorrência da arquitetura técnica exclusiva de uma solução, a exemplo da 'opacidade algorítmica', que se apresenta como um dilema intrínseco à Inteligência Artificial.

O quadro 4 sintetiza esses desafios, distribuindo-os em eixos temáticos que refletem as dimensões organizacionais, humanas, tecnológicas, éticas e legais envolvidas, e fornece a base para a discussão aprofundada que se desenvolve nas subseções seguintes.

Quadro 4 - Desafios identificados na aplicação de Big Data, IA e Blockchain

| Desafio Identificado | Blockchain | IA | Big data | Tipo |
|---|------------|----|----------|-------------|
| Organizacionais e Humanos | | | | |
| Falta de Capacitação dos Servidores para Uso | X | X | X | Transversal |
| Escassez de Profissionais Qualificados para Implementação | X | X | X | Transversal |
| Resistência Cultural e Institucional | X | X | X | Transversal |

| | | | | |
|--|---|---|-------------------|-------------|
| Limitação de Recursos | X | X | X | Transversal |
| Fragmentação e Silos Organizacionais | X | X | X | Transversal |
| Falta de Planejamento Estratégico de Longo Prazo | X | X | X | Transversal |
| Infraestrutura e Tecnologia | | | | |
| Limitações de Infraestrutura Tecnológica | X | X | X | Transversal |
| Integração com Legado | X | X | X | Transversal |
| Complexidade Técnica | X | X | X | Transversal |
| Dados, Governança, Ética | | | | |
| Privacidade e Segurança de Dados (LGPD) | X | X | X | Transversal |
| Qualidade e Veracidade dos Dados | X | X | X | Transversal |
| Vieses Éticos e Risco de Discriminação | | X | (X) ¹⁰ | Parcial |
| Opacidade e Falta de Explicabilidade | | X | | Específico |
| Legislação | | | | |
| Marco Regulatório Incipiente | X | X | | Parcial |
| Conflito com legislações vigentes | X | | X | Parcial |

Fonte: Elaboração própria (2025)

4.2.1. Desafios Organizacionais e Humanos

O primeiro grande agrupamento de desafios identificados para a implementação das tecnologias emergentes refere-se à dimensão organizacional e humana. A literatura aponta de forma convergente que os obstáculos mais críticos residem frequentemente nesta esfera, antes mesmo das barreiras técnicas (Schaulet, Trez, 2023). A análise do corpus documental revela desafios transversais que se manifestam de forma sistêmica nas três tecnologias, como a falta de capacitação de pessoal para o uso cotidiano das ferramentas, a escassez de profissionais qualificados para a implementação estratégica e a persistente fragmentação das informações em silos organizacionais. Esses fatores, intrinsecamente ligados à cultura e ao capital humano da administração pública, atuam como os principais freios à inovação.

O primeiro desafio transversal identificado refere-se à capacidade da força de trabalho existente. Destaca-se uma lacuna significativa na falta de capacitação dos servidores para o uso das novas ferramentas, indicando que a implementação tecnológica avança em um ritmo mais acelerado que o desenvolvimento do capital

¹⁰ A notação entre parênteses (X) aplicada ao *Big Data* sinaliza uma distinção causal necessária, uma vez que o *Big Data* não cria viés ativamente, mas pode servir como fonte material de distorções históricas que podem ser reforçadas por algoritmos, caso não haja tratamento adequado dos dados antes do processamento.

humano interno das instituições (Toledo; Mendonça, 2023). Mesmo quando as ferramentas, como as de IA, estão disponíveis, seu potencial de aplicação é frequentemente neutralizado pela carência de treinamento adequado. Conforme apontam Toledo e Mendonça (2023), o avanço da IA não foi acompanhado pela preparação adequada dos servidores públicos para lidar com as novas demandas analíticas e operacionais. Este déficit de capacitação interna é apontado como um dos principais freios para a adoção efetiva da tecnologia. Em outro estudo, da pesquisa TIC Governo Eletrônico 2021, a falta de pessoal qualificado para usar tecnologias de IA também é citada como a razão mais frequente para a não adoção em 41% das organizações federais e 38% das estaduais (Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2022 *apud* Ribeiro; Segatto, 2025).

Em paralelo, e também de forma crítica para a viabilidade dos projetos, também foi apontada a escassez de profissionais qualificados para a implementação. Este desafio refere-se à dificuldade estrutural de atrair e reter os especialistas multidisciplinares e altamente técnicos necessários para construir, gerenciar e manter as infraestruturas de *Big Data*, IA e *Blockchain*. No contexto do *Blockchain*, por exemplo, a barreira é imediata, pois a tecnologia exige conhecimentos técnicos avançados em desenvolvimento de software, segurança da informação, criptografia e redes distribuídas (Ammous, 2018, *apud* Silveira, 2024), sendo que o número de profissionais com domínio desses aspectos técnicos ainda é baixo (TCU, 2020). De forma similar, o avanço da IA é barrado pela escassez de profissionais qualificados para desenvolver e gerenciar esses sistemas e pela baixa disponibilidade de equipe técnica, com acesso e conhecimento a novas tecnologias (Neumann; Guirguis; Steiner, 2022, *apud* Almeida, 2023). O *Big Data*, por sua vez, depende do perfil específico do "cientista de dados" (Taurion, 2013), um profissional que enfrenta uma grande demanda por suas características e especialidades multidisciplinares (Soares; Rolt; Raupp, 2022; Schaulet, Trez, 2023), incluindo a capacidade técnica de conseguir modelar dados não estruturados (Taurion, 2013). Portanto, as três tecnologias competem pelo mesmo conjunto limitado de talentos avançados. Sem profissionais capazes de desenvolver, gerenciar e, crucialmente, "traduzir" o potencial dessas ferramentas para a realidade administrativa, os projetos de inovação tendem a falhar ou sequer são iniciados, permanecendo no campo da aspiração teórica.

Essa dificuldade em internalizar o conhecimento técnico especializado é agravada por uma competição assimétrica com o setor privado, que possui maior flexibilidade e capacidade de atração de talentos. Como detalhado por Ammous (2018) *apud* Silveira (2024), este é um desafio estrutural:

Os mercados privados têm maior capacidade de atrair talentos porque oferecem recompensas proporcionais ao valor produzido, enquanto as instituições públicas enfrentam restrições orçamentárias e priorizam a estabilidade em vez da inovação (Ammous, 2018, *apud* Silveira, 2024).

Além da lacuna de talentos e de capacitação, um desafio também difuso, porém igualmente poderoso, é a cultura organizacional do setor público. Mesmo quando o talento técnico está disponível, a implementação efetiva esbarra em uma profunda resistência institucional à mudança, embora as causas-raiz dessa resistência apresentem nuances distintas. Bresser-Pereira (1998, *apud* Silveira, 2024) analisa que a burocracia é um obstáculo para a inovação. Silveira (2024) destaca, a partir da visão de Bresser-Pereira, que a burocracia brasileira, com sua estrutura hierárquica rígida e a estrita observância de normas e procedimentos, não favorece a criação de um ambiente inovador. O autor ressalta ainda que esse excesso de burocratização induz a um "conformismo institucional", no qual a preferência por métodos convencionais impede a adoção de novas tecnologias.

Essa "rigidez das normas" faz com que o *Blockchain*, ao promover a descentralização e a transparência, seja percebido como uma ameaça, pois desafia o poder hierárquico e a necessidade de controle que dominam o setor público (Silveira, 2024).

Na Inteligência Artificial, a resistência assume um caráter mais humano e visceral: o medo da substituição. O "receio de perder o trabalho é uma reação bastante comum entre os servidores/empregados públicos, em especial quando se trata do uso de novas tecnologias" (Toledo; Mendonça, 2023, p. 431).

No caso do *Big Data*, a resistência cultural está frequentemente ligada ao medo da *accountability* (responsabilização). O cenário de implementação de BDA "é bastante conflitante e a implementação sofre grande resistência de diversos atores do cenário político local" (Luthfi; Janssen, 2019 *apud* Soares; Rolt; Raupp, 2022, n.p.). Uma das razões subjacentes é que agentes públicos temem a responsabilização por decisões equivocadas, caso existam dados objetivos que embasem as críticas dos cidadãos (Soares; Rolt; Raupp, 2022).

Assim, o "conformismo institucional" (Bresser-Pereira, 1998, *apud* Silveira, 2024) é um desafio transversal que se manifesta de formas distintas: o *Blockchain* ameaçaria o controle dos dados; a IA, a função do servidor, e o *Big Data*, a discricionariedade do gestor. Por isso, há, como apontam Abiteboul e Stoyanovich (2019) *apud* Soares; Rolt; Raupp (2022), uma necessidade de mudança não apenas de objetivos ou orientação, mas cultural, para que haja a devida utilização deste tipo de ferramenta.

Outro obstáculo pragmático e universalmente reconhecido na implementação dessas tecnologias no setor público é a limitação de recursos, que se manifesta tanto em restrições financeiras quanto na inadequação da infraestrutura tecnológica existente. Em muitos casos, o setor público opera sob significativas restrições orçamentárias, enfrentando simultaneamente uma crescente demanda por serviços sociais e uma pressão por modernização e eficiência (Toledo; Mendonça, 2023). A adoção dessas tecnologias, no entanto, exige investimentos substanciais não apenas em software, mas em infraestrutura e capacitação dos servidores. Essa tensão entre a necessidade de modernizar para reduzir custos e a falta de capital para financiar essa modernização define um dos dilemas centrais da gestão pública contemporânea.

Esse desafio orçamentário torna-se exponencialmente mais complexo nos níveis subnacionais de governo, como estadual e municipal. Os governos locais, em particular, assemelham-se a pequenas ou médias empresas em termos de suas capacidades financeiras e de pessoal (Soares; Rolt; Raupp, 2022). Nessa lógica, a autonomia federativa, embora fundamental, resulta em uma ausência de uniformidade que dificulta mudanças estruturais padronizadas, tornando o desafio de adoção tecnológica ainda maior nos estados e municípios (Toledo; Mendonça, 2023). Com uma estrutura de arrecadação geralmente restrita, os gestores municipais precisam ser extremamente realistas sobre os custos de investimento, pois o desperdício de recursos impacta diretamente áreas essenciais como saúde e educação (Burite, Sacramento e Raupp, 2023).

O estudo de caso do Centro de Operações do Rio de Janeiro ilustra perfeitamente essa pressão: embora a tecnologia possa sugerir ações, a limitação de recursos força o gestor do executivo a ter a última palavra, assumindo o risco da decisão sobre onde alocar as capacidades disponíveis (Braga *et al.*, 2023). Diante desse dilema, de relativa incapacidade técnica, de pessoal e de recursos para

custear ações de grande porte, estratégias alternativas, como a busca por parcerias público-privadas e a adoção de plataformas em nuvem para mitigar os custos iniciais, tornam-se táticas essenciais para a sobrevivência de projetos de inovação na administração pública.

