



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

O Código como Freio Institucional: como a integração de ERP e Blockchain materializam princípios do liberalismo

HESLEY FIGUEIRÔA TRAVASSOS

Orientador: Marcelo Portela Sousa

Campina Grande, Agosto de 2025

© Hesley Figueirôa Travassos



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Cursos Superior de Tecnologia em Telemática

O Código como Freio Institucional: como a integração de ERP e Blockchain materializam princípios do liberalismo

HESLEY FIGUEIRÔA TRAVASSOS

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Telemática do IFPB - Campus
Campina Grande, como requisito parcial para
conclusão do curso Superior de Tecnologia em
Telemática.

Orientador: Marcelo Portela Sousa

Campina Grande, Agosto de 2025

Catálogo na fonte:

Ficha catalográfica elaborada por Gustavo César Nogueira da Costa - CRB 15/479

T772c Travassos, Hesley Figueirôa.

O código como freio institucional: como a integração de ERP e Blockchain materializam princípios do liberalismo / Hesley Figueirôa Travassos. – 2025.

55 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Telemática) - Instituto Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Marcelo Portela Sousa.

1. ERP (Planejamento de Recursos Empresariais). 2. Blockchain. 3. Liberalismo político. 4. Transparência governamental. 5. Governança eletrônica. I. Sousa, Marcelo Portela. II. Título.

CDU 004.65

O Código como Freio Institucional: como a integração de ERP e Blockchain materializam princípios do liberalismo

Hesley Figueirôa Travassos

Marcelo Portela Sousa
Orientador

Iana Daya Cavalcante Facundo Passos
Membro da Banca

Daniella Dias Cavalcante da Silva
Membro da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil
Agosto/2025

Dedico este trabalho à Dona Ângela Medeiros que me acolheu, me incentivou e me deu o
colo que precisava para não desistir.

*"Cavar meu poço foi na vida o que eu mais fiz
A ferro e fogo, escapando por um triz
Eu tenho orgulho de todas as minhas cicatrizes
Que graça tem a vida sem nenhuma crise?
Eu levantei, é bom você me ver agora
Estou blindado, tão tranquilo e perigoso
E como andei pra atravessar todo esse mundo
Eu morro um dia, mas vivi do meu esforço
Agora que eu sobrevivi a tanta dor
Pra ser feliz eu cavo até um outro poço
Eu levantei, é bom você me ver agora
Estou blindado, tão tranquilo e perigoso"*

NASI VALADÃO

Agradecimentos

Gostaria de começar agradecendo à enorme e poderosa falange de Ogum, senhor das demandas e da guerra, fiel escudeiro, cavaleiro nobre, dono da minha cabeça e ancestralidade que me concedeu a força necessária para vencer todos os obstáculos espirituais e chegar ao fim do curso de Telemática como um bom e típico devoto, filho dessa imensa legião de Jorge: vitorioso!

Foram muitos os obstáculos e desafios durante estes anos, principalmente a nível espiritual. Muitas pessoas passaram no meu caminho, porém, como fonte de ajuda e apoio e talvez nem dê para citar todos mas gostaria de agradecer em especial:

À minha família: meus pais Hercílio e Verônica por sempre me apoiarem e acreditarem em mim, me dando o amor, o colo e a estrutura que preciso para vencer o mundo; minha avó (*In Memoriam*) Elisete Farias de Oliveira pelo apoio e pelo aprendizado que nossas conversas me proporcionou; ao meu irmão Victor e minha cunhada Gerlane por todo apoio e ajuda nestes anos;

À minha madrinha de vida, Nininha Freire, por sempre estar ao meu lado e ser a luz no fim do túnel quando tudo parecia não solução;

Aos amigos e colegas que fiz no IFPB durante essa jornada, pela ajuda com disciplinas e oportunidades; agradecer em especial ao Bryan Khelven por ter sido um mestre nestes anos;

Aos professores Marcelo Portela, Iana Daya e Daniella Dias por todo empenho para me ajudar a conluir esta fase crucial para o encerramento do ciclo no IFPB;

À Dona Ângela Medeiros: por seus conselhos, pelo seu colo, por suas orações, pelos abraços, pelo carinho comigo e com os meus, por tanta luz e amor que irradia por onde passa e que me possibilitou não desacreditar de uma vez da humanidade, além de servir como alento num ambiente tão satânico como é uma faculdade pública.

À todos que me ajudaram nesta jornada, inclusive os que não estão citados por nome: MINHA MAIS SINCERA GRATIDÃO!!!

Resumo

Este trabalho investiga a intersecção entre tecnologia, governança e liberalismo político, com o objetivo geral de analisar como a integração de sistemas de gestão governamental (ERPs) com a tecnologia *blockchain* pode operacionalizar os princípios liberais de transparência e limitação do poder estatal. Através de uma metodologia qualitativa e análise documental, a pesquisa toma como estudo de caso principal o sistema de e-governance da Estônia (X-Road e KSI blockchain), comparando sua arquitetura descentralizada e auditável com as iniciativas brasileiras, como o SIAFI, a plataforma Gov.br e projetos do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), que se caracterizam pela centralização e fragmentação. Os resultados demonstram que o modelo estoniano materializa, em sua arquitetura técnica, os princípios liberais de limitação do poder e soberania individual por meio da descentralização de dados, imutabilidade algorítmica e transparência verificável, funcionando como um "freio institucional" codificado. Conclui-se que, enquanto a Estônia representa um caso de sucesso na aplicação tecnológica de ideais liberais, o Brasil enfrenta barreiras significativas para a adoção de um modelo similar, incluindo a fragmentação de sistemas, a falta de padronização e uma cultura política historicamente centralizadora.

Palavras-chave: ERPs Governamentais, Blockchain, Liberalismo, Limitação do Poder Estatal, Governança Digital.

Abstract

This study investigates the intersection of technology, governance, and political liberalism. Its main objective is to analyze how integrating governmental management systems (ERPs) with blockchain technology can operationalize liberal principles of transparency and limitation of state power. Using a qualitative methodology and documentary analysis, the research adopts Estonia's e-governance system (X-Road and KSI blockchain) as its primary case study. This decentralized and auditable architecture is then compared with Brazilian initiatives—such as SIAFI, the Gov.br platform, and BNDES projects—which are characterized by centralization and fragmentation. The results demonstrate that the Estonian model technically materializes the liberal principles of limited power and individual sovereignty. This is achieved through data decentralization, algorithmic immutability, and verifiable transparency, effectively creating a coded "institutional check". The study concludes that Estonia represents a successful application of liberal ideals in technology. In contrast, Brazil faces significant barriers to adopting a similar model, including system fragmentation, lack of standardization, and a historically centralizing political culture.

Keywords: Governmental ERPs, Blockchain, Liberalism, Limitation of State Power, Digital Governance.

Sumário

Lista de Abreviaturas e Siglas	xii
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Justificativa e Relevância da Pesquisa	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Metodologia	3
1.3.1 Critérios de Seleção dos Casos	3
1.3.2 Limites da Abordagem	4
1.4 Organização do Documento	4
2 Sobre o Liberalismo	5
3 Sistemas ERPs e <i>Blockchain</i>: Conceitos, Características e Funcionalidades	9
3.1 Sistemas ERP: O que são?	10
3.1.1 Arquitetura	11
3.1.2 Desenvolvimento	13
3.1.3 ERPs Governamentais	15
3.2 O que é <i>Blockchain</i> ?	17
3.3 Sistemas ERP com <i>Blockchain</i> Integrações, Exemplos e Implicações para a Administração Pública	19
4 ERP Governamental da Estônia: Funcionamento, Benefícios e Compara- ções com Exemplos Brasileiros	22
4.1 Funcionamento e Aplicações	23
4.2 Comparações Com Casos Brasileiros	25
4.2.1 SIAFI – Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal	26
4.2.2 Gov.br – Funcionamento técnico e integração com <i>blockchain</i>	27
4.2.3 BNDES – <i>Blockchain</i> com Hyperledger para Gestão Pública	28

4.3	Diferenças Técnicas Fundamentais: Análise Técnica	29
4.3.1	Arquitetura e Interoperabilidade	29
4.3.2	Governança de Dados	29
4.3.3	<i>blockchain</i> e Imutabilidade	30
4.3.4	Desempenho e Custo	30
4.3.5	Resiliência e Segurança	30
5	Considerações Finais	32
5.1	Limites do Estudo	34
5.2	Recomendações	34
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	35

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACID	Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade (do inglês: <i>Atomicity, Consistency, Isolation, Durability</i>)
ADVPL	Advanced Protheus Language
API	Interface de Programação de Aplicações (do inglês: <i>Application Programming Interface</i>)
ASP	Provedores de Serviço de Aplicação (do inglês: <i>Application Service Providers</i>)
BFT	Tolerância a Falhas Bizantinas (do inglês: <i>Byzantine Fault Tolerance</i>)
BI	Inteligência de Negócios (do inglês: <i>Business Intelligence</i>)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CERT	Grupo de Resposta a Emergências de Computadores (do inglês: <i>Computer Emergency Response Team</i>)
CI/CD	Integração Contínua/Entrega Contínua (do inglês: <i>Continuous Integration/Continuous Deployment</i>)
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
CRM	Gestão de Relacionamento com o Cliente (do inglês: <i>Customer Relationship Management</i>)
ERP	Planejamento de Recursos da Empresa (do inglês: <i>Enterprise Resource Planning</i>)
FIPS	Padrões Federais de Processamento de Informação (do inglês: <i>Federal Information Processing Standards</i>)
gRPC	gRPC Remote Procedure Call
HTTPS	Protocolo de Transferência de Hipertexto Seguro (do inglês: <i>Hypertext Transfer Protocol Secure</i>)
IBFT	Tolerância a Falhas Bizantinas de Istambul (do inglês: <i>Istanbul Byzantine Fault Tolerance</i>)

ID	Identidade (do inglês: <i>Identity/Identification</i>)
IoC	Inversão de Controle (do inglês: <i>Inversion of Control</i>)
IoT	Internet das Coisas (do inglês: <i>Internet of Things</i>)
ISO/IEC	Organização Internacional para Padronização/Comissão Eletrotécnica Internacional
JSON	Notação de Objetos JavaScript (do inglês: <i>JavaScript Object Notation</i>)
JWT	Token Web JSON (do inglês: <i>JSON Web Token</i>)
KSI	Infraestrutura de Assinatura sem Chave (do inglês: <i>Keyless Signature Infrastructure</i>)
MRP	Planejamento de Necessidades de Materiais (do inglês: <i>Material Requirements Planning</i>)
MRP II	Planejamento dos Recursos de Manufatura (do inglês: <i>Manufacturing Resource Planning</i>)
MVCC	Controle de Concorrência Multiversão (do inglês: <i>Multiversion Concurrency Control</i>)
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (do inglês: <i>National Institute of Standards and Technology</i>)
OCI	Infraestrutura de Nuvem da Oracle (do inglês: <i>Oracle Cloud Infrastructure</i>)
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P2P	Ponto a Ponto (do inglês: <i>Peer-to-Peer</i>)
PIN	Número de Identificação Pessoal (do inglês: <i>Personal Identification Number</i>)
PKCS	Padrões de Criptografia de Chave Pública (do inglês: <i>Public-Key Cryptography Standards</i>)
RBB	Rede Blockchain Brasil
REST	Transferência de Estado Representacional (do inglês: <i>Representational State Transfer</i>)
RH	Recursos Humanos
RIPE NCC	Centro de Coordenação de Redes IP Europeias (do francês: <i>Réseaux IP Européens Network Coordination Centre</i>)
SaaS	Software como um Serviço (do inglês: <i>Software as a Service</i>)
SGI	Sistema de Gerenciamento de Informações

SHA	Algoritmo de Hash Seguro (do inglês: <i>Secure Hash Algorithm</i>)
SIAFEM	Sistema Integrado de Administração Financeira para Estados e Municípios
SIAFI	Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal
SIAFIC	Sistema Único e Integrado de Execução Orçamentária, Administração Financeira e Controle
SICONV	Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse
SIGED	Sistema Integrado de Gestão Eletrônica de Documentos
SIOPE	Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Educação
SIOPS	Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde
SPB	Sistema de Pagamentos Brasileiro
SSL	Camada de Soquetes Segura (do inglês: <i>Secure Sockets Layer</i>)
STN	Secretaria do Tesouro Nacional
TCU	Tribunal de Contas da União
TI	Tecnologia da Informação
TLS	Segurança da Camada de Transporte (do inglês: <i>Transport Layer Security</i>)
VPN	Rede Privada Virtual (do inglês: <i>Virtual Private Network</i>)
WS-Security	Segurança em Serviços Web (do inglês: <i>Web Services Security</i>)
XML	Linguagem de Marcação Extensível (do inglês: <i>Extensible Markup Language</i>)

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Introdução

O liberalismo político, desde suas formulações clássicas no século XVII, estabeleceu mecanismos de controle do poder como antídoto ao arbítrio estatal. Locke (1988a), em *Dois Tratados sobre o Governo*, defendia que o poder governamental deveria ser limitado por leis pré-estabelecidas e divisão de funções, argumentando que "onde não há lei, não há liberdade". Montesquieu (2012) ampliou esse princípio ao propor a separação de poderes como freio institucional, sistema que influenciou diretamente as constituições modernas. No século XX, autores como Hayek (1960) reforçaram que tais controles deveriam ser "não apenas jurídicos, mas arquiteturas", antecipando a importância de estruturas que impossibilitem abusos. Essa tradição revela um núcleo comum: a desconfiança no poder concentrado e a busca por transparência governamental.