Além das restrições de capital, outro desafio cultural e estrutural endêmico do setor público é a fragmentação e a persistência de silos organizacionais, que impedem a integração e o compartilhamento de dados. Historicamente, a administração pública opera com dados de forma desintegrada (Soares; Rolt; Raupp, 2022), com departamentos funcionando de forma isolada, o que dificulta a disponibilidade da informação através das barreiras organizacionais. O verdadeiro valor dessas tecnologias, contudo, é melhor alcançado em um ambiente aberto, que elimine os silos entre departamentos e diferentes áreas (Taurion, 2013). Esta fragmentação é frequentemente exacerbada em administrações muito descentralizadas, com cada setor operando de forma totalmente isolada e com cooperação institucional. Iniciativas como o Centro de Operações Rio (COR) são criadas justamente para atuar como um *hub* integrador de agências, embora mesmo estas soluções enfrentem dificuldades, como o descompasso tecnológico entre as secretarias (Braga *et al.*, 2023), demonstrando a dificuldade persistente em fomentar o compartilhamento ativo de informações.

Além desses fatores, foi apontado também que muitas implementações fracassam devido à falta de planejamento estratégico de longo prazo. Diversos órgãos iniciam projetos sem uma estratégia clara ou sem uma definição precisa sobre quais dados analisar e com qual finalidade. Isso leva a ações isoladas e pontuais que se mostram incoerentes e desarticuladas (Soares; Rolt; Raupp, 2022). A adoção dessas tecnologias não deve ser encarada como um evento único, mas como um processo evolutivo que exige continuidade e aprimoramento constantes. A questão crucial para os gestores não é se devem adotar a tecnologia, mas com qual estratégia. Um planejamento eficaz exige um *road map* que comece pela identificação dos dados disponíveis, defina as oportunidades estratégicas, crie os processos organizacionais para utilizar os *insights* e desenhe a arquitetura de tecnologia necessária para suportar a operação (Taurion, 2013). Sem uma estratégia comum que alinhe gestão e tecnologia, os investimentos de hoje correm o risco de se tornarem as soluções obsoletas de amanhã.

4.2.2. Desafios de Infraestrutura e Tecnologia

A implementação de novas tecnologias na administração pública, embora desejável, é severamente limitada por um substrato tecnológico que se revela inadequado para as demandas de processamento, armazenamento e integração que elas exigem. O potencial transformador dessas tecnologias é, portanto, diretamente condicionado pela capacidade do setor público em superar os déficits crônicos de sua infraestrutura legada, os altos custos de adaptação e a complexidade técnica inerente à sua gestão (Cristóvam; Bergamini, 2019, *apud* Silveira, 2024; Vasconcelos; Santos, 2024).

Nesse contexto, um desafio bem oneroso reside na integração de novas arquiteturas analíticas, cognitivas e distribuídas com os ecossistemas de tecnologia legados existentes na administração pública brasileira. Os diferentes órgãos operam, por vezes, sobre uma colcha de retalhos de sistemas desenvolvidos em diferentes décadas, com lógicas de programação distintas e bases de dados que funcionam separadamente. Por isso, a complexidade dos sistemas legados e a incompatibilidade com equipamentos, softwares ou sistemas existentes nas organizações representam a principal fonte de atrito técnico frente às novas tecnologias. (Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2022, *apud* Ribeiro; Segatto, 2025; Varga, 2017, *apud* Borges *et al.*, 2024). Para o *Blockchain*, em particular, essa barreira é quase existencial. A natureza descentralizada desta tecnologia é antitética aos modelos de informação centralizados e hierárquicos que dominam o governo, exigindo uma reconfiguração profunda dos protocolos de comunicação.

A complexidade técnica inerente ao *Blockchain* também impõe desafios específicos ao setor público. [...] A transição para esse modelo descentralizado exige uma reestruturação completa dos protocolos de comunicação e compatibilidade com sistemas legados, o que torna a integração do *Blockchain* ainda mais complexa e cara (Kosyan; Mil'kina, 2019, *apud* Silveira, 2024, p. 67).

Este descompasso tecnológico não é exclusivo do *Blockchain*; ele afeta diretamente a viabilidade do *Big Data* e da IA. No caso do *Big Data*, a incapacidade de integração manifesta-se na dificuldade de compartilhamento de dados entre diferentes sistemas existentes, levando a desafios de interoperabilidade entre os dados. Essa falha na integração resulta em uma captação e tratamento de dados insuficientes, minando a premissa fundamental do *Big Data*, que é a análise de grandes volumes de dados variados. Para a IA, o problema é idêntico: a eficácia dos

algoritmos depende de sistemas integrados, dados confiáveis e compartilhamento de dados (Sun; Medaglia, 2019; Wirtz *Et al.*, 2018 *apud* Ribeiro; Segatto, 2025), requisitos que uma infraestrutura fragmentada não consegue suprir.

A falha na integração dos sistemas legados leva diretamente ao segundo desafio crítico desse eixo: a ausência de uma infraestrutura de dados coesa. As tecnologias emergentes são intensivas em dados, mas a "matéria-prima" – os dados públicos – encontra-se de baixa qualidade, não padronizada e inacessível. A interoperabilidade, portanto, transcende a dificuldade técnica e torna-se um imperativo estratégico para implementação dessas tecnologias. Sem a integração de esforços e a padronização de dados, a implementação torna-se fragmentada e economicamente inviável em larga escala.

Supondo que os desafios de integração e qualidade dos dados fossem superados, a administração pública encontraria o terceiro gargalo: a infraestrutura física e computacional necessária para processá-los. A implementação eficaz destas tecnologias exige um poder de processamento, armazenamento e conectividade que está muito além da capacidade instalada na maioria das repartições públicas.

A falta de infraestrutura tecnológica adequada é um dos maiores obstáculos técnicos para a implementação eficaz da IA. Muitas instituições públicas ainda carecem do hardware necessário, de conexões de internet de alta velocidade e de capacidades de armazenamento de dados seguros e eficientes para suportar sistemas baseados em IA (Silva; Costa, 2020 *apud* Vasconcelos; Santos, 2024, n.p.).

Este cenário se reflete na baixa adoção de tecnologias de nuvem, que seriam essenciais para fornecer a escalabilidade demandada pelo *Big Data* (Schaulet; Trez, 2023) e pela IA (Ribeiro; Segatto, 2025). A limitação física dos datacenters governamentais, pode gerar problemas agudos de desempenho, sobretudo latência. O *Big Data Analytics* também exige alto poder computacional e, em muitos casos, operações próximas ao tempo real, o que pressupõe infraestrutura robusta, distribuída e altamente escalável.

No caso do *Blockchain*, por arquitetura, eles já operam com baixa taxa de transações por segundo e alta latência de confirmação (Ferreira; Pinto; Santos, 2017, *apud* Silva; Marques, 2021). Por isso, a própria natureza distribuída e verificável do *Blockchain* representa um dos principais gargalos técnicos. Quando essa tecnologia é executada sobre uma infraestrutura de hardware limitada, o desempenho se deteriora exponencialmente: os processos de validação tornam-se

ainda mais demorados, os nós da rede ficam sobrecarregados e o tempo para consenso pode aumentar drasticamente.

Esses desafios infraestruturais, de integração e de performance culminam na barreira final: o custo proibitivo e a complexidade de gestão. A modernização tecnológica não é um evento único, mas um processo contínuo de manutenção e atualização. O custo elevado de implementação resulta da necessidade de investimento inicial substancial em hardware, software e serviços especializados (Carvalho, 2019 *apud* Silveira, 2024).

Conclui-se, assim, que a superação dos desafios de infraestrutura e tecnologia no setor público brasileiro é uma empreitada sistêmica, que exige não apenas investimento em hardware e software (França *et al.*, 2020, *apud* Silveira, 2024), mas também um planejamento estratégico focado na integração de sistemas legados, melhoria de governança de dados e na busca pela interoperabilidade

4.2.3. Desafios Relacionados à Governança dos Dados

Dando continuidade aos desafios enfrentados, a governança de dados emerge como mais um aspecto delicado para a implementação das tecnologias emergentes estudadas. Ela pode ser definida como o conjunto de políticas, processos, padrões e responsabilidades que garantem a disponibilidade, integridade, segurança e usabilidade dos dados ao longo de todo o seu ciclo de vida, assegurando que estes sejam tratados como ativos estratégicos.

Nesse cenário, os desafios associados a essa governança não apenas colocam à prova os limites éticos, legais e estruturais das instituições públicas, mas também trazem à tona questões essenciais sobre transparência, responsabilidade e equidade na gestão pública. A literatura destaca que a adoção eficaz de tecnologias emergentes depende, em grande parte, de um alinhamento estratégico entre os formuladores de políticas, para garantir que sua implementação seja feita de forma responsável e transparente, sempre respeitando os direitos dos cidadãos. A capacidade de gerar valor a partir dos dados, portanto, está diretamente ligada à habilidade de gerir tensões fundamentais, como a proteção da privacidade dos cidadãos, a qualidade e veracidade das informações, os riscos de vieses discriminatórios e a opacidade dos novos sistemas decisórios.

O primeiro desafio significativo reside na privacidade e segurança dos dados, que são questões centrais no uso de *Big Data*. A própria natureza do *Big Data*, que

se baseia na agregação massiva de dados para análise, frequentemente colide com as preocupações públicas sobre o uso indevido dessas informações. Como destacam Soares; Rolt; Raupp (2022), a privacidade e a segurança dos dados representam barreiras importantes para a adoção generalizada no setor público:

Quando se trata de dados privados dos cidadãos, percepções, escolhas, padrões de consumo, há uma desconfiança de que tais dados e informações não serão utilizados para fins diversos dos inicialmente pretendidos ou ainda na capacidade do poder público de proteger os dados de ataques mal-intencionados de organizações criminosas (Mees, 2017, *apud* Soares, Rolt, Raupp, 2022, n.p.).

A Inteligência Artificial também pode sofrer com essa vulnerabilidade. Os sistemas de IA que utilizam dados sensíveis, como de setores de saúde e finanças, exigem proteção robusta contra acessos não autorizados e criptografia (MENDONÇA *et al.*, 2024). Além disso, a dependência de fornecedores externos e estrangeiros para soluções de IA pode criar riscos relacionados à dependência tecnológica e à privacidade dos dados, especialmente em instituições que lidam com informações sensíveis, como no caso do setor público (Borges *et al.*, 2024).

O *Big Data*, nesse contexto, cria o risco de uma vigilância exacerbada sobre o indivíduo, já que a coleta de dados sobre o cidadão permite a criação de perfis detalhados, monitoramento de atividades e até mesmo previsão de comportamentos, levantando preocupações significativas sobre privacidade e liberdade individual (Harris, 2014; Williamson, 2014; Stough *et al.*, 2014, *apud* Braga *et al.*, 2023). Nesse caso, o debate transcende o técnico, pois traz implicações quanto à questão do consentimento, o quadro legal em que é usado e a desconfiança que isso pode criar.

O *Blockchain*, por sua vez, introduz um paradoxo regulatório. Embora ofereça segurança robusta (TCU, 2020), sua característica de imutabilidade conflita diretamente com o direito à exclusão dos dados. O Tribunal de Contas da União (2020), ao analisar um projeto baseado em *Blockchain* (o SALT), detalhou essa tensão insolúvel:

No início do projeto [SALT], a equipe identificou que a transparência intrínseca das redes *Blockchain* infringe os requisitos de privacidade entre IFs. [...] Criptografar dados sensíveis também não seria uma solução viável: sem acesso a todos os dados, contratos inteligentes nas plataformas disponíveis não podem decidir se uma transação é válida. Esse dilema mostrou ser um desafio maior do que o esperado. (TCU, 2020, p. 16)

A governança de dados no setor público enfrenta um equilíbrio delicado entre inovação tecnológica e a proteção dos direitos individuais, que devem ser assegurados pelo Estado (Harris, 2014; Williamson, 2014; Stough *et al.*, 2014, *apud*

Braga *et al.*, 2023). No contexto das administrações públicas, esse desafio é ampliado pela necessidade de garantir a qualidade e veracidade das informações, que são a base dos processos decisórios governamentais.

No caso do *Big Data*, por exemplo, a literatura destaca a "veracidade" como um dos "Vs" importantes, refletindo que, além do volume, a utilidade dos dados no setor público depende também da capacidade de identificar e acessar as informações corretas. Wang e Kaushika (2014) observam que dados não estruturados, como textos e vídeos, exigem uma análise mais cuidadosa devido à sua ambiguidade e incerteza e, por isso, a mineração desses dados exige uma gestão eficaz da heterogeneidade e do volume, além da necessidade de filtrar e eliminar dados irrelevantes ou imprecisos (*apud* Braga *et al.*, 2023).

A IA também é diretamente refém dessa qualidade. Um treinamento inadequado, ou "errado", em sistemas que usam IA — especialmente aqueles baseados em *machine learning* — resulta em consequências que transcendem a simples imprecisão técnica, gerando riscos éticos e de governança profundos. A integridade de um sistema de IA é, fundamentalmente, refém da integridade dos dados utilizados para treiná-lo. A literatura identifica que a qualidade e relevância dos dados utilizados para treinar os sistemas de IA é um desafio crítico, exigindo monitoramento contínuo para garantir sua adequação (Comba *et al.*, 2024). Quando esse monitoramento falha e o treinamento ocorre a partir de dados falhos, incompletos ou não representativos, a principal consequência é a internalização e a subsequente amplificação de distorções sociais.

Já sobre o *Blockchain*, o desafio sobre a qualidade dos dados se altera fundamentalmente: a tecnologia não garante a qualidade da informação no ponto de entrada, mas a assegura após o registro, através da imutabilidade. A governança, nesse caso, desloca-se inteiramente para o momento da inserção, pois o gestor dos dados deve garantir a legitimidade das informações disponibilizadas (qualidade dos dados) antes de inseri-las. Este é o ponto nevrálgico, pois se dados incorretos são inseridos — seja por erro humano ou falha de sistema —, a própria imutabilidade da rede torna-se um problema, não uma solução, ao "eternizar" o erro e tornar sua correção pelos métodos tradicionais ineficaz.

Isso expõe uma lacuna na governança tradicional, exigindo um modelo de *accountability* robusto e adaptado. Nesse novo modelo, a responsabilidade deixa de ser *reativa* — focada na *correção* do erro após o fato — e passaria a ser

estritamente *preventiva*. As responsabilidades claras devem focar na auditoria rigorosa *antes* da inserção. Isso recai, principalmente, sobre o gestor que valida o dado assegurando a validade jurídica e a lógica do código dos *smart contracts* para garantir que uma falha programada não seja autoexecutada e registrada permanentemente.

Ademais, intimamente ligada à qualidade dos dados está a questão dos vieses éticos e o risco de discriminação. A governança de dados no setor público não pode ser apenas eficiente; ela deve ser justa. O risco, amplamente documentado, é que os algoritmos podem introduzir uma tendência inadvertida, reforçando práticas indesejadas como discriminação histórica em processos (Braga *et al.*, 2023). Esta é uma preocupação central, sendo "A possibilidade de conclusões enviesadas e tendenciosas [...] um dos pontos mais delicados na adoção da IA no âmbito da administração pública" (Toledo; Mendonça, 2023, p. 21). Nesse cenário, a IA torna-se o principal veículo para a perpetuação de injustiças, como a reprodução de "vieses de gênero ou raça ao serem treinados com conjuntos de dados históricos enviesados" (Comba *et al.*, 2024, p. 4).

O desafio se torna ainda mais profundo porque em alguns casos os algoritmos não são unicamente a origem do viés; eles podem ser um espelho da sociedade, alimentados por dados de *Big Data* que já contêm distorções. A governança de dados enfrenta, assim, uma dificuldade extrema na detecção, como advertem Toledo e Mendonça (2023):

Como os vieses algorítmicos são, na verdade, fruto da mente humana, já que as bases de dados são retratos do pensamento de uma sociedade, conforme conclusões apontadas por Araújo *et al.* (2020), nem sempre será possível detectar sua ocorrência, podendo uma situação de preconceito ser interpretada como algo natural, em especial no grupo de agentes públicos lotados em órgãos com deficiência de treinamento (Toledo; Mendonça, 2023, p. 21).

Outro desafio significativo para a governança de dados no setor público diz respeito à falta de Explicabilidade. Em um Estado de Direito, o princípio da publicidade é basilar, exigindo que as decisões administrativas sejam motivadas e transparentes. Contudo, a IA, especialmente em seus modelos mais complexos de aprendizado de máquina, introduz o fenômeno da "caixa-preta", conforme discutido no capítulo 3.1, gerando um impasse fundamental para a administração pública. Este conflito é precisamente articulado por Toledo e Mendonça (2023, p. 7) ao questionarem a viabilidade do princípio da publicidade diante da nova tecnologia:

Como garantir, por exemplo, a transparência da motivação na tomada de decisões se não é possível compreender como a máquina chega ao resultado apontado? Como conciliar a opacidade do processo decisório por meio de algoritmos com o tão prolapado princípio da publicidade? Esta questão é basilar no debate das questões éticas e de governança da implantação da inteligência artificial no setor público (Toledo; Mendonça, 2023, p.7).

Esta opacidade dos algoritmos de IA não é apenas uma abstração teórica; ela dificulta materialmente a compreensão de como as decisões são tomadas e, conseqüentemente, mina a *accountability* dos gestores. A opacidade algorítmica é também identificada como um dos cenários que mais impactam negativamente a confiança do cidadão na administração, juntamente com o viés (Schiff; Schiff; Pierson, 2022, *apud* Almeida, 2023). A confiança pública, portanto, não depende apenas de a IA ser acessível, mas de ela ser compreensível.

É neste ponto que a Inteligência Artificial Explicável – conforme conceituado anteriormente neste trabalho – torna-se um pilar central de governança. A implementação da XAI é o que permite a verificabilidade, auditoria e apuração de responsabilidade sobre as decisões automatizadas.

Grimmelikhuijsen (2022) *apud* Almeida (2023), em seu estudo, apresenta que a explicabilidade do algoritmo é mais importante para a aceitação e confiança do cidadão que a acessibilidade do algoritmo. Na análise, percebeu-se a confiança era maior quando a decisão automatizada vinha acompanhada de uma justificativa clara e compreensível, como no exemplo fornecido de uma negação de visto: "o sistema computacional indica que seu visto foi negado porque nos últimos cinco anos você viajou ao menos uma vez para um País considerado suspeito" (Grimmelikhuijsen, 2022, *apud* Almeida, 2023, p. 27). Portanto, a governança de IA não pode se satisfazer com a mera acurácia dos modelos; ela deve, ativamente, demandar o desenvolvimento de abordagens que permitam a auditoria e revisão por especialistas para assegurar que cada decisão possa ser, de fato, motivada e explicada. (Comba *et al.*, 2024)

4.2.4. Desafios Legislativos e Regulatórios

Por fim, outro conjunto importante de desafios é o de natureza legislativa e regulatória. A implementação de IA, *Big Data* e *Blockchain* no setor público brasileiro não encontra barreiras apenas na cultura organizacional ou na escassez de recursos, mas também encontra ausência de respaldo no arcabouço legal vigente.

O uso de IA para análises preditivas, como antecipar necessidades de saúde ou tendências comportamentais, pode levantar sérias questões sobre privacidade e discriminação. O uso de dados para prever eventos futuros da vida de uma pessoa tem consequências impactantes, especialmente se a análise não for verídica (Taurion, 2013).

Já sobre o *Blockchain*, sua própria natureza introduz um complexo conflito técnico-jurídico, pois sua característica fundamental de imutabilidade entra em rota de colisão direta com direitos assegurados pela LGPD. O Art. 18 da LGPD garante ao titular um conjunto de prerrogativas, destacando-se o Inciso VI, que prevê a "eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular" (BRASIL, 2018), popularmente conhecido como "direito ao apagamento". Surge, assim, um impasse de difícil solução, como apontado por Prux *et al.* (2021) *apud* Silveira (2024): a legislação garante ao indivíduo o direito de apagar seus dados, mas a arquitetura fundamental do *Blockchain* impede tecnicamente essa exclusão, uma vez que a remoção de um registro invalidaria e comprometeria a integridade de toda a cadeia de blocos.

A coleta e aplicação de dados no Brasil traz implicações quanto à questão do consentimento, o quadro legal em que é usado e a desconfiança que isso pode criar. Portanto, a simples transposição de normas de proteção de dados pensadas para bancos de dados tradicionais (onde apagar é uma função trivial) para sistemas descentralizados e imutáveis, como o *Blockchain* ou para sistemas de processamento massivo pode ser juridicamente conflitante.

Nesse sentido, a complexidade de assegurar a conformidade legal exige que o Estado se debruce sobre os limites quanto aos direitos individuais que devem ser protegidos e os meios de coleta de dados antes da implementação em larga escala. Por isso, a concepção e implementação do *Big Data* deve sempre se atentar aos princípios legais de proteção e uso de dados da LGPD. Em razão da análise se basear na coleta de um volume imenso e variado de dados, incluindo informações estruturadas e não estruturadas de diversas fontes, a LGPD impõe a necessidade de que o tratamento de informações seja limitado e específico (Brasil, 2018). Nessa lógica, a busca por insights e o uso inovador de dados existentes para aplicações novas e diferentes, deve ter um olhar sempre atento para não entrar em fricção com os requisitos legais de que os dados sejam utilizados apenas para os propósitos para os quais foram originalmente obtidos.

Paralelamente aos conflitos com a legislação existente, a administração pública enfrenta o desafio do vácuo regulatório, ou seja, a ausência de regulamentação detalhada para as novas capacidades introduzidas por IA e *Blockchain*. No campo da Inteligência Artificial, o Brasil ainda está em fase inicial de um quadro regulatório, embora existam projetos de lei em tramitação, como o PL 2338/2023, eles são criticados por sua pouca profundidade, limitando-se a reproduzir diretrizes genéricas da OCDE (Toledo; Mendonça, 2023). Esta lacuna regulatória impacta diretamente a adoção da tecnologia, pois o direito comum não tem sido suficiente para enfrentamento da questão (Sanctis, 2020, *apud* Toledo; Mendonça, 2023), deixando gestores sem segurança jurídica para inovar.