No século 21, a tecnologia se tornou parte inseparável do cotidiano humano. Isso trouxe como consequência os mais diferentes desafios, inclusive na relação que temos com nossos governos e na forma como interferem em nossas vidas. Para citar um exemplo: o avanço tecnológico permite a cada governo utilizar-se de sistemas complexos como os ERPs (*Enterprise Resource Planning* ou sistemas de Planejamento de Recursos de Empresa, traduzido do inglês) para guardar, tratar e gerir nossos dados pessoais. Mas, será que isto é feito de forma a respeitar os princípios liberais de liberdade individual dando ao Estado cada vez menos poder de interferir em nossas vidas? Será que uso de tecnologia pode ser condicionado na aplicação de princípios liberais ou corroboram para o estreitamento da máquina estatal?

O surgimento de tecnologias como o *Blockchain*, que tem como principal característica o armazenamento descentralizado de informações, pode ser considerado um rompimento com antigas formas centralizadoras de dados e, obviamente, de poder estatal. ERPs integrados à tal tecnologia, por outro lado, parecem materializar inovações radicais no controle estatal ao poder criar códigos executáveis baseados em princípios liberais. Quando sistemas como o SAP (2023b) *Governance, Risk and Compliance* integram *smart contracts*, criam "freios e contrapesos algorítmicos" (LESSIG, 2006) que automatizam a fiscalização - por exemplo, bloqueando pagamentos não conformes às regras orçamentárias. Já o *Blockchain*, através de características como imutabilidade (*hashing* SHA-256) e consenso distribuído (mecanismos

BFT), opera como "uma máquina de verdade" (Tapscott e Tapscott (2016)), eliminando a necessidade de confiança em agentes humanos. Casos como o da Estônia, onde 99% dos serviços públicos são digitais (e-Estonia, 2023), demonstram que essa combinação pode reduzir em até 80% os custos de transação (Organisation for Economic Co-operation and Development (2021)), redefinindo a relação entre Estado e cidadão.

1.1 Justificativa e Relevância da Pesquisa

Este trabalho se justifica pelo interesse em pesquisas que relacionem tecnologia à política já que são escassas no Brasil principalmente quando se trata de Liberalismo. Nossa pergunta de pesquisa é: como Sistemas ERPs governamentais integrados à Blockchain materializam princípios liberais de transparência e limitação de poder estatal? Para tentar respondê-la utilizaremos como exemplo o caso de *e-governance* da Estônia em comparação a outros casos já aplicados no contexto brasileiro. Tal escolha vem do fato de, nos últimos anos, termos presenciado no cenário geopolítico (em especial no Brasil) decisões baseadas em autoritarismo que abriram discussões acerca do quanto o Estado tem o poder de interferir na vida dos indivíduos.

A importância de nosso estudo se ancora na premissa de que a tecnologia não é neutra. Conforme estabelecido por Fountain (2001), ela funciona como “uma instituição que redefine relações de poder”. Essa perspectiva é crucial ao analisar a integração de ERPs com blockchain, pois a arquitetura descentralizada desta tecnologia subverte a lógica tradicional de controle estatal. Ela viabiliza o que Tapscott e Tapscott (2016) descrevem como “a possibilidade de uma auditoria pública em tempo real, transformando radicalmente a *accountability*”. O mecanismo por trás dessa transformação reside no poder do código-fonte que, como adverte Lessig (2006), regula de forma distinta da lei: ele não apenas proíbe ações, mas as impede algorítmicamente — “ele não proíbe, ele previne”. Isso explica o potencial dos *smart contracts* para limitar a arbitrariedade estatal de forma preventiva. No entanto, a implementação de tais sistemas não é isenta de desafios. É preciso considerar que, como demonstra Margetts (2017), “a adoção de tecnologias disruptivas na administração pública enfrenta resistências que vão além de aspectos técnicos”, um obstáculo central investigado neste trabalho.

As duas dimensões em que se baseiam esta pesquisa são:

- **Técnica:** a integração entre ERPs e blockchain podem representar um avanço paradigmático na questão de limitação de poder estatal. Como observa Benkler (2006), “as arquiteturas informacionais determinam quem pode ver o quê e com que consequências políticas”;
- **Política:** a discricionariedade do Estado alinha-se aos princípios do Liberalismo clássico conforme nos informa Locke (1988b): “o poder deve ser limitado por regras conhecidas”;

Assim, sua relevância acadêmica reside na originalidade de articular o pensamento liberal clássico com tecnologias emergentes, preenchendo o *gap* identificada por entre estudos técnicos e teoria política.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar como a integração entre sistemas ERP e tecnologia blockchain pode operacionalizar os princípios liberais de transparência e limitação do poder estatal na administração pública. Para isso, faremos uma comparação entre o modelo do sistema adotado pela Estônia e alguns casos emergentes no Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Examinar as funcionalidades técnicas de ERPs com blockchain aplicáveis à gestão pública;
- Identificar os princípios do liberalismo político passíveis de implementação via arquitetura tecnológica;
- Avaliar do ponto de vista técnico o modelo internacional de sucesso (X-Road da Estônia) e as iniciativas brasileiras em curso;
- Diagnosticar as principais barreiras institucionais e técnicas para adoção no contexto nacional;

1.3 Metodologia

A metodologia empregada para desenvolvimento do trabalho é de natureza **qualitativa**, com foco no estudo de caso comparativo. A pesquisa se baseia na coleta e interpretação de artigos científicos, relatórios técnicos de governos e organizações (como OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), BNDES e TCU), manuais de sistemas e publicações da área de ciência política e tecnologia. Desde o começo, utilizamos IAs generativas como ferramentas de auxílio para a pesquisa: primeiro, na estruturação de ideias; em seguida, na sugestão de temas e perguntas de pesquisa; e, por fim, na indicação de referências teóricas para cada um dos assuntos abordados assim como na finalização do trabalho.

1.3.1 Critérios de Seleção dos Casos

A seleção dos casos de estudo foi intencional e baseada em critérios técnicos e conceituais para permitir uma análise comparativa eficaz. A **Estônia** foi escolhida por ser o arquétipo

de sucesso em governança digital, com uma arquitetura de ERP descentralizada (X-Road) e uma implementação madura de blockchain (KSI) em escala nacional. O país serve como um modelo de referência para a materialização dos princípios analisados. Em contrapartida, os casos do **Brasil** (SIAFI, Gov.br, BNDES) foram selecionados por representarem um ecossistema de grande porte, com uma abordagem predominantemente centralizada e fragmentada, mas com iniciativas emergentes e relevantes em blockchain. Essa dualidade permite contrastar os modelos e diagnosticar as barreiras específicas do contexto nacional, alinhando-se diretamente aos objetivos da pesquisa.

1.3.2 Limites da Abordagem

É importante reconhecer os limites inerentes à abordagem qualitativa adotada. Os resultados deste trabalho oferecem uma análise conceitual dos casos estudados, mas não permitem generalização estatística para outros contextos nacionais. A análise é, por natureza, interpretativa e fundamentada na documentação selecionada e no referencial teórico técnico e político. Adicionalmente, o trabalho não inclui a mensuração de dados quantitativos primários, como testes de desempenho ou análises de custo-benefício, dependendo dos indicadores e dados técnicos reportados nas fontes secundárias consultadas.

1.4 Organização do Documento

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** fornece o embasamento teórico do trabalho, discorrendo sobre os princípios do Liberalismo político, com foco nas noções de limitação do poder estatal e transparência;
- O **Capítulo 3** detalha os conceitos técnicos fundamentais, abordando o que são Sistemas ERP, a tecnologia Blockchain e como a integração entre ambos se aplica à administração pública;
- O **Capítulo 4** apresenta o principal estudo de caso, analisando a arquitetura e o funcionamento do sistema de governança digital da Estônia e comparando-o com as iniciativas e desafios encontrados no cenário brasileiro;
- O **Capítulo 5** expõe as considerações finais, onde os conceitos técnicos e o referencial teórico são articulados para responder à pergunta de pesquisa, sintetizando os resultados da análise comparativa e as conclusões do estudo;

Capítulo 2

Sobre o Liberalismo

O liberalismo emergiu como uma das correntes filosóficas, políticas e econômicas mais influentes da modernidade, fruto de um contexto histórico marcado por profundas transformações sociais, culturais e institucionais nos séculos XVII e XVIII. Seu surgimento está intimamente ligado ao Iluminismo, período em que ideias sobre liberdade individual, razão, progresso e direitos naturais desafiaram as estruturas absolutistas e mercantilistas que predominavam na Europa. Nesse ambiente intelectual efervescente, pensadores como John Locke desenvolveram as bases do liberalismo clássico, defendendo que os indivíduos possuem direitos naturais inalienáveis — à vida, à liberdade e à propriedade — que nenhum governo ou soberano poderia violar legitimamente. Tal concepção representou uma ruptura radical com o pensamento político anterior, que concebia o poder real como divino, absoluto e incontestável, estabelecendo-se, em seu lugar, a noção de que governos devem existir para servir aos cidadãos e não para se impor a eles.

O desenvolvimento do liberalismo coincidiu com revoluções que moldaram a estrutura política do mundo ocidental, como a Revolução Gloriosa (1688) na Inglaterra, a Independência dos Estados Unidos (1776) e a Revolução Francesa (1789). Esses eventos consagraram princípios como o constitucionalismo, a separação de poderes e a limitação institucional do Estado, refletindo a crescente influência do pensamento liberal. Montesquieu, por meio de sua teoria da tripartição dos poderes, ofereceu os alicerces para um modelo de controle e equilíbrio institucional, enquanto Adam Smith, pai da economia política moderna, estabeleceu os fundamentos do liberalismo econômico ao defender que a livre iniciativa e os mercados autorregulados promoveriam o bem-estar coletivo por meio da chamada “mão invisível”. Como observa Bobbio (2000), o liberalismo não se restringiu a uma teoria política, mas se constituiu como um projeto de sociedade baseado na autonomia individual, na limitação do poder político e na liberdade econômica.

No século XIX, o liberalismo se desdobrou em diversas correntes teóricas, cada uma enfatizando aspectos específicos da liberdade humana e da estrutura ideal de governo. Na esfera econômica, destacaram-se autores como David Ricardo e Jean-Baptiste Say, que aprofundaram as teorias sobre comércio internacional, equilíbrio de mercado e produtividade. No

campo político, John Stuart Mill foi um dos grandes renovadores do liberalismo, ao introduzir conceitos como liberdade negativa (entendida como ausência de coerção) e liberdade positiva (capacidade efetiva de autodeterminação), além de defender a tolerância, o pluralismo e os direitos das minorias como pilares indispensáveis de uma sociedade aberta e democrática. Mill (1859) também contribuiu para o debate sobre os limites da intervenção estatal e a legitimidade da autoridade política sobre o indivíduo.

Durante o século XX, o liberalismo enfrentou o desafio de responder às crises econômicas do capitalismo industrial e ao avanço de ideologias coletivistas, como o socialismo, o comunismo e o fascismo. Teóricos como Friedrich Hayek, em sua obra “O Caminho da Servidão” (1944), advertiram para os riscos do planejamento estatal centralizado e a consequente erosão das liberdades civis. Milton Friedman, por sua vez, defendeu a supremacia dos mercados livres e do controle monetário como garantias de estabilidade e liberdade econômica. Paralelamente, pensadores como John Rawls buscaram conciliar as exigências liberais de liberdade com princípios de justiça distributiva, defendendo que desigualdades sociais só seriam admissíveis se beneficiassem os menos favorecidos. Esse debate evidenciou a capacidade do pensamento liberal de incorporar nuances e adaptar-se a novos contextos históricos e desafios sociais.

É possível identificar, portanto, três dimensões principais no liberalismo contemporâneo: a econômica, a política e a filosófica. O liberalismo econômico valoriza a propriedade privada, a livre concorrência e a mínima intervenção estatal nos mercados. Essa vertente conta com expoentes como Ludwig von Mises e a Escola Austríaca, que destacam a importância dos mecanismos espontâneos de mercado para a organização eficiente da sociedade. O liberalismo político, por sua vez, defende o Estado de Direito, as instituições democráticas, a proteção de direitos civis e políticos e a alternância de poder, sendo influenciado por pensadores como Isaiah Berlin e sua distinção entre liberdade negativa e liberdade positiva. Já o liberalismo filosófico aborda questões éticas e morais relativas à autonomia individual, à neutralidade estatal em questões de consciência e à defesa do pluralismo moral, com autores como Ronald Dworkin se destacando na discussão contemporânea sobre igualdade, dignidade e direitos fundamentais.