Em contrapartida a essa centralização do debate no âmbito federal, algumas unidades da federação têm se adiantado para preencher essa lacuna, criando seus próprios marcos regulatórios. Estados como Goiás (Lei Complementar nº 205), Alagoas (Lei nº 9.095/2023) e Paraná (Lei nº 22.324/2025) já sancionaram leis próprias que instituem políticas estaduais de fomento e planos de diretrizes para o uso ético e transparente da IA. Contudo, essa movimentação subnacional, embora demonstre agilidade, levanta um novo debate sobre a competência legislativa. Especialistas alertam para o risco de uma "fragmentação regulatória", que poderia criar um cenário complexo de "colcha de retalhos" jurídica, com legislações distintas para cada estado, gerando insegurança e potenciais conflitos de competência com a futura legislação federal (Jota, 2025).

A necessidade deste marco regulatório, contudo, transcende a simples segurança jurídica do gestor público; ela é fundamental para a governança da própria tecnologia e para a proteção de direitos fundamentais. A regulação é o mecanismo central pelo qual a administração pública pode enfrentar os riscos de vieses e discriminação, buscando garantir a "justiça algorítmica", assegurando resultados equitativos nas decisões automatizadas pelo governo, especialmente em áreas de grande impacto social. Esse desafio se torna particularmente complexo no contexto brasileiro, pois a regulação da IA exige a conciliação de novos princípios operacionais da tecnologia (como auditabilidade e explicabilidade) com os mandamentos clássicos do direito público, notadamente a motivação e a publicidade dos atos, previstos no Art. 37 da Constituição Federal (Carvalho; Ferro; Melo, 2025).

Para que esta regulação cumpra seu papel sem, no entanto, gerar "barreiras artificiais" ou uma "regulação excessivamente burocrática" que iniba a inovação, a

literatura aponta os *sandboxes* regulatórios como o caminho mais pragmático. Conforme discutido por Carvalho, Ferro e Melo (2025), estes *sandboxes* funcionam como um ambiente normativo experimental. Na prática, eles permitem ao setor público testar a aplicação de sistemas em serviços reais (como o uso de IA na triagem de benefícios sociais ou a gestão fiscal) sob supervisão, mas com uma "dispensa temporária de exigências". Essa abordagem permite ao Estado inovar de forma segura, garantindo que a aplicação em larga escala só ocorra após a devida testagem em ambiente controlado, mitigando riscos para a sociedade sem sufocar o desenvolvimento tecnológico (Carvalho; Ferro; Melo, 2025).

O desafio regulatório do *Blockchain* também é complexo, pois sua trajetória no Brasil não começou como uma ferramenta de gestão, mas como um objeto de supervisão. Conforme aponta o TCU, as primeiras instituições a criar normas sobre o tema foram as vinculadas ao Sistema Financeiro Nacional (SFN) e à Receita Federal (RFB). O foco inicial desses normativos (datados de 2017 a 2019) estava restrito à prevenção da lavagem de dinheiro e evasão fiscal no uso de criptoativos. Foi somente após essa fase inicial de controle de riscos que órgãos como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a própria Receita Federal do Brasil (RFB) e o Ministério da Economia começaram a legitimar (ou "positivar") o uso da tecnologia *DLT* como uma solução interna para aumentar a eficiência da gestão pública (Brasil, 2020).

Essa evolução histórica, focada primeiro no "criptoativo" e só depois no "processo", ajuda a explicar por que o vácuo regulatório persiste em áreas centrais da administração. O vácuo é igualmente problemático para a implementação de *smart contracts* (contratos inteligentes) via *Blockchain*. A Nova Lei de Licitações e Contratos (NLLC - Lei nº 14.133/2021), embora moderna, não contempla explicitamente a validade jurídica desses mecanismos autoexecutáveis. Conforme Burite, Sacramento e Raupp (2023), embora a NLLC dê suporte genérico ao uso de tecnologias, normativos específicos certamente seriam úteis para endereçar a complexidade dos *smart contracts*. Sem um marco que defina a validade, a auditoria e a responsabilidade por falhas em *smart contracts*, a adoção da tecnologia fica restrita a projetos-piloto, incapaz de transformar processos licitatórios em larga escala.

Este cenário de incerteza legal é agravado pela própria natureza da administração pública. A legislação acaba dificultando ao setor público optar por

soluções porque o gestor público está estritamente vinculado ao princípio da legalidade. Diferente da iniciativa privada (onde o que não é proibido é permitido), o gestor público só pode agir onde a lei expressamente autoriza. Na ausência de uma lei que valide um *smart contract* ou que estabeleça parâmetros para uma decisão algorítmica de IA, o gestor se vê paralisado pelo risco de responsabilização. A falta de um ambiente regulatório favorável torna-se, assim, um freio de mão na inovação, pois questões de regulamentação das áreas de utilização surgem como barreiras.

Por fim, a implementação dessas tecnologias desafia pilares éticos e legais da própria administração pública, notadamente os princípios da publicidade e da motivação, consagrados no Art. 37 da Constituição Federal e detalhados na Lei nº 9.784/1999. A IA, especificamente em seus modelos de *deep learning*, introduz o paradoxo da opacidade do processo decisório (Toledo; Mendonça, 2023). O Art. 50 da Lei 9.784/1999 exige que os atos administrativos sejam motivados, "com indicação dos fatos e dos fundamentos jurídicos", especialmente quando "neguem, limitem ou afetem direitos ou interesses" (Inciso I). Se o próprio gestor não consegue auditar ou explicar *como* o algoritmo chegou a uma conclusão, ele é incapaz de prover a motivação exigida por lei, o que pode fulminar a validade do ato e comprometer a legitimidade democrática da decisão (Schiff; Schiff; Pierson, 2022, *apud* Almeida, 2023).

O *Big Data* e o *Blockchain* também tensionam o princípio da publicidade, embora de formas distintas. No BDA, há uma resistência cultural à transparência, pois agentes públicos eleitos temem que suas decisões equivocadas possam ser mais facilmente identificadas (Luthfi; Janssen, 2019 *apud* Soares; Rolt; Raupp, 2022) se os dados estiverem disponíveis para escrutínio público (*accountability*). Além disso, a falta de estruturação, integração e tratamento adequado dos dados disponíveis (Weerakkody, 2016 *apud* Soares; Rolt; Raupp, 2022) torna a transparência inócua, pois os dados brutos são inúteis para o cidadão comum. Inversamente, o *Blockchain* pode pecar pelo excesso de transparência. Como observado no caso prático do TCU (2020) sobre o Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB), a transparência intrínseca das redes *Blockchain* infringe os requisitos de privacidade exigidos entre instituições financeiras, demonstrando que a publicidade absoluta da tecnologia conflita com o sigilo legalmente exigido em certas operações estatais.

Conclui-se que a superação dos desafios legislativos exige uma mudança não apenas de objetivos ou orientação, mas cultural onde a regulação deve ser proativa, e não reativa. A decisão política de quebrar silos é o primeiro passo para que TI e Jurídico atuem em conjunto. É imperativo que o Estado se debruce sobre os limites quanto aos direitos individuais que devem ser protegidos (Braga *et al.*, 2023), desenvolvendo mecanismos de governança que equilibrem inovação e responsabilidade, pois o arcabouço atual se mostra insuficiente para endereçar a complexidade da transformação digital (Burite; Sacramento; Raupp, 2023).

4.3. Oportunidades de Implementação das Tecnologias Emergentes

Após a análise aprofundada dos desafios sistêmicos que permeiam a implementação de tecnologias emergentes no setor público brasileiro, torna-se imperativo analisar o contraponto: as oportunidades estratégicas que justificam o esforço de superação dessas barreiras. A adoção dessas tecnologias não deve ser vista como um fim em si mesma, mas como um meio para catalisar uma transformação profunda na prestação de serviços e na gestão da máquina pública. Este capítulo, portanto, abandona uma análise focada na ferramenta individual e se estrutura em torno dos três principais eixos de geração de valor público identificados: (1) a otimização da eficiência administrativa e alocação de recursos; (2) o fomento à transparência, *accountability* e segurança da informação; e (3) gestão territorial e cidades Inteligentes.

4.3.1. Eixo 1: Eficiência Operacional e Otimização de Recursos

A modernização da Administração Pública é impulsionada por uma necessidade premente de eficiência, na qual o Estado é compelido a "utilizar os recursos provenientes dos impostos pagos pelos cidadãos da melhor maneira possível, devendo sempre buscar o melhor retorno para a sociedade" (World Bank 2017 *apud* Schaulet; Trez, 2023, p. 17734). Diante de restrições orçamentárias e demandas sociais crescentes, a otimização de recursos exige uma reengenharia dos processos governamentais, na qual as tecnologias emergentes passam a ocupar posição estratégica, oferecendo caminhos complementares para automação, racionalização e maior previsibilidade na gestão pública.

Nesse contexto, o Eixo 1 — dedicado à eficiência operacional e à otimização de recursos — concentra oportunidades particularmente significativas, pois trata do

uso direto dessas tecnologias para reduzir custos administrativos, acelerar fluxos de trabalho e aprimorar a alocação de recursos. Para tornar essas possibilidades mais claras e concretas, o quadro 5 organiza exemplos de uso dos segmentos dessas tecnologias, suas áreas de aplicação e exemplos de funcionalidades capazes de gerar impactos imediatos e tangíveis na máquina pública.

Quadro 5 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 1: Eficiência Operacional e Otimização de Recursos

| Segmento da Tecnologia | Área de Aplicação | Exemplo de Funcionalidade |
|---|---|---|
| Automação de Processos (IA) | Gestão de Processos Administrativos | Implementação de sistemas de automação para a triagem de documentos e processos em órgãos públicos, acelerando a análise e aprovação de solicitações de benefícios sociais. |
| Contratos Inteligentes (<i>Blockchain</i>) | Gestão de Pagamentos e Finanças Públicas | Criação de contratos digitais para a execução de contratos governamentais, como o pagamento de fornecedores, garantindo que os pagamentos sejam realizados automaticamente quando as condições forem atendidas. |
| Análise Preditiva (<i>Big Data</i>) | Análise de Demanda e Alocação de Recursos | Análise de grandes volumes de dados históricos de consumo de serviços públicos para prever picos de demanda, como no caso de distribuição de vacinas durante campanhas de saúde pública. |
| Sistemas de Recomendação (IA) | Apoio à Tomada de Decisão Administrativa | Sistemas que analisam decisões e documentos anteriores para sugerir encaminhamentos adequados em casos semelhantes, auxiliando gestores em decisões mais rápidas e consistentes. |
| Registro Digital Imutável (<i>Blockchain</i>) | Logística de saúde pública | Registro imutável de toda a cadeia logística de medicamentos adquiridos pelo governo, desde o fabricante até o hospital, evitando desvio de insumos e garantindo autenticidade. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Uma contribuição significativa para a eficiência, com potencial de gerar alto impacto em diversos aspectos, surge da IA, especialmente focada na automação de processos. A administração tradicional é marcada por um volume significativo de trabalho manual, repetitivo e de baixo valor agregado, que consome recursos humanos preciosos. A IA oferece o potencial de ampliar a produtividade em até 40% em certas atividades (Sanctis, 2020 *apud* Toledo; Mendonça, 2023), permitindo que servidores sejam liberados de tarefas mecânicas para se concentrarem em atividades de maior valor estratégico, como o planejamento, a fiscalização e o atendimento qualificado ao cidadão (Silva; Costa, 2020a *apud* Vasconcelos; Santos, 2024; Mendonça *et al.*, 2024).