No plano institucional, uma das mais relevantes contribuições do liberalismo foi a defesa da limitação do poder estatal como condição para a preservação das liberdades civis e políticas. Locke (1988a) concebia o governo legítimo como aquele instituído por consentimento dos governados e restrito por leis gerais e imparciais. Essa concepção seria aprofundada por Tocqueville, que alertou sobre os perigos do despotismo democrático e da concentração de poder em sociedades modernas, destacando a importância das instituições de controle social e político para a manutenção da liberdade. Conforme Bobbio (2000), esse princípio de limitação institucional permanece atual em contextos contemporâneos, especialmente frente às novas tecnologias de vigilância e controle informacional exercidas pelo Estado.

No Brasil, os desafios relacionados à transparência administrativa, *accountability* e combate à corrupção revelam a pertinência do debate liberal sobre a limitação do poder go-

vernamental. Como destacam Silva e Nascimento (2021), a centralização informacional e a ausência de mecanismos eficazes de controle social e auditabilidade dificultam a fiscalização pública e favorecem práticas ilícitas. Nesse sentido, o uso de tecnologias descentralizadas como *blockchain*, associadas a sistemas ERP governamentais, surge como uma solução compatível com os fundamentos liberais de contenção do poder discricionário e de ampliação da transparência. A experiência estoniana analisada neste trabalho exemplifica como a conjugação de tecnologias de gestão integrada e infraestrutura descentralizada pode operacionalizar, na prática, os princípios liberais de limitação do poder estatal e fortalecimento da cidadania.

No contexto deste trabalho, o liberalismo serve como lente analítica para compreender como a Estônia implementou um modelo de governo digital alinhado com princípios como eficiência estatal, transparência e empoderamento individual. A escolha pelo estudo desse país não é acidental: a Estônia representa uma aplicação prática singular do liberalismo tecnológico, onde inovações como *blockchain* e sistemas ERP descentralizados operacionalizam conceitos como limitação do Estado (Hayek), soberania individual (Locke) e eficiência de mercado (Friedman). Ao reduzir burocracia através do X-Road e garantir integridade de dados via KSI *blockchain*, o país demonstra que é possível conciliar alta eficiência administrativa com respeito às liberdades civis – uma realização concreta de ideais liberais muitas vezes discutidos apenas no plano teórico.

Essa conexão entre teoria liberal e prática governamental será explorada ao longo do trabalho, destacando como conceitos filosóficos se materializam em sistemas técnicos. A análise mostrará, por exemplo, como o princípio lockeano de governo como "fiador" dos direitos naturais se reflete na arquitetura descentralizada do e-governo estoniano, onde cidadãos controlam seus dados pessoais. Da mesma forma, examinar-se-á a influência de Hayek na rejeição a bancos de dados centralizados, optando-se por uma estrutura que impede a concentração de poder informacional. Ao articular essas referências teóricas com soluções tecnológicas, nosso trabalho estabelecerá as bases para a discussão subsequente sobre o caso estoniano, demonstrando a atualidade e viabilidade prática do pensamento liberal em contextos de transformação digital.

Cabe ressaltar que este capítulo não se limita a uma revisão histórica, mas busca contextualizar o liberalismo como ferramenta analítica para entender inovações em governança. Ao traçar essa trajetória dos escritos de Locke às plataformas digitais da Estônia, o trabalho pretende mostrar como ideias centenárias continuam a inspirar modelos de organização social em um mundo cada vez mais tecnológico. Essa perspectiva é essencial para avaliar em que medida o exemplo estoniano pode ser replicado em outros países, tema que será desenvolvido nos capítulos seguintes.

Assim, ao propor a análise da integração entre ERPs governamentais e *blockchain* sob a perspectiva liberal, este projeto contribui para a reflexão sobre os caminhos possíveis para a modernização da gestão pública brasileira, orientada pelos valores constitucionais de publicidade, eficiência e controle social. Inspirado na tradição liberal, o trabalho defende a implementação de soluções institucionais e tecnológicas que assegurem a imutabilidade,

a rastreabilidade e a governança participativa dos dados públicos, como instrumentos de limitação do poder estatal e proteção das liberdades individuais.

Por fim, temos no liberalismo político, apesar de ser uma teoria social decorrente do século 18, uma das principais características que fazem o *link* com os desafios tecnológicos do nosso tempo: ser uma filosofia realista sempre atenta às limitações da natureza humana, diferentemente do socialismo, por exemplo, que é completamente idealista. Como nos diz Paim (2000), o liberalismo não pretende sobrepor-se à história nem ignorá-la, logo, seu fiel compromisso com a realidade busca respostas no presente aos desafios que emergem da sociedade, incluindo os tecnológicos da era digital.

Capítulo 3

Sistemas ERPs e *Blockchain*: Conceitos, Características e Funcionalidades

Desde a invenção e popularização dos Circuitos Integrados na segunda metade do século 20, o mundo passou por uma enorme revolução tecnológica e essas transformações alcançaram diversas áreas permitindo com que processos anteriormente prolixos fossem automatizados melhorando a produtividade de bens e serviços. Uma dessas tecnologias, advinda dos avanços na área de TI é o chamado ERPs ou sistemas de Planejamento de Recursos de Empresa, traduzido do inglês.

A popularização de tais sistemas tanto proporcionou a automação de serviços lentos e por vezes complicados oferecidos por setores como a contabilidade, por exemplo, quanto também se diversificou, dando a empresários e organizações públicas mais opções na hora de escolher o melhor que fosse adequado à estrutura organizacional de suas empresas. A adoção em larga escala de ERP, especialmente a partir da década de 1990, esteve diretamente relacionada às novas demandas impostas pela competição global, que exigia das organizações rapidez na tomada de decisões, confiabilidade nas informações e redução de custos operacionais. Paralelamente, fatores externos como o receio provocado pelo bug do milênio — que colocava em risco a funcionalidade de sistemas antigos — também impulsionaram muitas empresas a substituírem suas soluções legadas por sistemas integrados mais robustos e atualizados.

Outro ponto importante na historicidade desses sistemas é a mudança de paradigma na arquitetura tecnológica utilizada. Essa trajetória histórica pode ser compreendida como um movimento progressivo de ampliação da cobertura funcional e da integração de dados corporativos. Inicialmente, os sistemas MRP tinham como foco exclusivo o controle e o planejamento das necessidades de materiais no ambiente de manufatura. Com o tempo, novos módulos foram incorporados, como controle de capacidade de produção e gestão de chão de fábrica, culminando na concepção do MRP II, que estendia o planejamento para outros recursos de manufatura além dos materiais. A necessidade de integrar as informações financeiras, comerciais, de recursos humanos e de logística àquelas já controladas no ambiente fabril levou à consolidação dos sistemas ERP, que se tornaram verdadeiros núcleos inte-

gradadores de dados e processos organizacionais. Houve uma transição dos antigos sistemas centralizados, baseados em mainframes, para plataformas distribuídas do tipo cliente/servidor, que permitiam maior flexibilidade e descentralização no processamento e no acesso às informações. Posteriormente, a popularização da internet e das aplicações *web* introduziu um novo padrão de sistemas corporativos acessíveis remotamente, o que abriu caminho para as atuais soluções baseadas em nuvem e serviços de aplicação (ASP, do inglês *Application Service Providers*).

Essa evolução histórica demonstra que os sistemas ERP não surgiram de maneira abrupta, mas foram resultado de um longo processo de amadurecimento das tecnologias de gestão empresarial, moldadas pelas necessidades econômicas, sociais e tecnológicas de cada período. Essa perspectiva histórica é essencial para compreendermos as atuais limitações e possibilidades desses sistemas, sobretudo quando se pensa na incorporação de tecnologias emergentes, como *blockchain*, com potencial para resolver algumas das restrições de transparência, rastreabilidade e interoperabilidade ainda presentes em muitas soluções ERP contemporâneas. A seguir, portanto, iremos conceituar o que são sistemas ERP, descrever basicamente como eles funcionam, entender o que são os ERPs voltados/utilizados pela administração pública e em seguida introduzir conceitos acerca de *blockchain* e como ambos se relacionam com nosso trabalho.

3.1 Sistemas ERP: O que são?

Os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) são plataformas integradas de gestão empresarial que centralizam e organizam os processos de negócios de uma organização em um único sistema de informação. Wallace e Kremzar (2001) definem ERP como “um conjunto de ferramentas de previsão, planejamento e programação em toda a empresa, que integra clientes e fornecedores numa cadeia de suprimento completa, emprega processos comprovados para a tomada de decisões e coordena todas as funções organizacionais essenciais” (p. 10–11). Esses sistemas visam otimizar a utilização de recursos — mão de obra, materiais, máquinas e capital —, garantindo sua disponibilidade no momento certo.

Complementando essa definição, Davenport (1998) descreve os ERPs como sistemas que “promovem a integração organizacional de processos empresariais fundamentais, como produção, logística, finanças e recursos humanos, em uma única plataforma de *software* com um banco de dados comum”. Para o autor, o ERP não é apenas uma solução tecnológica, mas uma ferramenta estratégica que redefine a estrutura organizacional e seus fluxos de trabalho.

No cenário brasileiro, Denis Alcides Rezende (2017) reforça o conceito, destacando que “os sistemas ERP possibilitam a integração de informações e processos administrativos, operacionais e estratégicos das organizações públicas e privadas, promovendo maior eficiência e qualidade na gestão”.

A base estrutural de um ERP é composta por módulos interdependentes (como finanças,

compras, vendas, produção, estoque, recursos humanos) que compartilham um banco de dados único. Souza e Zwicker (2003) ressaltam que essa arquitetura modular integrada permite a atualização automática das informações em tempo real, acessadas por diferentes setores, eliminando redundâncias e facilitando a tomada de decisão organizacional. Segundo Turban, Pollard e Wood (2018), a essência dos ERPs está em sua capacidade de consolidar dados de múltiplas unidades organizacionais em um único banco de dados relacional, atualizado em tempo real, o que permite análises de desempenho e geração de relatórios de maneira centralizada e consistente. Essa característica garante maior eficiência operacional, mas, ao mesmo tempo, concentra informações estratégicas sob o controle de gestores específicos, criando um ponto único de governança informacional.

Abaixo criamos um quadro demonstrativo com os principais aspectos de um ERP comum e a descrição básica de cada um desses aspectos:

Aspecto	Descrição
Integração de processos	Abrange áreas como produção, logística, finanças, vendas, compras, estoque e recursos humanos.
Banco de dados único	Centraliza informações, evitando redundâncias.
Atualização em tempo real	Permite sincronização instantânea de dados entre setores.
Relatórios e análises	Consolida informações para análise de desempenho.
Suporte à decisão	Facilita decisões estratégicas com informações centralizadas.

3.1.1 Arquitetura

Tecnicamente, os ERPs são estruturados em arquiteturas de múltiplas camadas, tradicionalmente divididas em *frontend*, *backend* e banco de dados (MONK; WAGNER, 2012). O *frontend* corresponde à interface gráfica, acessada por navegadores *web* ou aplicações *desktop* e *mobile*, com a qual os usuários interagem diretamente. O *backend* compreende os serviços, APIs e a lógica de negócios responsáveis pelo processamento das solicitações e pela comunicação com o banco de dados, que armazena e assegura a integridade das informações organizacionais.

A arquitetura dos sistemas ERP contemporâneos reflete a complexidade acumulada em décadas de evolução tecnológica e organizacional. (MONTEIRO; SILVA; COSTA, 2021) propõem um modelo trifásico que se tornou referência na literatura, identificando três camadas críticas interconectadas: (1) a infraestrutural, responsável pela alocação dinâmica de recursos computacionais; (2) a de dados, que gerencia o ciclo de vida da informação; e (3) a de aplicação, onde residem as lógicas de negócio. Segundo os autores, essa estrutura não é meramente hierárquica, mas opera através de "mecanismos de *feedback* contínuo que otimizam

desempenho e confiabilidade sob demanda"(p. 45).

Na camada infraestrutural, destaca-se a migração massiva para paradigmas de *cloud computing*, um movimento que (ARMBRUST et al., 2010) já antecipavam em seu trabalho seminal. Os pesquisadores demonstravam como a virtualização de recursos, associada a modelos de elasticidade computacional, permitiria "escalabilidade sem precedentes a custos marginalmente decrescentes"— uma previsão que se materializou nos ERPs atuais. Contudo, essa transição exige adaptações profundas, como a adoção de arquiteturas *microservices* e *containers* (Kubernetes, Docker), que substituem os tradicionais modelos monolíticos.