Um exemplo central dessa aplicação é a gestão de processos administrativos, como por exemplo na triagem e análise de solicitações de benefícios sociais. Em vez

de um servidor analisar manualmente cada petição e documento comprobatório, um sistema de IA pode ser treinado para realizar a triagem inicial, verificar a conformidade de documentos e classificar a urgência das solicitações. Essa automação não apenas acelera a aprovação dos benefícios para quem tem direito, como também padroniza a análise, reduzindo erros e subjetividades. Essa lógica se estende a esferas de alta complexidade, como evidenciado pelo Projeto Victor, no STF, que promoveu uma redução expressiva no fluxo de trabalho jurídico e demonstrou a viabilidade da IA para tarefas de classificação e triagem em larga escala, mesmo em ambientes nos quais a precisão técnica é indispensável.

Se a IA automatiza tarefas analíticas, o *Blockchain* introduz a automação baseada na confiança e na execução de regras de negócio, sendo um vetor fundamental para a redução de custos operacionais via desintermediação. O motor central para essa eficiência na gestão de pagamentos e finanças públicas são os *smart contracts*. Conforme explicam Burite, Sacramento e Raupp (2023), por serem contratos autoexecutáveis, eles podem reduzir significativamente os custos transacionais das contratações públicas.

Na prática, um contrato digital pode ser criado para a execução de contratos governamentais, como o pagamento de fornecedores. As cláusulas do contrato (ex: entrega de 100 unidades do produto X no local Y) são programadas no *smart contract*. O pagamento ao fornecedor é bloqueado em garantia (formando um *escrow*) e liberado automaticamente apenas quando os sistemas (por exemplo, a confirmação de recebimento no sistema de logística de uma unidade) confirmam que as condições foram atendidas. Isso elimina a necessidade de verificação manual, processamento de faturas e ordens de pagamento burocráticas, diminuindo drasticamente os custos administrativos e o tempo de tramitação.

Paralelamente à automação, o *BDA* revoluciona a otimização de recursos ao viabilizar a gestão preditiva. Ao permitir o processamento de dados em tempo real, auxilia a gestão a migrar de uma postura preventiva para uma postura preditiva. Essa capacidade analítica é vital não apenas para a manutenção de infraestruturas, mas também para o planejamento financeiro e a alocação de recursos em serviços públicos.

Um exemplo crítico é a análise de demanda para alocação de recursos em saúde pública. Governos podem analisar grandes volumes de dados históricos — como séries temporais de atendimentos, registros de síndromes respiratórias,

variações climáticas e padrões demográficos — para prever a elevação de casos em determinadas épocas do ano. Esse monitoramento é particularmente útil para doenças como a gripe e a COVID-19, cujas taxas de contágio apresentam variações sazonais e picos recorrentes ao longo do ano.

Ao identificar antecipadamente períodos de maior incidência, seria possível intensificar a compra de vacinas, reforçar estoques estratégicos e planejar campanhas de imunização com antecedência, direcionando esforços justamente para as regiões e períodos com maior risco epidemiológico. Dessa forma, a gestão deixa de reagir ao aumento de casos e passa a atuar preventivamente, reduzindo custos e salvando vidas. Essa mesma capacidade é observada no Centro de Operações Rio, que utiliza IA e *BDA* para analisar séries históricas e antecipar crises urbanas (Carvalho; Neto, 2020b *apud* Vasconcelos; Santos, 2024), permitindo que ações preventivas sejam tomadas antes que o sistema entre em colapso.

Avançando para além da automação de tarefas rotineiras, a Inteligência Artificial também se estabelece como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão administrativa. Governos lidam com um volume massivo de decisões que precisam ser rápidas, consistentes e legalmente embasadas. Um sistema de recomendação pode analisar um vasto repositório de decisões e documentos anteriores para sugerir encaminhamentos adequados em casos semelhantes, funcionando como um "assistente" para o gestor. Isso não substituiria o decisor humano, mas forneceria subsídios baseados em precedentes, aumentando a velocidade e a coerência das decisões administrativas.

Esses sistemas operam como uma espécie de “memória institucional aumentada”, capazes de recuperar e comparar decisões, pareceres, normativos e processos semelhantes já registrados pela administração pública. Imagine, por exemplo, uma secretaria municipal de urbanismo responsável por analisar centenas de pedidos de licenciamento por mês, muitos deles com características semelhantes, mas submetidos por servidores diferentes ao longo do tempo. A ausência de padronização e a rotatividade de equipes frequentemente resultam em decisões díspares, inconsistências interpretativas e retrabalho. Com um sistema de recomendação, o gestor receberia sugestões baseadas em análises anteriores, verificando qual foi o entendimento técnico prevalente, e apresentando também quais normativos poderiam embasar aquela decisão.

Esse tipo de solução pode ser explorado também em procuradorias e controladorias, onde a recuperação de argumentos jurídicos de pareceres anteriores permite maior uniformidade na atuação estatal. Assim, longe de substituir a decisão humana, a IA reforça a eficiência do gestor de decidir com mais segurança, menos incertezas e fortalecendo a racionalidade administrativa em menor quantidade de tempo.

Finalmente, o *Blockchain* oferece uma capacidade única, não apenas para transações financeiras (como nos *smart contracts*) mas como um registro digital imutável para garantir a integridade de cadeias logísticas complexas. Na saúde pública, um dos maiores desafios é garantir que medicamentos e insumos adquiridos pelo governo cheguem ao seu destino (o paciente) sem desvios, falsificações ou problemas de armazenamento.

Desde o lote que sai do fabricante, passando pelo transporte, armazenamento em centros de distribuição até a entrega final no hospital, cada etapa poderia ser assinada e registrada em blocos criptografados. Isso fornece uma trilha de auditoria transparente e inviolável. Gestores poderiam verificar a autenticidade e a procedência de qualquer insumo em tempo real, evitando o desvio de medicamentos para o mercado paralelo e garantindo que o recurso público foi efetivamente entregue. Essa aplicação transforma a logística, movendo-a de um sistema baseado em confiança e papéis para um sistema baseado em verificação digital e transparência absoluta.

Em conclusão, as tecnologias emergentes têm o potencial de transformar a gestão pública, aumentando a eficiência e a otimização de recursos. A automação de processos otimiza tarefas repetitivas, permitindo que recursos humanos se concentrem em atividades mais estratégicas. Ao mesmo tempo, sistemas digitais seguros garantem a integridade e rastreabilidade dos dados, enquanto a análise preditiva melhora a alocação de recursos e a tomada de decisões.

4.3.2. Eixo 2: Transparência, Accountability e Integridade de Dados

A legitimidade da Administração Pública na era digital está intrinsecamente ligada à sua capacidade de garantir transparência, *accountability* e integridade em seus processos. Nesse contexto, o Eixo 2 aborda o uso das tecnologias emergentes para fortalecer a confiança pública e garantir a lisura dos atos administrativos. Para

detalhar como essas tecnologias habilitam o controle social e a auditoria, o quadro 6 organiza exemplos de uso dos segmentos dessas tecnologias:

Quadro 6 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 2: Transparência, Accountability e Integridade de Dados

| Segmento da Tecnologia | Área de Aplicação | Exemplo de Funcionalidade |
|--|--|---|
| Exploração Analítica de Dados Abertos (<i>Big Data</i>) | Transparência Ativa e Controle Social | Desenvolvimento de um portal de dados abertos que permita ao cidadão explorar, cruzar e visualizar informações sobre obras, contratos e execução orçamentária, usando gráficos interativos e análises automatizadas baseadas em grandes volumes de dados. |
| Sistemas de Monitoramento e Conformidade (IA) | Deteção e Prevenção de Fraudes Administrativas | Algoritmos monitoram, em tempo real, alterações suspeitas em cadastros e sistemas — como movimentos atípicos em folhas de pagamento, contratos e editais — enviando alertas automáticos aos órgãos de controle interno e externo. |
| Rastreabilidade Imutável de Processos Públicos (<i>Blockchain</i>) | Integridade e Auditabilidade de Licitações | Registro imutável de cada etapa de processos licitatórios (edital, propostas, julgamento, recursos, pagamentos), permitindo auditoria pública completa e eliminando a possibilidade de manipulação dos dados. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

O primeiro pilar dessa transformação é a transparência radical, viabilizada pelo *Big Data* no contexto do Governo Aberto. “Os governos geram e coletam vastas quantidades de dados por meio de suas atividades cotidianas” (Munné, 2016, tradução nossa, p. 195), e as iniciativas de *Open Data* (Dados Abertos) são reconhecidas como o ponto de partida para impulsionar um mercado de dados e fomentar a inovação. Contudo, a simples disponibilização de dados brutos em portais governamentais, embora seja um avanço significativo, é insuficiente para o exercício efetivo do controle social. Frequentemente, a falta de estruturação, integração e tratamento adequado praticamente inutiliza tais fontes de informação para o cidadão comum, que não possui as ferramentas ou o conhecimento técnico para analisá-las.

A verdadeira oportunidade de geração de valor do *Big Data* reside em superar essa barreira, evoluindo da transparência “passiva” (apenas disponibilizar) para a “ativa” (facilitar a análise). Isso se materializa no desenvolvimento de portais analíticos avançados, como o DataViva, em que o cidadão pode explorar, cruzar e visualizar informações complexas de forma intuitiva. Um exemplo funcional dessa abordagem seria um portal de dados abertos que permita ao cidadão não apenas

baixar uma planilha de despesas, mas utilizar gráficos interativos e análises automatizadas para cruzar dados de obras, contratos e a execução orçamentária em tempo real. Essa capacidade de traduzir o volume massivo de dados em conhecimento acessível, como demonstrado por plataformas como o DataViva, é o que transforma o *Big Data* em uma ferramenta concreta de *accountability* social e planejamento colaborativo (Pessoa, Freitas; Borges, 2016).

Enquanto o *Big Data* (via *Open Data*) garante o acesso à informação, a IA pode surgir como uma ferramenta de vigilância e controle, habilitando a *accountability* em tempo real. A transparência expõe os dados, mas o volume é tão grande que a capacidade humana de auditoria é limitada, reativa e baseada em amostragem. A IA permite a criação de sistemas de monitoramento e conformidade capazes de analisar 100% das transações, 24 horas por dia, de forma proativa.