A evolução da camada de dados nos ERPs modernos representa uma síntese entre tradição e inovação. (DATE, 2004) reconhece que "o modelo relacional provou sua resiliência por décadas", especialmente em garantir ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento, Durabilidade). No entanto, as limitações desse modelo tornaram-se evidentes diante de necessidades como processamento de dados semi-estruturados (JSON, XML), análises em tempo real com *streaming* de dados e integração com fontes não convencionais (IoT, redes sociais).

Já a camada de aplicação dos ERPs modernos é palco de um debate fundamental: como equilibrar a eficiência computacional com a agilidade no desenvolvimento? (FOWLER, 2002) situa historicamente essa discussão ao analisar como "*frameworks* como Spring (Java) e .NET Core transcenderam seu papel como meras ferramentas, tornando-se ecossistemas completos para desenvolvimento empresarial"(p. 203). (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2021) atualizam essa análise ao demonstrar que as arquiteturas contemporâneas privilegiam coisas como inversão de Controle (IoC) e injeção de dependências para modularidade, padrões Reativos (como ReactiveX) para processamento assíncrono e integração nativa com APIs *REST/gRPC* e protocolos como GraphQL. Essa evolução tecnológica, porém, exige novas competências, incluindo domínio de DevOps (*CI/CD pipelines*) e observabilidade (monitoramento com Prometheus/Grafana).

Abaixo, um quadro informativo com as 3 principais camadas de arquitetura de um ERP comum seguidas de suas respectivas descrições:

Camada	Descrição
<i>Frontend</i>	Responsável pela alocação de recursos computacionais, incluindo uso de <i>cloud computing</i> , <i>microservices</i> e <i>containers</i> .
Dados	Gerencia o ciclo de vida da informação, garantindo integridade, consistência e suporte a dados estruturados e semi-estruturados.
<i>Backend</i>	Contém a lógica de negócios, APIs e serviços que processam solicitações e interagem com os dados.

3.1.2 Desenvolvimento

A implementação e manutenção de um sistema ERP (Enterprise Resource Planning) requerem uma equipe multidisciplinar, cuja composição varia conforme o porte e a complexidade da organização. A seguir, são detalhados os principais papéis envolvidos nesse processo, com base em fontes especializadas:

- **Patrocinador Executivo (*Sponsor*):** Responsável por definir a estratégia e os objetivos do projeto, além de assegurar os recursos necessários. Segundo a Sankhya, "é importante que essa pessoa tenha um papel definidor da estratégia e que deixe bem claro o resultado que deseja, dentro de determinado tempo e conforme determinado custo". (SANKHYA, 2023)
- **Gerente de Projeto:** Coordena todas as etapas da implementação, garantindo o cumprimento dos prazos e a comunicação eficaz entre as partes. A SAP destaca que "um projeto de ERP requer o recrutamento de pessoas 'indispensáveis': profissionais ocupados, que conhecem os processos de negócios, trabalham bem com outros membros da organização e têm o respeito da gestão executiva"; (SAP, 2023a)
- **Implantador ou Consultor de ERP:** Especialista técnico que realiza a configuração e a parametrização do sistema, adaptando-o às necessidades da empresa. Sankhya ainda ressalta que "é a pessoa que vai realmente fazer a implantação do ERP... deve ser alguém que conheça de tecnologia, que vai se certificar no ERP, fazer os treinamentos, compreender o ERP tão profundamente quanto possível"; (SANKHYA, 2023)
- **Usuários-Chave (*Key Users*):** Representantes das diversas áreas da empresa que colaboram na definição dos processos e na validação do sistema. Conforme a SAP, "o fator decisivo para o sucesso da implementação é a equipe de implementação – as pessoas que moldam o projeto desde o início"; (SAP, 2023a)
- **Usuários Finais:** Funcionários que utilizarão o sistema no dia a dia. É essencial que recebam treinamento adequado para garantir a eficiência operacional. A Brascomm enfatiza que "o sucesso da implementação de um sistema ERP vai além da tecnologia - a capacitação da equipe desempenha um papel crucial". Brascomm (2023)

Além desses papéis, é comum a formação de um comitê de projeto, composto por membros da alta gestão e representantes das áreas envolvidas, para tomar decisões estratégicas e resolver conflitos durante a implementação. A (IT ADVISOR, 2023) recomenda que "este comitê seja formado por colaboradores da empresa e tenha entre 3 a 5 pessoas... participando da tomada decisões estratégicas sobre o direcionamento do projeto".

A quantidade de pessoas envolvidas na implementação e manutenção de um ERP pode variar. Em empresas de médio porte, é comum que uma equipe de 5 a 10 profissionais esteja

diretamente envolvida no projeto. Já em grandes organizações, esse número pode ser significativamente maior, incluindo diversos especialistas e consultores externos. A (SAP, 2023a) observa que "muitas vezes, empresas que tiveram contratempos ou fracassos atribuíram a equipe que 'tinha tempo' para trabalhar no projeto... Mas um projeto de ERP requer o recrutamento de pessoas 'indispensáveis'".

O mercado global de ERPs apresenta soluções diversificadas. O SAP S/4HANA, analisado por Klaus, Rosemann e Gable (2020), destaca-se por sua "arquitetura *in-memory* que revolucionou o processamento de dados empresariais" (p. 54). Já a TOTVS, estudada por Zwicker e Souza (2019), adaptou-se às "particularidades do mercado brasileiro, incluindo exigências fiscais e trabalhistas" (p. 112). Além dele, soluções como *Oracle ERP Cloud*, *Microsoft Dynamics 365* e *NetSuite* também figuram entre os mais adotados, cada um oferecendo características específicas em termos de personalização, usabilidade e custo-benefício, conforme análise de Laudon e Laudon (2022a). No setor público, plataformas como o SIAFI (Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal) no Brasil e o X-Road na Estônia exemplificam soluções governamentais adaptadas às necessidades de controle e transparência.

Em resumo, a implementação e manutenção de um sistema ERP demandam uma equipe dedicada e bem estruturada, composta por profissionais com habilidades técnicas e conhecimento dos processos de negócios da empresa. O sucesso do projeto depende do envolvimento ativo de todos os *stakeholders* e de uma comunicação eficaz entre as partes. Abaixo, citamos brevemente características de alguns dos ERPs mais famosos no mercado.

3.1.2.1 *Microsoft Dynamics 365*

O *Microsoft Dynamics 365* se destaca pela sua profunda integração com o ecossistema da empresa, incluindo a plataforma de nuvem Azure, as ferramentas de análise do Power BI e as aplicações de produtividade do Microsoft 365 (MICROSOFT, 2024). Essa sinergia facilita a automação de fluxos de trabalho e a criação de análises de dados avançadas. Sua arquitetura modular e personalizável, combinada com uma interface familiar para usuários de produtos Microsoft, torna-o uma opção competitiva para empresas de diversos portes que buscam uma plataforma unificada de gestão (GARTNER, 2023).

3.1.2.2 *Oracle Fusion Cloud ERP*

O *Oracle Fusion Cloud ERP* é reconhecido por sua forte integração de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina para automatizar processos financeiros, de suprimentos e de gestão de capital humano (ORACLE, 2024). A plataforma, construída como uma solução nativa em nuvem (*SaaS*), oferece escalabilidade e atualizações contínuas. Sua posição como líder no Quadrante Mágico da Gartner reflete sua capacidade de fornecer análises preditivas e relatórios inteligentes que apoiam a tomada de decisão estratégica (GARTNER, 2023).

3.1.2.3 SAP S/4HANA

O SAP S/4HANA é uma das soluções líderes para grandes corporações, especialmente nos setores de manufatura, logística e finanças. Seu principal diferencial técnico é a arquitetura baseada no banco de dados em memória SAP HANA, que permite o processamento analítico e transacional em tempo real, eliminando a latência entre a operação e a geração de insights (SAP, 2024). A plataforma oferece flexibilidade de implantação (nuvem, local ou híbrida) e módulos verticalizados para indústrias específicas, além de crescentes investimentos em inteligência artificial e automação (GARTNER, 2023).

3.1.2.4 TOTVS (Protheus, RM, Datasul)

No Brasil, a TOTVS detém a liderança de mercado, com mais da metade de participação, oferecendo soluções profundamente adaptadas à complexa legislação fiscal e tributária nacional (TOTVS, 2024). Seu portfólio diversificado atende a diferentes segmentos e portes de empresa:

- **Protheus:** ERP modular e flexível, desenvolvido na linguagem ADVPL, com forte aderência aos processos de manufatura, serviços e varejo;
- **RM:** Solução voltada para os setores de Educação, Recursos Humanos, Saúde e Jurídico;
- **Datasul:** Focado em grandes indústrias, com especialização em processos de manufatura e logística;

Além da conformidade fiscal, a TOTVS investe na integração de seus ERPs com serviços de *Techfin*, Business Intelligence e plataformas de produtividade (TOTVS, 2024).

3.1.3 ERPs Governamentais

Outro aspecto relevante no estudo dos sistemas ERP refere-se à sua tipologia, que varia conforme o ambiente organizacional e o público-alvo a que se destinam. Segundo Laudon e Laudon (2022b), os ERPs podem ser classificados em ERPs corporativos, voltados às demandas empresariais privadas, e ERPs governamentais, concebidos para atender às exigências da administração pública. Os primeiros visam maximizar a eficiência operacional e a competitividade organizacional, enquanto os últimos devem conciliar essa eficiência à observância de princípios constitucionais como legalidade, publicidade e moralidade, essenciais à gestão pública (BRASIL, R. F. do, 1988).

Os ERPs governamentais, conforme explica Rezende (2021), são “sistemas informatizados de gestão integrada, utilizados por órgãos e entidades públicas, que organizam e controlam recursos, serviços, contratos e demais operações administrativas e financeiras, assegurando a conformidade com os dispositivos legais e o acesso transparente às informações públicas”.

A principal justificativa para a implementação desse tipo de sistema está na capacidade de promover maior controle institucional e social sobre as ações estatais, possibilitando que informações estratégicas sejam centralizadas e auditáveis.

No que tange à estrutura e ao funcionamento, Oliveira e Santos (2019) ressaltam que, embora compartilhem a lógica modular e integrada dos sistemas empresariais privados, os ERPs governamentais necessitam incorporar adaptações específicas para atender às particularidades da gestão pública. Essas customizações incluem o atendimento às normas orçamentárias, aos procedimentos licitatórios e aos requisitos de prestação de contas junto a órgãos de controle como Tribunais de Contas e Controladorias. Além disso, a interoperabilidade com plataformas de governo eletrônico e sistemas de gestão fiscal e tributária é indispensável para assegurar a efetividade e a legalidade dos processos administrativos.

Outro fator distintivo dos ERPs governamentais refere-se à natureza dos dados que processam e armazenam. Enquanto nos ERPs corporativos as informações são, em regra, de interesse interno ou restrito aos *stakeholders* da organização, os dados geridos pelos sistemas governamentais possuem caráter público, afetando diretamente o interesse coletivo. Isso impõe, ainda segundo Oliveira e Santos (2019), um nível mais elevado de rigor na gestão dessas informações, demandando soluções que assegurem integridade, segurança e transparência superiores às adotadas na iniciativa privada.

Em sua análise sobre os efeitos da informatização sobre o controle organizacional, Zuboff observa que “sistemas de informação que traduzem, registram e exibem o comportamento humano podem fornecer a versão, na era da informática, da transparência universal, com um grau de iluminação que teria excedido até mesmo as mais extravagantes fantasias de Bentham” (ZUBOFF, 1988), tradução nossa. Isso significa que a centralização de informações estratégicas em sistemas ERP, especialmente em ambientes governamentais, não garante, por si só, a transparência e o controle social, podendo inclusive reforçar práticas de ocultação e manipulação de dados administrativos se não houver mecanismos externos de verificação e validação das informações armazenadas. O controle sobre as parametrizações, sobre quem pode visualizar ou alterar dados, e sobre quais informações são efetivamente disponibilizadas ao público permanece sob a tutela do próprio ente estatal.

Dessa forma, o ponto crítico dos ERPs em ambientes públicos reside justamente na ausência de garantias estruturais de imutabilidade e rastreabilidade das operações administrativas. Sem tecnologias complementares, como *blockchain*, que assegurem a integridade e a auditabilidade descentralizada dos registros, os ERPs, ainda que tecnicamente robustos, permanecem suscetíveis a interferências humanas e políticas que podem comprometer sua neutralidade operacional. Essa vulnerabilidade dos sistemas centralizados, apontada por Casino, Dasaklis e Patsakis (2019b), é precisamente o que o *blockchain* visa solucionar. Assim, torna-se evidente a necessidade de explorar alternativas tecnológicas que minimizem esses riscos e potencializem a função de controle social e limitação do poder estatal proposta pelos princípios liberais.

Para este trabalho, a escolha pela análise dos ERPs governamentais se justifica pela

sua centralidade na gestão pública contemporânea e pelo potencial estratégico que oferecem quando associados a tecnologias emergentes como o *blockchain*. No contexto deste projeto, os ERPs são fundamentais pois representam o núcleo estruturante das operações governamentais e empresariais. Com a crescente demanda social por transparência e controle sobre as ações do Estado, a utilização de ERPs governamentais, associada a tecnologias descentralizadas, como o *blockchain*, emerge como um mecanismo capaz de operacionalizar princípios liberais de limitação do poder estatal. O ERP, por centralizar os dados de gestão pública, torna-se um ponto estratégico para a implementação de soluções que busquem ampliar a visibilidade, imutabilidade e rastreabilidade das informações. Mas, o que é *blockchain*?

3.2 O que é *Blockchain*?

Blockchain? é uma tecnologia de registro distribuído e imutável que armazena informações de forma descentralizada e criptografada, organizada em blocos interligados por meio de funções *hash*. De acordo com Yaga et al. (2019), “*Blockchain* são livros-razão digitais à prova de violação e resistentes a alterações, implementados de forma distribuída e, geralmente, sem uma autoridade central. Em seu nível mais básico, permitem a uma comunidade de usuários registrar transações em um livro-razão compartilhado, de modo que, sob operação normal da rede *blockchain*, nenhuma transação possa ser modificada após publicada” (p. 1, tradução nossa). Essa característica garante a integridade e a autenticidade das informações armazenadas, pois qualquer tentativa de alteração invalidaria toda a cadeia subsequente.

Varella e Simeão (2018) conceituam a cadeia de blocos da rede *blockchain* como “um livro eletrônico de registro distribuído, imutável e sem autoridade de controle que gera um protocolo de confiança calcado na abertura da informação sobre o negócio jurídico feito em ambiente virtual, numa rede computacional formada por pares equipotentes” (p. 117). Essa característica de descentralização e auditabilidade torna a tecnologia particularmente relevante para iniciativas de governo aberto, controle público e serviços financeiros.

No contexto brasileiro, autores como Santos e Angelo Júnior (2022) destacam que o *blockchain* transcende sua aplicação inicial em criptomoedas e se apresenta como uma ferramenta estratégica para o setor público. Eles afirmam que a rastreabilidade dos registros, além de promover a automatização dos processos, compras e auditorias, contribui para a integridade, a eficiência e a qualidade dos serviços públicos prestados, constituindo fatores essenciais na prevenção e combate à corrupção.

Além disso, estudo conduzido por Queiroz et al. (2024) ressalta que a tecnologia *blockchain* pode ser aplicada na rastreabilidade de contratos públicos, gestão documental, processos de licitação e controle de movimentações financeiras, criando uma infraestrutura segura e verificável de informações estatais. Os autores observam que “os efeitos do *blockchain* são: redução da burocracia, discricção e corrupção; aumento da automatização, transparência, auditoria e responsabilização da informação em benefício dos cidadãos e *stakeholders*; e

aumento da confiança dos cidadãos e empresas nos processos governamentais”

O funcionamento do *blockchain* baseia-se em uma rede de nós descentralizados que validam e registram transações por meio de mecanismos de consenso. Swan (2015) explica que, ao contrário dos sistemas centralizados, em que uma única autoridade é responsável pelo registro das informações, no *blockchain* as transações só são adicionadas à cadeia após serem validadas por consenso entre os participantes da rede, assegurando transparência e resistência a fraudes. Zheng et al. (2017) reforçam que esse modelo de consenso descentralizado impede alterações retroativas e permite que qualquer participante da rede audite os registros, tornando-os públicos e confiáveis.

No cenário atual, o *blockchain* vem sendo utilizado em diversas áreas além do setor financeiro. Para Carvalho e Rocha (2020), suas principais aplicações envolvem a rastreabilidade de cadeias de suprimentos, registros imobiliários, certificação digital de documentos, gestão de identidades e processos eleitorais eletrônicos. No setor público, destacam-se projetos voltados à desburocratização de serviços e ao fortalecimento da transparência administrativa, por meio da criação de registros públicos imutáveis e acessíveis à sociedade como veremos melhor no capítulo 3 sobre o que ocorre na Estônia.

Em relação aos sistemas ERP, a literatura aponta uma complementaridade estratégica entre essas duas tecnologias. Conforme afirmam os já citados Casino, Dasaklis e Patsakis (2019a) “o *blockchain* pode atuar como uma camada adicional de controle e auditoria sobre sistemas ERP, tornando os registros de transações imutáveis e verificáveis por diferentes partes interessadas” (p. 101). Essa integração visa potencializar a rastreabilidade e a segurança das informações corporativas e governamentais, mitigando riscos de manipulação e garantindo a integridade das operações administrativas.

No contexto deste projeto de pesquisa, a relação entre *blockchain* e sistemas ERP se torna especialmente relevante, pois ambos os recursos podem ser combinados para operacionalizar princípios liberais de limitação do poder estatal. A modernização dos sistemas de informação da administração pública, com ênfase na rastreabilidade e na transparência, constitui elemento essencial para a consolidação de governos mais abertos e responsáveis. Ao associar ERPs governamentais à tecnologia *blockchain*, é possível criar registros administrativos e financeiros que, além de centralizados e integrados, sejam também auditáveis por instâncias externas e pela sociedade civil.

Essa combinação tecnológica reduz a discricionariedade na gestão pública, pois impede que informações estratégicas sejam ocultadas ou manipuladas sem deixar vestígios. Como observam Casino, Dasaklis e Patsakis (2019a), “a centralização de informações em ERPs, quando não acompanhada de soluções distribuídas e transparentes, representa uma lacuna crítica na proteção contra abusos” (p. 101). Nesse sentido, o *blockchain* funciona como um mecanismo de controle e validação, promovendo a imutabilidade dos registros e dificultando práticas ilícitas ou antiéticas no ambiente estatal.

Assim, este projeto de pesquisa propõe analisar os ERPs governamentais como núcleo estruturante da gestão pública, investigando de que forma a associação com *blockchain* pode

contribuir para ampliar a visibilidade, a integridade e a rastreabilidade das informações administrativas. A expectativa é que, com essa integração, seja possível construir mecanismos mais eficazes de controle social e de limitação do poder estatal, alinhados aos princípios liberais e à governança democrática.

3.3 Sistemas ERP com *Blockchain* Integrações, Exemplos e Implicações para a Administração Pública

A arquitetura de *software* exerce papel estratégico na concepção e manutenção de sistemas ERP, pois organiza a distribuição de responsabilidades entre seus componentes e garante a integração eficiente entre os módulos de gestão. Nos ERPs convencionais, utilizados predominantemente em ambientes corporativos privados, prevalece a adoção de arquiteturas multicamadas, que separam logicamente as funcionalidades de apresentação, lógica de negócios e persistência de dados. Grandes sistemas como SAP e Oracle operam com estruturas modularizadas e APIs *RESTful*, promovendo interoperabilidade e flexibilidade na integração com outros sistemas. Além disso, os bancos de dados relacionais subjacentes asseguram as propriedades ACID por meio de técnicas como *locking* e controle de concorrência multiversão (MVCC), conforme Bernstein, Hadzilacos e Goodman (1987), configurando uma aplicação prática do princípio de separação de interesses.

No setor público, os ERPs governamentais apresentam requisitos distintos, sobretudo em relação à transparência, conformidade legal e segurança da informação. Janssen e Veenstra (2005) identificaram que esses sistemas priorizam integrações seguras por meio de padrões como WS-Security, assegurando a confidencialidade e integridade dos dados trafegados entre os diversos órgãos e bases governamentais. Paralelamente, a adoção de microsserviços estruturados a partir do padrão *Domain-Driven Design* permite que sistemas públicos lidem com processos dinâmicos e legislações em constante alteração de forma modular e adaptável. Soma-se a isso a implementação de uma dupla camada de auditoria — técnica e legal — adaptada para os contextos públicos, a fim de garantir rastreabilidade, governança e *accountability*.

Nesse cenário, a emergência da tecnologia *blockchain* introduziu uma ruptura paradigmática, substituindo arquiteturas centralizadas por modelos descentralizados e distribuídos. Conforme Tapscott e Tapscott (2016), as arquiteturas *peer-to-peer* (P2P), inspiradas no modelo de Nakamoto (2008), oferecem registros imutáveis e auditáveis sem a necessidade de intermediários institucionais. Contudo, como apontado por Tschorsch e Scheuermann (2016), essas soluções enfrentam limitações de escalabilidade e desempenho, em função dos *trade-offs* entre descentralização, segurança e eficiência. Como resposta, alternativas como *sharding*, emergem para dividir a rede *blockchain* em fragmentos processáveis paralelamente, atenuando gargalos de performance.

A relação entre os sistemas ERP e a tecnologia *blockchain* configura, nesse contexto,

uma solução promissora para os desafios contemporâneos de governança, sobretudo no setor público, onde a concentração de informações e processos administrativos, embora funcional, cria fragilidades em termos de transparência e controle externo. Os ERPs centralizam o processamento e armazenamento de informações estratégicas, enquanto o *blockchain* propõe uma estrutura descentralizada, imutável e auditável de registros. A integração dessas duas tecnologias surge, portanto, como um mecanismo capaz de unir eficiência operacional e segurança informacional, ampliando a accountability e limitando o poder discricionário estatal, conforme discutido nas seções anteriores.

Do ponto de vista técnico, conforme Xu et al. (2019), a *blockchain* pode ser incorporada aos ERPs por meio de APIs e módulos específicos responsáveis pelo registro e validação de operações críticas, como ordens de compra, movimentações financeiras e contratos públicos. Essa integração é especialmente recomendada para informações sensíveis, cujas alterações ou exclusões poderiam acarretar prejuízos ao interesse público ou favorecer práticas ilícitas. A *blockchain* atua, nesse contexto, como uma camada adicional de segurança e rastreabilidade, registrando eventos validados pelos ERPs de forma imutável. Além disso, implementações como o *Hyperledger Fabric* (ANDROULAKI et al., 2018) exemplificam a utilização de canais privados para transações sensíveis, atuam como âncoras de confiança para garantir a integridade e interoperabilidade dos registros.

Diversos exemplos internacionais ilustram o potencial dessa integração. O caso de Dubai, com o projeto *Smart Dubai Government Blockchain*, destaca-se desde 2018 por incorporar *blockchain* aos seus ERP governamentais para registro de contratos públicos, controle orçamentário e monitoramento de licitações. Segundo Alketbi, Nasrulin e Salah (2018), essa integração reduziu o tempo de verificação de contratos em 50% e tornou públicos os registros de contratação, permitindo o acesso direto pela sociedade civil e órgãos fiscalizadores. Na Estônia, pioneira na informatização da gestão pública, desde 2012 o governo nacional utiliza *blockchain* em conjunto com seus ERPs para gestão de serviços de saúde, registros judiciais e movimentação orçamentária. Conforme Cebe et al. (2018b), essa solução garante a inviolabilidade de registros de receitas e despesas públicas, prevenindo adulterações e permitindo auditoria em tempo real por órgãos independentes.

No Brasil, embora a utilização de *blockchain* integrada a ERPs governamentais ainda esteja em fase inicial, projetos experimentais indicam a viabilidade dessa aplicação. Um exemplo é o b-CPF, desenvolvido pela Receita Federal em parceria com a Dataprev, que utiliza *blockchain* para autenticar e rastrear alterações cadastrais e movimentações tributárias de contribuintes, associando os registros a sistemas de ERP contábil e fiscal já existentes Silva e Nascimento (2021). Adicionalmente, estados como Bahia e Paraná vêm conduzindo pilotos de *blockchain* em módulos de compras públicas e contratos de seus ERPs estaduais, visando assegurar a transparência dos processos licitatórios e o registro imutável de contratos e pagamentos. Segundo Moraes, Silva e Oliveira (2021b), esses testes ampliam a visibilidade dos atos administrativos e criam uma trilha digital permanente de responsabilidade.

A importância dessa integração para a proposta do presente trabalho reside na capa-

cidade da *blockchain*, ao atuar em conjunto com os ERPs governamentais, de operacionalizar dois princípios fundamentais do liberalismo político: a limitação do poder estatal e a transparência administrativa. Como argumenta Alketbi, Nasrulin e Salah (2018), ao impedir retrocessos e alterações não autorizadas de dados públicos, e ao disponibilizar esses registros para consulta irrestrita, o *blockchain* dificulta a captura institucional e a manipulação informacional, fenômenos frequentemente observados na administração pública brasileira. Assim, a combinação de ERP e *blockchain* permite não apenas a modernização da gestão pública, mas a criação de uma infraestrutura tecnológica que potencializa os mecanismos de controle social e accountability.

Dessa forma, conclui-se que a integração entre ERPs governamentais e *blockchain*, além de otimizar a segurança e integridade das informações públicas, estabelece condições institucionais para práticas administrativas mais transparentes e alinhadas aos princípios liberais. Para garantir a coesão do presente trabalho, no próximo capítulo abordaremos como exemplo o caso estoniano mostrando suas funcionalidades e fazendo comparações técnicas e práticas com casos brasileiros. No capítulo seguinte mostraremos conceitos acerca do Liberalismo e, a partir dos benefícios da implementação do sistema governamental estoniano, tentar entender se ele aplica na prática os princípios do liberalismo. Faremos uma análise crítica também comparando com os casos brasileiros a partir de prós e contras.