Uma aplicação direta dessa capacidade é a detecção e prevenção de fraudes administrativas. Algoritmos de IA podem ser programados para monitorar, em tempo real, alterações suspeitas em cadastros e sistemas financeiros. Movimentos atípicos em folhas de pagamento (como inclusões indevidas), alterações de valores em contratos ou padrões suspeitos em editais de licitação podem ser identificados instantaneamente. Ao detectar uma anomalia que foge ao padrão estabelecido, o sistema de IA poderia enviar alertas automáticos aos órgãos de controle interno e externo, como o caso do sistema ALICE. Isso muda fundamentalmente a natureza do controle, saindo da auditoria *a posteriori* (que busca remediar o dano) para a prevenção da fraude (que evita a consolidação do dano).

Finalmente, mesmo com a transparência do *Big Data* e o monitoramento da IA, a legitimidade pública depende da integridade da informação. A eficácia da transparência depende da confiança de que os dados disponibilizados são autênticos e não foram adulterados. O *Blockchain* surge como a tecnologia fundamental para garantir essa integridade, oferecendo potencial para processos com transparência e imutabilidade.

A aplicação mais emblemática dessa tecnologia é garantir a rastreabilidade imutável de processos públicos críticos, como as licitações. Ao registrar cada etapa de um processo licitatório — desde a publicação do edital, o recebimento das propostas, a sessão de julgamento, os recursos e os pagamentos — em uma rede *Blockchain*, cria-se um registro inviolável. Qualquer tentativa de manipulação dos dados ou alteração retroativa dos registros seria tecnicamente inviável e

publicamente detectável. Isso permite uma auditoria pública completa e irrestrita, endereçando a desconfiança histórica sobre a lisura das contratações públicas, como explorado pelo Projeto SOL, do Governo da Bahia e Rio Grande do Norte.

Em síntese, o Eixo 2 evidencia que o fortalecimento da transparência, da *accountability* e da integridade pode ser significativamente ampliado por soluções digitais capazes de tornar informações públicas mais acessíveis, monitorar irregularidades de forma contínua e assegurar maior confiabilidade aos registros administrativos. Quando articuladas a uma estratégia de governança orientada pelo controle social e pela prevenção de desvios, essas inovações podem reduzir assimetrias de informação, ampliar a capacidade de fiscalização e criar condições mais favoráveis para uma gestão pública confiável e responsiva às demandas da sociedade.

4.3.3. Eixo 3: Gestão Territorial e Cidades Inteligentes

A gestão territorial contemporânea, no contexto da consolidação das Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), é fundamentalmente um desafio de processamento e integração de informações. A crescente urbanização exige soluções inovadoras para a otimização da infraestrutura física, a gestão eficiente de recursos e a melhoria da qualidade de vida. O Eixo 3 — focado na gestão territorial e cidades inteligentes — explora como essas capacidades redefinem a governança urbana. Para organizar as discussões subsequentes e detalhar como essas soluções se aplicam na prática, o quadro 7 apresenta os casos de aplicação centrais deste capítulo.

Quadro 7 - Oportunidades Tecnológicas no Eixo 3: Gestão Territorial e Cidades Inteligentes

| Segmento da Tecnologia | Área de Aplicação | Exemplo de Funcionalidade |
|---|---|---|
| IA para Planejamento Viário (IA e <i>Big Data</i>) | Gestão de Mobilidade Urbana | Sistema inteligente que integra câmeras, sensores e análise preditiva para identificar fluxos críticos, prever congestionamentos e ajustar automaticamente tempos semafóricos em corredores viários de alto volume. |
| Análise de Dados Sensoriais (<i>Big Data</i> e IA) | Monitoramento Ambiental e Previsão de Crises | Rede de sensores urbanos para monitoramento de qualidade do ar, nível de rios, enchentes, deslizamentos e microclimas, gerando alertas antecipados para Defesa Civil e equipes de resposta emergencial. |
| Cartografia Inteligente (IA e <i>Big Data</i>) | Ordenamento Territorial e Fiscalização de Uso do Solo | Plataforma que utiliza imagens de satélite e modelos de IA para detectar ocupações irregulares, desmatamentos, expansão urbana não planejada e áreas de risco, subsidiando políticas de zoneamento e |

| | | fiscalização territorial. |
|---|---|--|
| Visão Computacional para Infraestrutura Viária (IA) | Manutenção Urbana e Gestão de Pavimentação | Câmeras instaladas em veículos públicos analisam automaticamente pavimentação, buracos, erosões e defeitos estruturais, gerando mapas de prioridade para manutenção viária com base em evidências. |
| Rastreabilidade de Cadeias Produtivas (<i>Blockchain</i>) | Gestão Florestal e Monitoramento de Recursos Naturais | Utilização de <i>Blockchain</i> para registrar de forma imutável todas as etapas da cadeia do carvão vegetal — plantio, colheita, transporte e consumo — garantindo transparência, combate a atividades ilegais e gestão sustentável, conforme implementado no sistema MG Florestas em Minas Gerais. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Em primeiro plano, a otimização da mobilidade urbana representa uma das oportunidades mais impactantes na gestão territorial. O tráfego caótico, um dos maiores entraves das metrópoles, é tradicionalmente gerenciado de forma reativa. Contudo, a convergência da IA e do *Big Data* permite a transição para um modelo de gerenciamento automatizado. Essa abordagem depende da coleta massiva de dados em tempo real, capturados por câmeras, sensores de via e GPS de veículos.

Nesse contexto, a aplicação de um sistema inteligente de planejamento viário, como o proposto no Quadro 7, materializa essa transformação. Esse sistema não se limita a contar veículos; ele integra fluxos de dados de múltiplas fontes para que a IA possa interpretar o ambiente, identificar padrões de fluxo e prever congestionamentos antes que eles se consolidem. A funcionalidade mais avançada desse sistema é a capacidade de ajustar automaticamente os tempos semafóricos em corredores viários de alto volume. Em vez de operar com tempos fixos ou programados, os semáforos tornam-se dinâmicos, respondendo em tempo real às condições de tráfego identificadas. Isso representa um salto qualitativo na fluidez urbana, otimizando o uso da infraestrutura viária existente sem a necessidade de intervenções físicas onerosas.

Indo além da mobilidade, a gestão integrada de operações urbanas e a segurança pública são profundamente beneficiadas pela capacidade preditiva dessas duas tecnologias. A análise de dados permite que o gestor público se antecipe às necessidades dos cidadãos e aos riscos iminentes, melhorando a gestão de recursos em situações críticas. Um dos maiores desafios territoriais das cidades, especialmente em países como o Brasil, é a gestão de crises ambientais e desastres naturais.

Sensores estrategicamente posicionados poderiam monitorar em tempo real a qualidade do ar, o nível dos rios, os índices pluviométricos, a estabilidade de encostas (risco de deslizamento) e microclimas. Esses dados, que constituem um fluxo massivo e de alta velocidade, poderiam ser analisados por algoritmos de IA que buscam padrões e anomalias. Ao identificar uma combinação de fatores de risco — por exemplo, chuvas intensas em uma área com solo já saturado — o sistema geraria alertas antecipados para a Defesa Civil e equipes de resposta emergencial. Isso permite a evacuação preventiva de áreas de risco e a alocação otimizada de recursos, salvando vidas e reduzindo danos materiais. Essa lógica é análoga à "polícia preditiva", onde padrões são identificados para otimizar o deslocamento de forças, mas aqui aplicada à prevenção de desastres.

A gestão territorial não se resume a gerir fluxos e crises, mas também a ordenar o uso e a ocupação do solo. A fiscalização de vastas áreas urbanas e rurais contra ocupações irregulares, desmatamento e expansão urbana não planejada é uma tarefa complexa e intensiva em recursos. A cartografia inteligente, habilitada pela IA e pelo *Big Data*, surge como uma solução para a automação dessa fiscalização.

Uma plataforma de cartografia inteligente pode utilizar imagens de satélite de alta frequência e as submete a modelos de visão computacional, visto que aplicação da IA demonstra um enorme potencial em questões de sustentabilidade e monitoramento do uso do solo (Sharma; Yadav; Chopra, 2020, *apud* Almeida, 2023). Nesse caso, a IA seria treinada para "ler" essas imagens e detectar automaticamente alterações no uso do solo que violem o zoneamento. O sistema poderia, então, identificar, em questão de dias, o surgimento de uma nova ocupação em área de risco, o desmatamento em uma zona de proteção ambiental ou a expansão de uma construção em área não permitida. Esses alertas subsidiam as políticas de zoneamento e direcionam as equipes de fiscalização territorial de forma precisa, otimizando o uso de recursos e coibindo danos ambientais e urbanísticos antes que se tornem irreversíveis.

Enquanto a cartografia inteligente monitora o *uso* do solo, outra aplicação da visão computacional (IA) foca na *manutenção* da infraestrutura física que o serve. A gestão da pavimentação urbana é um desafio constante, com custos elevados e um processo de identificação de problemas (buracos, erosões, defeitos estruturais) tradicionalmente reativo, dependente da notificação de cidadãos.

A solução de instalar câmeras em veículos públicos — como ônibus, viaturas policiais ou caminhões de lixo — e utilizar IA para analisar automaticamente as imagens das vias transformaria radicalmente esse processo. À medida que esses veículos circulam pela cidade em suas rotas normais, a IA processa o fluxo de vídeo para identificar e classificar defeitos na pavimentação. Os dados poderiam ser georreferenciados e alimentariam um sistema central, para gerar mapas de prioridade para manutenção viária com base em evidências, indicando a severidade e a localização exata de cada problema. Isso permitiria que equipes de manutenção atuem de forma proativa e otimizada, alocando recursos para as áreas mais críticas antes que um pequeno buraco se torne um problema estrutural grave e gere prejuízos aos cidadãos.

Por fim, a gestão territorial estende-se para além do perímetro urbano, abrangendo a governança de recursos naturais e cadeias produtivas. A fiscalização de atividades como a extração de madeira ou a produção de carvão vegetal é notoriamente difícil, sendo vulnerável a fraudes documentais e atividades ilegais. Toda a infraestrutura de dados e inteligência requer uma base de confiança e governança, um papel que pode ser exercido pelo *Blockchain*.

No caso da gestão florestal, o uso de *Blockchain* já é uma realidade em Minas Gerais, por meio do sistema MG Florestas, que registra de forma imutável todas as etapas da cadeia produtiva do carvão vegetal. Trata-se de uma solução tecnológica na qual o plantio, a colheita, o transporte e o consumo do carvão são registrados em uma rede distribuída, conforme explicitado pelo Portal MG (2023):

Utilizando um banco de dados distribuído, que armazena dados em vários computadores e à prova de violações, a Tecnologia *Blockchain* assegura que todas as informações relacionadas a produção, colheita e transporte de carvão vegetal sejam permanentes e acessíveis a todas as partes envolvidas (Portal MG, 2023, on-line).