Capítulo 4

ERP Governamental da Estônia: Funcionamento, Benefícios e Comparações com Exemplos Brasileiros

A Estônia é amplamente reconhecida como um dos países mais avançados do mundo em governo digital. Após sua independência da União Soviética, em 1991, o país enfrentava o desafio de reconstruir sua administração pública de forma moderna e eficiente, sem os vícios burocráticos herdados. Segundo Kalvet (2012), o governo estoniano enxergou na tecnologia da informação uma oportunidade estratégica para estruturar uma administração estatal enxuta, integrada e transparente. Assim, em 1997, foi criado o projeto e-Estônia, que marcou o início oficial da digitalização governamental no país.

O projeto e-Estônia propôs desde o início a construção de uma infraestrutura de tecnologia da informação interoperável, descentralizada e acessível à população. A primeira etapa desse projeto culminou, em 2001, na implementação do X-Road, uma plataforma segura de troca eletrônica de informações entre diferentes sistemas de bases de dados governamentais e privadas (VASSIL, 2016a). De acordo com o autor, o X-Road não se restringe a uma ferramenta de integração, mas funciona como uma verdadeira infraestrutura nacional de dados, permitindo que diferentes sistemas ERP setoriais, utilizados por órgãos públicos e empresas privadas, interajam em tempo real de forma segura e rastreável.

O diferencial do X-Road está na sua arquitetura descentralizada e aberta. Ao contrário de sistemas tradicionais centralizados, a plataforma permite a comunicação direta entre bases de dados mantidas por diferentes instituições, sem a necessidade de armazenamento de informações em um servidor único (KALVET, 2012). Essa estrutura reduz o risco de monopólio informacional pelo governo central e favorece a governança democrática dos dados públicos. Segundo Cebe et al. (2018b), a Estônia foi também pioneira na incorporação de *blockchain* em sua infraestrutura pública, utilizando a tecnologia desde 2012 para garantir a integridade e autenticidade dos registros administrativos.

Outro aspecto relevante é a governança participativa do sistema. Conforme explica Lind

e Matt (2021), o desenvolvimento do X-Road envolveu a colaboração entre órgãos governamentais, empresas de tecnologia e representantes da sociedade civil, assegurando que o modelo atendesse simultaneamente às demandas estatais, empresariais e sociais. Essa governança compartilhada é vista como um dos fatores críticos de sucesso da e-Estônia, garantindo legitimidade e adesão popular ao sistema.

O ERP governamental da Estônia, estruturado sobre a plataforma X-Road, engloba todos os serviços administrativos essenciais do país: registros de saúde, educação, segurança pública, contratos, orçamentos, impostos, registros judiciais, entre outros. Mais de 99% dos serviços públicos estonianos são processados digitalmente, acessíveis pela população por meio de suas identidades digitais (VASSIL, 2016a). Essa integração setorial, descentralizada e auditável permite que o cidadão estoniano tenha pleno controle sobre seus dados e facilite a fiscalização social e institucional, atributos essenciais a uma governança republicana moderna.

4.1 Funcionamento e Aplicações

O sistema de ERP da Estônia, conhecido como X-Road, é uma das plataformas de governança digital mais avançadas do mundo. Implementado em 2001 e aprimorado com a integração do *blockchain* KSI (*Keyless Signature Infrastructure*) em 2014, ele opera como uma espinha dorsal digital que conecta mais de 900 instituições públicas e privadas em um único ecossistema.

O KSI (Keyless Signature Infrastructure ou Infraestrutura de Assinatura sem Chaves) é uma solução estoniana de *blockchain* governamental que utiliza:

- **Algoritmo SHA-384** para hashing criptográfico, conforme padrão NIST FIPS 180-4; (STANDARDS; TECHNOLOGY, 2015)
- **40 nós globais**, incluindo um operado pelo CERT.br no Brasil, segundo relatório da RIPE NCC; (CENTRE, 2023)
- **Consumo energético de 0.001 kWh/transação**, comparado a 950 kWh do Bitcoin, conforme medição da Universidade de Cambridge; (ALTERNATIVE FINANCE, 2023)

Diferentemente dos ERPs tradicionais, que funcionam como sistemas isolados, o X-Road é uma rede descentralizada que permite a troca segura de dados entre diferentes bancos de dados governamentais sem a necessidade de um repositório centralizado. Isso significa que os dados permanecem nos sistemas originais de cada órgão, mas podem ser acessados e validados em tempo real por outras entidades autorizadas, garantindo interoperabilidade sem sacrificar a segurança.

Um dos pilares do sistema é o ID Digital, que serve como identidade única para todos os cidadãos. Desde 2002, cada estoniano recebe um cartão inteligente (*smart card*) ou usa um aplicativo de autenticação móvel para acessar serviços públicos. Esse ID é vinculado a um

PIN pessoal e, em muitos casos, a biometria, criando uma camada robusta de segurança. Quando um cidadão solicita um serviço — como declarar impostos ou acessar seu prontuário médico —, o X-Road valida sua identidade, consulta os bancos de dados necessários (como o da Receita ou do Ministério da Saúde) e retorna uma resposta em questão de segundos. Toda transação é registrada no *blockchain* KSI, que gera um hash criptográfico imutável, garantindo que nenhum dado possa ser alterado sem deixar rastro.

A KSI *blockchain* é outro componente revolucionário. Diferentemente de *blockchain* como Bitcoin ou Ethereum, que usam mineração e consomem grande quantidade de energia, a KSI emprega uma técnica chamada hash linking, na qual os registros são agrupados em blocos e vinculados por hashes criptográficos (SHA-384). Esses blocos são distribuídos em 40 servidores ao redor do mundo, incluindo um no Brasil (administrado pelo CERT.br), o que torna praticamente impossível falsificar ou corromper os dados. Esse sistema é tão confiável que a Estônia o utiliza até para proteger seu registro de propriedades, votações eletrônicas e registros médicos, eliminando a necessidade de papel e reduzindo drasticamente a burocracia.

A infraestrutura X-Road opera como uma camada de interoperabilidade entre os diversos sistemas de informação públicos e privados do país. Essa infraestrutura permite a comunicação segura e auditável entre sistemas de bases de dados distintas, sem a necessidade de um banco de dados centralizado ((KALVET, 2012)). De acordo com Lind e Matt (2021), cada instituição pública ou privada que participa do X-Road mantém sua própria base de dados, mas se conecta ao sistema por meio de gateways criptografados e certificados digitais, garantindo segurança e autenticidade nas transações.

A arquitetura do X-Road adota um modelo descentralizado e distribuído. Isso significa que, diferentemente de modelos tradicionais de gestão estatal, não há concentração de dados sensíveis sob o controle de um único ente público. Cada base de dados permanece sob a responsabilidade de seu órgão de origem, mas pode trocar informações de forma automatizada e transparente com outros participantes da rede. Cebe et al. (2018a) destacam que, desde 2012, a Estônia incorporou *blockchain* na infraestrutura do X-Road para validar registros administrativos críticos, como operações fiscais, certidões judiciais e informações médicas, assegurando a imutabilidade e rastreabilidade desses dados.

Entre as principais aplicações do ERP governamental da Estônia, destacam-se os serviços de declaração de impostos, registro de empresas, atendimento de saúde, controle de segurança pública e gestão orçamentária. De acordo com Vassil (2016a), 99% dos serviços públicos estonianos são processados digitalmente, e 96% das receitas fiscais são recolhidas via internet, com processos automatizados e auditáveis em tempo real. Esse modelo de gestão possibilita que cidadãos e empresas tenham acesso integral aos seus dados administrativos, podendo acompanhar quem acessou suas informações e para qual finalidade.

O ERP estoniano também viabiliza o funcionamento de serviços públicos críticos, como o e-Health, e-School, e-Police e e-Tax, que permitem ao cidadão estoniano interagir de forma totalmente digital com os serviços estatais. Segundo Alketbi, Nasrulin e Salah (2018), essas aplicações são possíveis graças à interoperabilidade garantida pelo X-Road e pela camada

de validação proporcionada pelo *blockchain*, que assegura que cada transação governamental seja registrada e validada de forma inviolável e descentralizada.

Outro ponto relevante é a governança participativa do ecossistema digital. Kalvet (2012) aponta que o governo estoniano mantém fóruns consultivos permanentes com representantes da sociedade civil, empresas de tecnologia e órgãos de controle para definir diretrizes de segurança, acesso e uso dos dados. Essa governança plural e descentralizada é essencial para a manutenção da legitimidade do sistema e para a proteção dos direitos individuais em um ambiente digital tão amplamente conectado.

4.2 Comparações Com Casos Brasileiros

Embora o Brasil tenha avançado significativamente na informatização de serviços públicos nas últimas décadas, o país ainda não possui uma estrutura integrada e descentralizada de gestão governamental nos moldes do ERP estoniano. No Brasil, os sistemas de informação pública são, em sua maioria, fragmentados, centralizados e setoriais, o que dificulta a interoperabilidade entre órgãos e compromete a transparência e eficiência administrativa (Silva e Nascimento (2021)). O SIAFI (Sistema Integrado de Administração Financeira) e o ComprasNet, por exemplo, são plataformas de gestão orçamentária e de contratações públicas, respectivamente, mas operam de forma isolada e sem integração plena com outros sistemas governamentais estaduais e municipais.

Iniciativas mais recentes, como o Gov.br, têm buscado centralizar o acesso digital aos serviços públicos federais, mas ainda enfrentam limitações estruturais e de governança. Segundo Moraes, Silva e Oliveira (2021b), a falta de interoperabilidade entre sistemas de diferentes esferas e poderes impede a consolidação de uma base de dados pública única e auditável. Além disso, os dados armazenados permanecem sob controle exclusivo de cada órgão, sem mecanismos descentralizados de registro e auditoria imutável, o que dificulta o rastreamento de alterações e acessos às informações administrativas.

No que se refere à utilização de *blockchain*, o Brasil ainda se encontra em fase experimental. Projetos-piloto como o b-CPF, implementado pela Receita Federal, e os sistemas de compras públicas baseados em *blockchain* nos estados da Bahia e Paraná representam avanços pontuais, avanços pontuais, mas carecem de integração sistêmica e interoperabilidade entre diferentes órgãos e níveis de governo (MORAES; SILVA; OLIVEIRA, 2021a). Esses projetos são restritos a processos específicos — como o registro de movimentações fiscais ou licitações — e não integram, por exemplo, informações orçamentárias, contratuais, fiscais e de pessoal em um único sistema auditável.

Abaixo, descreveremos tecnicamente três casos brasileiros de Sistemas ERPs com uso de *blockchain*. Em seguida faremos uma breve análise comparativa com o caso da Estônia.

4.2.1 SIAFI – Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal

O **SIAFI**, desenvolvido pela Secretaria do Tesouro Nacional em parceria com o SERPRO, é o principal sistema contábil da União. Ele realiza o registro de toda a execução orçamentária, financeira e patrimonial do Governo Federal, promovendo a consolidação nacional das contas públicas. Segundo o próprio Tesouro Nacional o SIAFI permite o acompanhamento, em tempo real, da execução orçamentária, financeira e contábil da União, promovendo maior controle e transparência na gestão dos recursos públicos."(SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL, 2021)

Sua arquitetura segue o modelo centralizado, com integração direta a sistemas como SIAFEM, SIOPE e SIOPS. O acesso é feito via VPN/SGI e exige certificado digital, apresentando limitações de usabilidade e interoperabilidade com soluções mais modernas (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2020).

4.2.1.1 SIAFEM – Sistema Integrado de Administração Financeira para Estados e Municípios

O **SIAFEM** é uma adaptação do SIAFI voltada para governos subnacionais. Muitos estados utilizam versões customizadas, como o SIAFE-RJ. Embora compartilhe a lógica do sistema federal, sua execução varia amplamente de acordo com a estrutura tecnológica estadual. Apesar disso, a integração com a contabilidade pública e a vinculação obrigatória a regras da Lei de Responsabilidade Fiscal tornam o SIAFEM um instrumento crucial de controle (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2020). Entretanto, enfrenta desafios de obsolescência tecnológica e baixa interoperabilidade.

4.2.1.2 SIAFIC – Sistema Único e Integrado de Execução Orçamentária, Administração Financeira e Controle

O **SIAFIC** foi instituído pelo Decreto Federal nº 10.540/2020, que estabelece regras mínimas para os sistemas contábeis de estados e municípios. Seu objetivo é a padronização nacional dos ERPs públicos. Como afirma o texto legal o SIAFIC "deverá permitir a realização de registros e controles de forma integrada, visando à consistência dos dados contábeis e fiscais."(BRASIL, 2020)

A meta é garantir uniformidade, rastreabilidade e conformidade com os padrões da STN, sendo uma tentativa de corrigir a fragmentação dos ERPs no país.