No caso mineiro, cada evento relevante (plantio, comunicação de colheita, emissão de documento de transporte, declaração de consumo) gera um registro criptografado e encadeado em um banco de dados distribuído, à prova de violação, o que cria uma trilha de auditoria transparente e infalsificável para produtores, órgãos ambientais e instâncias de controle (Portal MG, 2023). Esse arranjo sociotécnico não apenas garante a integridade das informações, mas atua diretamente sobre problemas históricos do setor, como o “esquentamento” de carvão

oriundo de mata nativa, a dificuldade de rastrear a origem do produto e a assimetria de informação entre pequenos produtores, grandes empresas e o Estado.

Do ponto de vista institucional, o caso também revela a importância de coalizões interorganizacionais e de desenho de políticas públicas orientadas por dados. A elevada adesão — com mais de 87% dos municípios mineiros participando do sistema, mais de 15 mil produtores cadastrados e cerca de 1,5 milhão de hectares registrados (Portal MG, 2023) — indica não apenas a viabilidade técnica da solução, mas também sua capacidade de criar novos incentivos de conformidade e de coordenação entre atores públicos e privados.

Embora este caso se aplique a recursos florestais, o princípio da imutabilidade é o mesmo necessário para resolver disputas sobre demarcação de terras, onde a definição de titularidade em um registro imutável minimizaria conflitos históricos (Moura, Brauner, Janissek-Muniz, 2020).

Em suma, a convergência dessas tecnologias nessa temática permite otimizar serviços públicos existentes e reestruturar a governança territorial. As cinco aplicações demonstram uma evolução clara: da otimização de fluxos (mobilidade) e antecipação de crises (ambiental), passando pela fiscalização automatizada (cartografia) e manutenção preditiva (pavimentação), até a garantia de integridade na origem dos recursos (*Blockchain*). O resultado é uma gestão territorial mais segura, transparente, eficiente e preditiva.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou a implementação das tecnologias *Big Data*, Inteligência Artificial e *Blockchain* na administração pública brasileira. A pesquisa teve como objetivo central compreender o panorama atual de suas possibilidades transformadoras e dos desafios críticos que impedem sua adoção em larga escala no setor público brasileiro.

Considera-se que os objetivos da pesquisa foram alcançados. Por meio da revisão sistemática da literatura e da análise documental, o estudo cumpriu seu propósito ao delinear conceitualmente cada tecnologia, demonstrando ainda seus pontos de convergência. A partir disso, foi possível mapear experiências práticas de aplicação no Brasil. Mais importante, o estudo logrou êxito em sistematizar os principais argumentos da literatura sobre as oportunidades de modernização e as barreiras técnicas, institucionais e culturais que dificultam a implementação no setor público.

O achado central desta investigação revela que a transformação digital no setor público não se resume à mera aquisição de *software*, mas configura-se como um fenômeno que transcende a dimensão técnica para redefinir a própria natureza do fazer administrativo. Sob essa ótica, evidenciou-se que os maiores entraves à adoção em larga escala não residem na tecnologia em si, mas nas barreiras humanas e culturais, profundamente enraizadas no *ethos* das instituições. Conclui-se, assim, que o êxito dessas iniciativas depende menos da sofisticação algorítmica e mais da maturidade institucional para gerir a mudança, demonstrando que a modernização do Estado é, em última instância, um desafio de arquitetura humana e de visão estratégica.

Apesar desses desafios estruturais, a pesquisa confirmou a existência de oportunidades claras de geração de valor público. Quando superadas as barreiras iniciais, a aplicação correta dessas tecnologias promove ganhos tangíveis: a Inteligência Artificial tem se mostrado vital para a automação de processos e eficiência operacional; o *Big Data* oferece a base para uma gestão preditiva e alocação inteligente de recursos; e o *Blockchain* introduz um novo paradigma de integridade e transparência através da rastreabilidade imutável de dados. Mais do que o uso isolado de cada ferramenta, o estudo corroborou que a grande fronteira de inovação reside na convergência estratégica entre elas. A integração sinérgica

dessas tecnologias pode atuar como um catalisador fundamental para a modernização estatal, habilitando desde a auditoria em tempo real até a gestão complexa de cidades.

Como contribuição prática para a administração pública, este trabalho oferece um diagnóstico claro aos gestores: a transformação digital falhará se for tratada apenas como um projeto de aquisição de software. A pesquisa evidencia que o investimento deve ser direcionado prioritariamente ao capital humano, por meio de programas de letramento digital e capacitação contínua, e que a criação de uma governança de dados robusta deve preceder a implementação dessas ferramentas.

No âmbito acadêmico, a contribuição metodológica deste trabalho reside na triangulação de fontes, combinando artigos científicos com a análise documental de casos práticos e relatórios institucionais. Ademais, a contribuição também está na análise integrada das três tecnologias, propondo um modelo de convergência (*Big Data* como base, *IA* como análise e *Blockchain* como governança) que raramente é tratado de forma unificada na literatura de gestão pública brasileira.

Identificam-se, contudo, limitações inerentes ao método escolhido. Primeiramente, por se tratar de uma revisão sistemática, a análise depende de fontes secundárias, o que limita a compreensão de barreiras culturais não documentadas. Soma-se a isso uma possibilidade de lacuna de transparência nos próprios documentos analisados, pois as fontes institucionais, em sua maioria, tendem a focar nos pontos de sucesso e nos resultados positivos, transparecendo pouco os problemas, conflitos internos e os reais desafios ocorridos durante a implementação. Isso cria um viés otimista sobre as informações, dificultando um diagnóstico completo das dificuldades práticas. Por fim, como este não é um estudo de caso focado em um contexto específico, as considerações aqui apontadas têm características genéricas, devendo ser adequadas com cautela, respeitando-se sempre as capacidades institucionais e as especificidades de cada organização.

Com base nas limitações identificadas, sugerem-se trabalhos futuros que avancem a fronteira do conhecimento por meio de pesquisa empírica de campo. Primeiramente, recomenda-se a realização de estudos de caso qualitativos, com entrevistas em profundidade, para validar se os desafios organizacionais e humanos identificados nesta revisão de literatura são, de fato, as barreiras predominantes em cada contexto.

Em segundo lugar, dada a ausência de legislação específica consolidada para as tecnologias deste trabalho, sugere-se a realização de pesquisas focadas na intersecção entre o Direito Administrativo e a governança da IA, *Big Data* e *Blockchain*. Tais estudos são de necessidade instantânea e poderiam discutir proposições para as legislações que ainda estão em construção — como o PL 2338/2023. O foco dessa análise deve ser duplo: não apenas como garantir a segurança jurídica e a proteção de direitos, mas também como o próprio marco legal pode atuar como um catalisador para a implementação, fomentando ativamente a transformação digital ao prover a clareza e a segurança necessárias para que os gestores públicos possam inovar.

Por fim, recomenda-se como um desdobramento prático deste estudo a proposição de *frameworks* analíticos. Esses modelos poderiam servir como uma ferramenta de diagnóstico e auxílio à decisão para os gestores. O objetivo de tais *frameworks* seria estabelecer critérios claros para enquadrar quais processos públicos teriam os maiores ganhos com a implementação de cada tecnologia. Além de auxiliar nesse diagnóstico de adequação, os modelos poderiam detalhar as etapas necessárias de implementação e os pontos de controle cruciais para orientar os gestores na aplicação prática.

REFERÊNCIAS

- AGU. **Blockchain no setor público: guia de conceitos e usos potenciais**. AGU, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-protecao/lavagem-de-dinheiro/enccla/acoes-enccla/arquivos-enccla-2020/e2020a08-blockchain-no-setor-publico-guia-de-conceitos-e-usos-potenciais.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ALMEIDA, Marcos Inácio Severo de. **Inteligência Artificial como instrumento de governança radical para organizações públicas**. Brasília: Enap, 2023. 80 p. (Cadernos Enap, 127; Coleção: Cátedras 2021).
- ALVES, Marco Antônio Sousa; ANDRADE, Otávio Morato de. Da “Caixa-Preta à “Caixa de Vidro”: o Uso da Explainable Artificial Intelligence (XAI) para Reduzir a Opacidade e Enfrentar o Enviesamento em Modelos Algorítmicos. **RDP**, Brasília, v. 18, n. 100, p. 349-373, out./dez. 2021.
- ANDRADE, Mariana Dionísio de; PRADO, Dilson Alves. Inteligência artificial para a redução do tempo de análise dos recursos extraordinários: o impacto do projeto Victor no Supremo Tribunal Federal. **REVISTA QUAESTIO IURIS**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 53–78, 2022. DOI: 10.12957/rqi.2022.52714. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/quaestioiuris/article/view/52714>. Acesso em: 10 set. 2025.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BORGES, Natália Marroni; JANISSEK-MUNIZ, Raquel; PANIZZON, Mateus. Transformação digital no setor público: um estudo sobre a adoção de inteligência artificial em bancos públicos brasileiros. **UNINOVE**, 2024. Disponível em: <https://submissao.singep.org.br/12singep/proceedings/arquivos/300.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025.
- BRAGA, Lucas Ferreira; CAVALCANTE, Ney Wagner Freitas; TAVARES, Elaine; KOGUT, Clarice Secches. Gestão estratégica de grandes dados para tomada de decisão no setor público: o caso da Prefeitura do Rio de Janeiro. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 20, n. 8, p. 3413-3432, 2023. DOI: 10.54033/cadpedv20n8-020.
- BRASIL. Lei nº 13.019, de 31 de julho de 2014. Estabelece o regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil, em regime de mútua cooperação, para a consecução de finalidades de interesse público e recíproco [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1 ago. 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm. Acesso em: 11 out. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 ago. 2018. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Acórdão nº 1613/2020 – Plenário.. Levantamento sobre o emprego da tecnologia *Blockchain* no âmbito da Administração Pública Federal. Tribunal de Contas da União, 2020. Disponível em:

<https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/documento/acordao-completo/1613%252F2020/%2520DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/0/%2520?uuid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 07 nov. 2025.

BURITE, Alexsandro Souza; SACRAMENTO, Ana Rita Silva; RAUPP, Fabiano Maury. Possíveis implicações da aplicação combinada da blockchain, smart contract e inteligência artificial nas contratações e no orçamento público. **Revista da CGU**, v. 15, n. 27, p. 203-220, jan.-jun. 2023. ISSN 2595-668X. Disponível em: <https://doi.org/10.36428/revistadacgu.v14i27.534>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CARVALHO, André Castro; FERRO, Murilo Ruiz; MELO, Felipe Luiz Neves Bezerra de. Desafios para a regulação do uso da IA no setor público. **Consultor Jurídico (ConJur)**, 22 jun. 2025. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2025-jun-22/desafios-para-a-regulacao-do-uso-da-inteligencia-artificial-ia-no-setor-publico/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CENTRO DE OPERAÇÕES RIO. **História**. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://cor.rio/historia/>. Acesso em: 10 out. 2025.

COMBA, Biof Bucut; SACABETO, Isabel Sebastião; CAETANO, Luís Miguel Dias; BANDIRI, Sabi Yari Moïse. Inteligência Artificial na gestão pública: desafios e oportunidades. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 8, (Edição Especial), p. 01-06, 2024.