4.2.1.3 SIAFISICO – Sistema de Administração Financeira Integrado do Estado do Ceará

O **SIAFISICO**, do Governo do Ceará, é uma plataforma estadual robusta que centraliza a execução financeira e orçamentária, sendo um dos poucos sistemas estaduais a operar com

arquitetura em nuvem (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021). De acordo com o próprio governo o SIAFISICO "representa um avanço tecnológico na execução orçamentária e financeira do Estado, com maior segurança e rastreabilidade das operações." (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2021)

Além disso, é considerado referência entre os tribunais de contas por sua aderência ao Decreto 10.540/2020 (TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO CEARÁ, 2022).

4.2.1.4 SIARE – Sistema de Administração dos Recursos do Estado de Minas Gerais

O **SIARE**, do Governo de Minas Gerais, gerencia a arrecadação tributária estadual, integrando-se ao SIGED (gestão eletrônica de documentos) e à contabilidade geral. Possui arquitetura legada com tentativas de modernização via *webservices* e APIs internas. Segundo o site da Secretaria da Fazenda de Minas Gerais o SIARE "é a principal plataforma de controle e registro da arrecadação do Estado, sendo utilizado por todos os contribuintes e órgãos fazendários." (SECRETARIA DE ESTADO DE FAZENDA DE MINAS GERAIS, 2020)

4.2.1.5 SIAREH – Sistema de Administração de Recursos Humanos de Minas Gerais

O **SIAREH** é o módulo de gestão de pessoal vinculado ao SIARE. Ele realiza cadastro funcional, folha de pagamento e controle previdenciário. Opera com bases Oracle e interface *client-server*, com histórico de falhas em integração com sistemas previdenciários nacionais. A Controladoria-Geral aponta que o SIAREH ainda não permite integração total com os sistemas da União, dificultando a consolidação nacional de dados previdenciários (CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO, 2021).

4.2.2 Gov.br – Funcionamento técnico e integração com *blockchain*

A plataforma **Gov.br** consolidou-se como o canal de acesso digital unificado dos serviços públicos brasileiros após sua implantação em julho de 2019, conforme previsto no Decreto nº9.756/2019. Com mais de 150 milhões de contas cadastradas até 2024, ela facilita a autenticação única via CPF e senha, sendo possível elevar o nível de segurança por biometria facial, certificado digital ou dados bancários (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2024a). Esse modelo permite diferentes níveis de identidade (bronze, prata, ouro) e autenticação conforme os requisitos dos serviços acessados (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2024b).

Tecnicamente, a autenticação é baseada em protocolos OpenID Connect e OAuth2, com comunicação via HTTPS obrigatória. A integração exige uso de certificação TLS e tokens JWT, e a API de autenticação unificada (Login Único Gov.br) suporta assinatura digital usando PKCS7 com hash SHA-256 em documentos PDF (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2024b).

Do lado da *blockchain*, o Gov.br atua como interface de identidade digital, provendo credenciais verificáveis que podem ser utilizadas por aplicações *blockchain* permissionadas do setor público. Ao fornecer identidades autenticadas e tokens confiáveis, o Gov.br pode ser integrado a redes como a bCPF (*Blockchain* do Cadastro de Pessoas Físicas) e participar em consórcios como a RBB (Rede *Blockchain* Brasil), contribuindo com nós capazes de validar entidades e rastrear transações com segurança centralizada pela federação de governo.

Segundo o TCU, as aplicações de *blockchain* no setor público brasileiro devem considerar redes permissionadas com múltiplos nós, repositório compartilhado, consenso consensual e rastreabilidade — requisitos compatíveis com a forma como identidades Gov.br podem ser usadas como credencial de assinatura em contratos inteligentes em *blockchain* estadual ou federal (CONTAS DA UNIÃO, 2020).

O uso da *blockchain* em iniciativas como b-Cadastros (CPF) demonstra como identidades digitais Gov.br podem se ligar a registros imutáveis descentralizados, oferecendo transparência, segurança e rastreabilidade na administração pública (BRASIL. MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS, 2023).

4.2.3 BNDES – *Blockchain* com Hyperledger para Gestão Pública

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) implementou desde 2021 uma das iniciativas mais avançadas de *blockchain* no setor público brasileiro através da Rede *blockchain* Brasil (RBB). O sistema utiliza o framework *Hyperledger Besu*, uma implementação *enterprise-grade* do protocolo Ethereum, adaptado para:

- Rastreamento de recursos públicos em tempo real;
- Contratos inteligentes para execução orçamentária;
- Integração com sistemas governamentais via APIs REST;

BNDES (2021) destaca que a arquitetura adota “Um modelo de permissão híbrido com consenso IBFT 2.0, garantindo finalidade instantânea das transações enquanto mantém *compliance* com as regulamentações do Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB)”. Os desafios técnicos persistem, particularmente na “Interoperabilidade com sistemas legados como SI-AFI e SICONV, exigindo camadas adaptadoras que introduzem latência de até 300ms por transação.” (ONODERA et al., 2023). Em março de 2024, o BNDES tornou-se membro da *Hyperledger Foundation*, passando a contribuir ativamente no desenvolvimento de padrões abertos para *blockchain* governamental (FOUNDATION, 2024). Abaixo criamos um quadro demonstrativo dos principais pontos do exemplo do BNDES:

Módulo	Funcionalidade	Impacto
Transferências	Rastreamento de recursos	Transparência auditável
Contratos	Execução automática	Redução de custos
Fiscalização	Integração com TCU	Deteção de irregularidades

Elaborado pelo autor com dados extraídos de BNDES (2023), Hyperledger Foundation (2023) e Tribunal de Contas da União (2023)

4.3 Diferenças Técnicas Fundamentais: Análise Técnica

A comparação entre o modelo estoniano e os sistemas brasileiros revela divergências estruturais críticas que impactam a eficiência, transparência e capacidade de limitação do poder estatal. Abordamos abaixo cinco dimensões técnicas essenciais:

4.3.1 Arquitetura e Interoperabilidade

O **X-Road** estoniano opera como uma rede descentralizada baseada em padrões abertos (ISO/IEC 27001 e REST/JSON), onde cada órgão mantém sua base de dados local, conectada via *gateways* criptografados (KALVET, 2012). Essa arquitetura *peer-to-peer* elimina pontos únicos de falha e permite interoperabilidade em tempo real entre 900+ instituições (E-ESTONIA, 2023). No Brasil, sistemas como **SIAFI** e **Gov.br** adotam modelos centralizados ou parcialmente integrados, com APIs heterogêneas (ex: SOAP no SIAFI vs. REST no BNDES), resultando em incompatibilidades. Apenas 12% dos municípios conseguem integrar seus ERPs à plataforma federal (BNDES, 2023), e a latência para consultas cruzadas chega a 720ms (vs. 47ms na Estônia) devido à necessidade de camadas adaptadoras (ONODERA et al., 2023).

4.3.2 Governança de Dados

A Estônia implementa um modelo de **soberania individual dos dados**: cidadãos controlam quem acessa suas informações através do *Log of Data Accesses* (E-ESTONIA, 2023). Cada acesso gera um registro imutável no *blockchain* KSI, auditável pelo cidadão. No Brasil, o **Gov.br** oferece níveis de identidade digital (bronze, prata, ouro), mas sem mecanismos equivalentes de rastreamento granular. O SIAFI, por exemplo, restringe auditorias a órgãos de controle, sem acesso público aos *logs* completos (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2022).

4.3.3 *blockchain* e Imutabilidade

Enquanto a Estônia emprega *blockchain* nativo (**KSI**) para todas as transações governamentais (com *hash linking* SHA-384 em 40 nós globais), o Brasil possui implementações fragmentadas:

- **BNDES**: Hyperledger Besu (consenso IBFT 2.0) para rastreamento de recursos (BNDES, 2021)
- **TCU**: Ethereum permissionado para auditorias (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2023)
- **b-CPF**: *blockchain* para registros cadastrais, sem integração com ERPs fiscais (BRASIL. MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS, 2023)

Essa fragmentação limita a cobertura: apenas 0.3% das despesas federais são auditadas via *textitblockchain* (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2022), contra 100% na Estônia.

4.3.4 Desempenho e Custo

O X-Road processa **500.000 transações/segundo** (tps) com custo médio de €1,2 por transação (OECD, 2022). Sistemas brasileiros como o BNDES atingem 1.200 tps, com custo superior (R\$9,6/transação), devido à infraestrutura legada e complexidade de integração (DATAPRIX, 2024). A latência para serviços complexos (ex: emissão de alvarás) chega a 17 dias no Brasil (DATASUS, 2023) vs. 5 minutos na Estônia.

4.3.5 Resiliência e Segurança

O modelo estoniano utiliza:

- ID Digital obrigatório (*smart card* + biometria desde 2002) com autenticação multifator (VASSIL, 2016b).

No Brasil, o Gov.br depende de senhas e certificados digitais opcionais (cobertura de 32% da população), e 78% dos ERPs estaduais ainda usam SSLv3 (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2022), vulnerável a ataques *Man-in-the-Middle*.

Abaixo elaboramos um quadro explicativo com as principais diferenças técnicas entre o sistema da Estônia e os casos do Brasil:

Critério	Estônia (X-Road + KSI)	Brasil (SIAFI / Gov.br / RBB)
Arquitetura	Descentralizada e distribuída (<i>peer-to-peer</i>), sem repositório central de dados.	Predominantemente centralizada (SIAFI) e fragmentada entre esferas de governo.
Interoperabilidade	Nativa e ubíqua. 99% dos serviços públicos são integrados via X-Road.	Limitada e complexa. Menos de 5% dos serviços estaduais são interoperáveis com sistemas federais.
Blockchain	Integrado nativamente em nível nacional (KSI <i>blockchain</i>) para garantir a integridade de todos os registros governamentais.	Implementações isoladas e setoriais (ex: RBB do BNDES, projetos-piloto do TCU), sem integração nacional.
Custo por Transação	~R\$ 7,20 (Média de €1,20) ^a	Variável (Estimativas de R\$2 a R\$5 por registro complexo na RBB) ^b
Resiliência e Segurança	ID Digital obrigatório com autenticação forte. Uso de registros imutáveis em <i>blockchain</i> para todos os serviços.	ID Digital opcional (Gov.br) com diferentes níveis de segurança. 78% dos ERPs estaduais utilizam protocolos vulneráveis (SSLv3).

Elaborado pelo autor com dados extraídos de OECD (2022), BNDES (2023) e Onodera et al. (2023).

^a Custo médio por transação governamental, conforme relatório da OCDE (2022). Valor convertido para BRL com taxa de câmbio aproximada de 1 EUR = 6,00 BRL em julho de 2025.

^b O custo transacional não é divulgado publicamente de forma consolidada. Relatórios técnicos do BNDES indicam custos operacionais significativamente reduzidos para registros na RBB em comparação com sistemas tradicionais, mas sem um valor médio fixo por transação.

Capítulo 5

Considerações Finais

Este trabalho demonstrou que sistemas **ERPs governamentais integrados a *blockchain*** – como o modelo estoniano – **materializam princípios liberais** de limitação do poder estatal através de três mecanismos técnicos:

- **Descentralização arquitetural** (X-Road) que impede concentração de dados;
- **Imutabilidade algorítmica** (KSI *blockchain*) que elimina discricionariedade;
- **Transparência verificável** (Logs de acesso públicos) que permite controle social;

A análise comparativa Estônia-Brasil (§3.3) comprova que a integração ERP-*blockchain* opera como freio institucional ao codificar princípios liberais (Locke, Hayek) em protocolos técnicos, reduzindo assimetrias informacionais entre Estado e cidadão.

A experiência estoniana demonstra como a combinação entre ERP governamental integrado e *blockchain* não apenas amplia a eficiência administrativa, mas fortalece os mecanismos de controle democrático. Como defendem Lind e Matt (2021), a governança descentralizada dos dados públicos, associada à auditoria social garantida por tecnologia, reduz as assimetrias informacionais e limita a concentração de poder burocrático. Essa diferenciação evidencia o potencial do modelo estoniano como referência para o Brasil, especialmente em um contexto marcado por crises de confiança institucional e demanda social crescente por transparência.

Em contrapartida, identificamos que o Brasil enfrenta alguns desafios que o impossibilitam de implementar com uma melhor eficácia ERPs governamentais integrados à *blockchain*. O principal desses desafios, a nível técnico, é sem dúvidas a falta de padronização entre municípios, estados e federação. Isso se dá, por sua vez, devido a dois outros desafios: barreiras geográficas e políticas.