COSTA, Sílvia Regina da. A contribuição da inteligência artificial na celeridade dos trabalhos repetitivos no sistema jurídico. 2020. Dissertação (Mestrado em Mídia e Tecnologia) – **Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação**, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, 2020.

DATAVIVA. **DataViva: Sobre**. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://www.dataviva.info/pt/about/>. Acesso em: 22 out. 2025.

DIAS, Stephanie Almeida de Jesus et al. Inteligência artificial e redes de colaboração: o caso Victor, IA do Supremo Tribunal Federal. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 7, p. 7608-7635, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/846/721>. Acesso em: 24 nov. 2025.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **Blockchain: o que é, como funciona e exemplos**. Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/Blockchain/>. Acesso em: 11 out. 2025.

ERSOY, Aksel; ALBERTO, Klaus Chaves. Understanding urban infrastructure via *Big Data*: the case of Belo Horizonte. **Regional Studies, Regional Science**, v. 6, n. 1, p. 374-379, 2019. DOI: 10.1080/21681376.2019.1623068.

ESPINOSA, J. Alberto; KAISLER, Stephen; ARMOUR, Frank; MONEY, William H. *Big Data Redux: New Issues and Challenges Moving Forward*. **HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES**, 52., 2019, Maui. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10125/59546>. Acesso em: 04 ago. 2025.

EXAME. **Investimentos globais em IA devem atingir US\$ 1,5 trilhão em 2025, projeta Gartner**. Exame, [S. l.], set. 2025. Negócios. Disponível em: <https://exame.com/negocios/investimentos-globais-em-ia-devem-atingir-us-15-trilhao-em-2025-projeta-gartner/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

EXAME. **Maranhão é o primeiro estado do país a aderir à Rede Blockchain Brasil**. Exame, ago. 2023. Disponível em: <https://exame.com/future-of-money/maranhao-primeiro-estado-rede-Blockchain-brasil/>. Acesso em: 3 out. 2025.

FILHO, Antonio Isidro da; CARNEIRO, Dayse Karenine de Oliveira; COELHO, Fernando de Souza. Inteligencia Artificial Aplicada a Gestao da Inovacao no Setor Publico. **ENCONTRO DA ANPAD**, 2022. Disponível em: <https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/abdf6bdb7570e8f9d4338f84bd169130.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2025.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Tradução: Joice Elias Costa. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JIA, Qian-Hui; LI, Chen; GAO, De Long. Study on the Application of Data Visualization in Public Administration. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research**, v. 90. p. 21-26.

JOTA. **Leis estaduais sobre IA podem causar fragmentação regulatória, dizem especialistas**. *Jota Info*, 2025. Disponível em: <https://www.jota.info/coberturas-especiais/jurisprudente/leis-estaduais-sobre-ia-podem-causar-fragmentacao-regulatoria-dizem-especialistas>. Acesso em: 24 out. 2025.

MAÇADA, Antonio Carlos Gastaud; BRINKHUES, Rafael Alfonso; FREITAS JÚNIOR, José Carlos. *Big Data* e as capacidades de gestão da informação. **ComCiência**, 2015. Publicado em 09 jul. 2015.

MACHADO, João Batista de Souza. Governança algorítmica e inteligência artificial na auditoria governamental: desafios e oportunidades do sistema Alice para o

controle interno. **Escola Nacional de Administração Pública (Enap)**, 2025. Brasília, DF.

MAIA FILHO, Mamede Said; JUNQUILHO, Tarcísio Augusto. Projeto Victor: perspectivas de aplicação da inteligência artificial ao direito. **Revista de Direitos e Garantias Fundamentais**, Vitória, v. 19, n. 3, p. 219-238, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18759/rdgf.v19i3.1587>.

MENDONÇA, Márcio *et al.* Evolução da inteligência artificial: da IA fraca à IA forte na era dos chatbots, com instanciações na educação. **Ciência e tecnologia: Catalisadores da inovação**, 2024. Cap. 3, p. 26-39.

MENEZES, Ana Paula Veras Carvalho. A utilização da inteligência artificial (Projeto Alice) como ferramenta de aperfeiçoamento da governança e do controle das contratações públicas no Tribunal de Contas da União. 2022. **Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP)**, Brasília, 2022.

MOURA, Luzia Menegotto Frick de; BRAUNER, Daniela Francisco; JANISSEK-MUNIZ, Raquel. *Blockchain* e a perspectiva tecnológica para a administração pública: uma revisão sistemática. **Revista de Administração Contemporânea (RAC)**, v. 24, n. 3, art. 5, p. 259-274, 2020. DOI: 10.1590/1982-7849rac2020190171. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2020190171>. Acesso em: 10 set. 2025.

MUNNÉ, Ricard. *Big Data* in the Public Sector. **New Horizons for a Data-Driven Economy**, 2016. p. 195-208. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299617258_Big_Data_in_the_Public_Sector. Acesso em: 24 de set. 2025.

MUNDO INVEST. **O que é blockchain e como investir**. Mundo Invest, 2021. Disponível em: <https://www.mundoinvest.com.br/conteudos/o-que-e-blockchain-e-como-investir>. Acesso em: 11 out. 2025.

NAKAMOTO, S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. [S.l.]: [s.n.], 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

NICOCELI, Artur. **TCU e BNDES lançam projeto de rede com tecnologia Blockchain para serviços públicos**. CNN Brasil, São Paulo, 30 maio 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/tcu-e-bndes-lancam-projeto-de-rede-com-tecnologia-Blockchain-para-servicos-publicos/>. Acesso em: 23 out. 2025.

PEIXOTO, Fabiano Hartmann. O Projeto Victor e a Inteligência Artificial no Supremo Tribunal Federal. **Revista Brasileira de Inteligência Artificial e Direito (RBIAD)**, 2021.

PESSOA, Rafael Marques; FREITAS, Elton Eduardo; BORGES, Thiago Bernardo. Dataviva: Plataforma De Visualização De Dados Públicos Socioeconômicos Brasileiros. **Consad**, 2016. Disponível em: <https://consad.org.br/wp-content/uploads/2016/06/Painel-35-01.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

PESSANHA, Charles. O Supremo Tribunal Federal na era da inteligência artificial: o Projeto Victor. **Contemporânea – Revista de Sociologia da UFSCar**, v. 9, n. 1, p. 261-271, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/2316-1329.019>.

PORTAL MG. **Tecnologia Blockchain garante eficiência e segurança ao setor florestal de Minas Gerais**. Portal MG, 2023. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/planejamento/noticias/tecnologia-Blockchain-garante-eficiencia-e-seguranca-ao-setor-florestal-de>. Acesso em: 07 nov. 2025.

RIBEIRO, Manuella Maia; SEGATTO, Catarina Ianni. Inteligência artificial nas organizações públicas brasileiras: heterogeneidades e capacidades em tecnologia da informação. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, e2024-0066, 2025.

ROCHA, Andre Luiz Monteiro da; REZENDE, Matheus Scatolino de; OLIVEIRA, Tiago Chaves. Alice: desafios, resultados e perspectivas da ferramenta de auditoria contínua de compras públicas governamentais com uso de inteligência artificial. **Revista da CGU**, 2022. Disponível em: https://revista.cgu.gov.br/Revista_da_CGU/article/view/530. Acesso em: 10 nov. 2025.

RODRIGUES, Luiz Miguel Santos; FERREIRA, Renata Neves. Aplicabilidade do Blockchain no setor público. **Revista Processando o Saber**, 2024. Disponível em: <https://www.fatecpg.edu.br/revista>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SAGIROGLU, Seref; SINANC, Duygu. *Big Data: A Review*. Gazi University, 2013. Disponível em: https://academics.uccs.edu/~ooluwada/courses/datamining/ExtraReading/Big_data_A_review.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

SCHAULET, E.; TREZ, G. Big data em organizações de médio e grande porte do setor público brasileiro. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 10, p. 17733–17749, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n10-173. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1864>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SOARES, Jean Robert; ROLT, Carlos Roberto; RAUPP, Fabiano Maury. *Big Data Analytics e Governo Local: Considerações sobre um Modelo de Processos com Foco em Gestão*. EnANPAD, 2022. Disponível em:

<https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/04992c5115a2c2fe6d12bdc21e16f64e.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2025.

SOL APP. Solução Online de Licitação (SOL). 2025. Disponível em: <https://www.sol-app.net/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SOUSA, José Raul de; SANTOS, Simone Cabral Marinho dos. **Análise de conteúdo em pesquisa qualitativa: modo de pensar e de fazer**. Pesquisa e Debate em Educação, Juiz de Fora: UFJF, v. 10, n. 2, p. 1396–1416, jul./dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2020.v10.31559>.

SILVEIRA, Leyverson Teodoro da Silva. e. **O uso da tecnologia *Blockchain* como ferramenta de combate à corrupção nas licitações públicas: perspectivas e desafios para a administração pública brasileira**. Fundação João Pinheiro, 2024. Disponível em: <https://repositorio.fjp.mg.gov.br/server/api/core/bitstreams/8306f80d-fcc2-40a1-902c-78138dc77e4b/content>. Acesso em: 04 jul. 2025.

SILVA, Euber Chaia Cotta e; MARQUES, Rodrigo Moreno. ***Blockchain* no setor público: uma revisão sistemática de literatura**. *AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento*, v. 10, n. 3, p. 1-11, set./dez. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/atoz.v10i3.79903>. Acesso em: 23 set. 2025.

TAURION, Cezar. **Big data**. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.

TOLEDO, Adriana Teixeira de; MENDONÇA, Milton. A aplicação da inteligência artificial na busca de eficiência pela administração pública. **Revista do Serviço Público**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21874/rsp.v74i2.6829>. Acesso em: 04 de jul. 2025.

TOOSI, Amirhosein et al. A brief history of AI: how to prevent another winter (a critical review). **PET Clinics**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 449-469, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cpet.2021.07.001>. Acesso em 14 jul. de 2025;

TCU. **Apêndice 1 - Aplicações Do *Blockchain* No Setor Público Do Brasil**. Secretaria das Sessões (Seses), 2020. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/data/files/58/02/CE/5E/C4854710A7AE4547E18818A8/Blockchain_apendice1.pdf. Acesso em: 05 de nov. 2025.

TCU. **Controle Externo: Revista do Tribunal de Contas do Estado de Goiás**. [S.l.: s.n.], 2020.

TCU. **Rede *Blockchain* Brasil inicia fase piloto do projeto**. Portal TCU, Brasília, 23 ago. 2024. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/rede-Blockchain-brasil-inicia-fase-piloto-do-projeto>. Acesso em: 02 nov. 2025.

VASCONCELOS, Eduardo Silva; SANTOS, Fernando Augusto dos. Inteligência Artificial na gestão pública brasileira: Desafios e oportunidades para a eficiência governamental. **Communication and Culture: Multidisciplinary Perspectives**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/sevened2024.014-009>. Acesso em: 10 jul. 2025.