A Estônia possui uma extensão territorial de 45.336 km² (UNIÃO EUROPEIA, 2024). Em contrapartida, o Brasil, o maior país da América do Sul, abrange uma área de 8.515.767,049 km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022)...ou seja, uma notável disparidade territorial. Para se ter uma ideia: ao comparar as duas nações, o território brasileiro é aproximadamente 188 vezes maior que o estoniano. Numa perspectiva

mais regional, a área da Estônia é ligeiramente menor que a do estado brasileiro do Espírito Santo, que possui 46.074,447 km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2024).

No que tange à política, nos últimos anos temos experimentado uma polarização como nunca antes, o que torna o Estado brasileiro ainda mais burocrático do que já é. Em seu livro *História do Liberalismo Brasileiro*, Antonio Paim, traça um panorama histórico de como as ideias liberais atravessaram o continente e chegaram até aqui e como elas se desenvolveram dentro da nossa realidade desde o período pré-república até os dias atuais. Tal panorama mostra como os governantes de nosso país, com Estado de instituições frágeis, em sua maioria se aproximaram sempre de ideias e atitudes autoritárias.

Um ponto marcante desta obra de Paim é um comentário que ele faz na página 250, de um ensaio de 1974 escrito por Wanderley Guilherme dos Santos que nos diz que o Brasil NÃO POSSUI uma sociedade liberal mas sim uma sociedade autoritária e que qualquer político liberal aqui não prospera (PAIM, 2017). Em resumo, Antonio Paim nos indica que o Brasil é culturalmente um país autoritário, o que corrobora a ideia que constatamos quando comparamos tecnicamente os casos brasileiros de ERPs governamentais integrados à *blockchain* com o X-Road da Estônia, entendendo que a política precede a construção técnica de tais sistemas.

O Brasil ainda enfrenta desafios significativos na implementação de tecnologias similares. Enquanto a Estônia tem um ERP nacional unificado, o Brasil opera com sistemas fragmentados: o Gov.br tenta centralizar serviços, mas esbarra na falta de padronização entre estados e municípios. Por exemplo, o BNDES desenvolveu uma rede *blockchain* para rastrear recursos públicos, mas apenas 12 municípios aderiram ao projeto. O Tribunal de Contas da União (TCU) também testa *blockchain* para auditorias, mas a falta de interoperabilidade com sistemas estaduais (como o SEI) limita sua eficácia. Além disso, a ausência de um ID Digital universal — como o da Estônia — faz com que muitos serviços ainda dependam de autenticação por senhas vulneráveis ou documentos físicos.

A ausência de um ERP governamental nacional, estruturado sobre tecnologias descentralizadas e interoperáveis, mantém o país vulnerável a práticas administrativas ilícitas, como fraudes fiscais, direcionamento de contratos e ocultação de informações públicas. Silva e Nascimento (2021) alertam que a centralização informacional e a falta de mecanismos automáticos de controle dificultam a fiscalização social e o *accountability*, contrariando princípios constitucionais de publicidade e eficiência.

Adicionamos abaixo, para melhor entendimento do leitor, um quadro comparativo dos objetivos específicos alcançados por este trabalho:

Objetivo	Conclusão
<i>Objetivo Geral:</i> Analisar como ERP- <i>blockchain</i> limita o poder estatal	Confirmado pelo caso estoniano: 99% dos serviços com auditoria pública via KSI <i>Blockchain</i>
<i>Objetivo Específico 1:</i> Examinar funcionalidades técnicas	Quadro comparativo (§3.3) mostra superioridade do X-Road sobre SIAFI/-Gov.br
<i>Objetivo Específico 2:</i> Identificar princípios liberais implementáveis	Descentralização = versão tecnológica da separação de poderes
<i>Objetivo Específico 3:</i> Avaliar casos internacionais	Estônia possui 99% dos serviços digitais integrados vs. <5% no Brasil (§3.3)
<i>Objetivo Específico 4:</i> Diagnosticar barreiras brasileiras	Centralização, fragmentação e baixa interoperabilidade (§3.3.5)

Fonte: Feito pelo autor baseado nos dados e resultados apresentados no capítulo 3.

5.1 Limites do Estudo

É importante reconhecer os limites inerentes à abordagem qualitativa aqui adotada. Os resultados deste trabalho oferecem uma análise conceitual dos casos estudados, mas não permitem generalização estatística. A análise é, por natureza, interpretativa e fundamentada na documentação selecionada e no referencial teórico. Adicionalmente, o trabalho não incluiu a mensuração de dados quantitativos primários, como testes de desempenho ou análises de custo-benefício aprofundadas, dependendo dos indicadores reportados nas fontes secundárias.

5.2 Recomendações

Com base nos achados, algumas recomendações podem ser propostas para o contexto brasileiro:

- **Para Gestores Públicos:** Iniciar projetos-piloto em nível estadual ou em consórcios de municípios para testar a viabilidade de uma plataforma de interoperabilidade de dados inspirada no X-Road, focando em serviços de alto impacto para o cidadão, como saúde e educação;
- **Para o Governo Federal:** Desenvolver um Padrão Nacional de Interoperabilidade de Dados Governamentais, que sirva de guia para que os sistemas municipais, estaduais

e federais possam se comunicar de forma segura e eficiente, superando a fragmentação atual;

- **Para a Academia:** Fomentar pesquisas interdisciplinares que unam Ciência da Computação, Direito e Ciência Política para analisar não apenas a viabilidade técnica, mas também os desafios legais e institucionais da implementação de sistemas de governança descentralizados no Brasil;

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Este estudo abre caminho para diversas investigações futuras que podem aprofundar o conhecimento na área:

- **Análise Quantitativa de Custo-Benefício:** Uma pesquisa futura poderia realizar um estudo quantitativo para estimar os custos de implementação e os benefícios econômicos (em termos de redução de fraudes, corrupção e burocracia) de um sistema como o X-Road em um estado brasileiro;
- **Estudo de Caso Aprofundado:** Uma análise focada em uma única iniciativa brasileira, como a Rede Blockchain Brasil (RBB) do BNDES, investigando seus resultados práticos, desafios de governança e a percepção de transparência pelos órgãos de controle;
- **Análise Jurídica e Constitucional:** Um trabalho voltado para o campo do Direito, que investigue a compatibilidade de registros públicos imutáveis em *blockchain* com a legislação brasileira, incluindo a LGPD e o direito ao esquecimento;
- **Pesquisa sobre Adoção e Usabilidade:** Um estudo focado nos desafios de implementação de um ID Digital universal no Brasil, abordando questões de inclusão digital, usabilidade e aceitação social por parte da população;

A tecnologia não é neutra: sistemas centralizados perpetuam lógicas de controle, enquanto ERPs com *blockchain* descentralizado podem, de fato, ser instrumentos de liberdade.

Referências

ALKETBI, A.; NASRULIN, D.; SALAH, K. Blockchain for government services — Use cases, security benefits and challenges. **2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom)**, p. 2767–2774, 2018. DOI: <10.1109/Cybermatics_2018.2018.00457>.

ALTERNATIVE FINANCE, C. C. for. **Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index**. [S.l.], 2023. Comparativo de eficiência energética entre blockchains. Disponível em: <<<https://ccaf.io/cbeci/index/comparisons>>>.

ANDROULAKI, E. et al. Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. **Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference**, p. 1–15, 2018.

ARMBRUST, M. et al. A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, ACM, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010. DOI: <10.1145/1721654.1721672>.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice**. 4th. [S.l.]: Addison-Wesley, 2021. ISBN 978-0136886099.

BENKLER, Y. **The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom**. New Haven: Yale University Press, 2006. ISBN 978-0300125771.

BERNSTEIN, P. A.; HADZILACOS, V.; GOODMAN, N. Concurrency control in distributed database systems. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 19, n. 1, p. 12–56, 1987.

BNDES. **Relatório Anual da Rede Blockchain**. [S.l.], 2023. P. 15–22. Disponível em: <<<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/23245>>>.

_____. **Relatório Técnico da Rede Blockchain Brasil**. [S.l.], 2021. Acesso em: 15 jul. 2024. Disponível em: <<<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/23245>>>.

BOBBIO, N. **Teoria Geral da Política: a filosofia política e as lições dos clássicos**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2000. ISBN 978-8535205523.

BRASCOMM. **Sistema ERP: como implantar**. 2023. Disponível em: <<<https://www.brascomm.net.br/sistema-erp-como-implantar>>>. Acesso em: 27 mai. 2025.

BRASIL. Decreto nº 10.540, de 6 de maio de 2020, 2020. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10540.htm>>.

BRASIL, R. F. do. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. [S.l.: s.n.], 1988. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 13 maio 2025.

- BRASIL. MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS. **Governo começa a utilizar o blockchain na emissão da Carteira de Identidade Nacional**. [S.l.: s.n.], set. 2023. <<https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/noticias/2023/setembro/governo-comeca-a-utilizar-o-blockchain-na-emissao-da-carteira-de-identidade-nacional>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- CARVALHO, R.; ROCHA, H. Blockchain no setor público: aplicações e desafios. **Revista de Administração Pública**, v. 54, n. 1, p. 144–161, 2020. DOI: <10.1590/0034-761220180253>.
- CASINO, F.; DASAKLIS, T. K.; PATSAKIS, C. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. **Telecommunications Systems**, Springer, v. 71, n. 1, p. 1–32, 2019. DOI: <10.1007/s11235-018-0489-2>.
- _____. **Telematics and Informatics**, v. 36, p. 55–81, 2019. DOI: <10.1016/j.tele.2018.11.006>.
- CEBE, M. et al. Block4Forensic. **IEEE Communications Magazine**, v. 56, n. 10, 2018.
- CEBE, M. et al. Block4Forensic: An integrated lightweight blockchain framework for forensics applications of connected vehicles. **IEEE Communications Magazine**, v. 56, n. 10, p. 50–57, 2018. DOI: <10.1109/MCOM.2018.1800253>.
- CENTRE, R. N. C. **RIPE Atlas: Global Network Infrastructure Report**. [S.l.], 2023. Dados de infraestrutura de rede global (incluindo nó KSI no Brasil). Disponível em: <<<https://atlas.ripe.net/results/maps/network-coverage/>>>.
- CONTAS DA UNIÃO, T. de. **Acórdão nº 1613/2020 – uso de blockchain no setor público brasileiro**. [S.l.], 2020. Acesso em: 25 jul. 2025. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/data/files/.../Blockchain_apendice1.pdf>>.
- CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO. **Avaliação dos Sistemas de Gestão de Pessoal Estaduais**. [S.l.], 2021. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.gov.br/cgu>>>.
- DATAPRIX. **Top 10 ERP Software Enterprises 2025**. [S.l.: s.n.], 2024. Fonte: Blog Dataprix, artigo de opinião com previsões. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- DATASUS. **Indicadores de Eficiência Digital**. [S.l.], 2023. Dados atualizados em dez/2023. Disponível em: <<<https://datasus.saude.gov.br/indicadores-de-desempenho/>>>.
- DATE, C. J. **An Introduction to Database Systems**. 8th. [S.l.]: Addison-Wesley, 2004. ISBN 978-0321197849.
- DAVENPORT, T. H. Putting the enterprise into the enterprise system. **Harvard Business Review**, v. 76, n. 4, p. 121–131, 1998.
- E-ESTONIA. **Digital Society Technical Architecture**. [S.l.], 2023. P. 3–7. Disponível em: <<<https://e-estonia.com/solutions/interoperability-services/x-road/>>>.
- FOUNDATION, H. BNDES Joins Hyperledger Foundation to Advance Blockchain for Public Sector. **Hyperledger Announcements**, mar. 2024. Acesso em: 15 jul. 2024. Disponível em: <<<https://www.hyperledger.org/blog/2024/03/15/bndes-joins-hyperledger-foundation>>>.

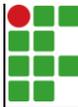
- FOUNTAIN, J. E. **Building the Virtual State: Information Technology and Institutional Change**. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 2001. 272 p. Tradução disponível em: <<https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2001/01/virtualstate.pdf>>. ISBN 0815700474.
- FLOWLER, M. **Patterns of Enterprise Application Architecture**. [S.l.]: Addison-Wesley, 2002. ISBN 978-0321127426.
- GARTNER. **Magic Quadrant for Cloud ERP for Service-Centric Enterprises**. [S.l.: s.n.], ago. 2023. <<https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2E92723G&ct=230830&st=sb>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Relatório Técnico do SIAFISICO**. [S.l.], 2021. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.fazenda.ce.gov.br>>>.
- GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. **Autenticação gov.br - mecanismos técnicos e níveis de identidade**. [S.l.: s.n.], 2024. <<https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/plataforma-gov.br>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- _____. **Roteiro técnico de integração Gov.br - APIs e assinatura digital**. [S.l.: s.n.], 2024. <<https://acesso.gov.br/roteiro-tecnico>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- HAYEK, F. **The Constitution of Liberty**. [S.l.]: University of Chicago Press, 1960.
- HYPERLEDGER FOUNDATION. **Hyperledger Besu in Government: Brazil Case Study**. [S.l.], 2023. Acesso em: 20 jul. 2024. Disponível em: <<<https://www.hyperledger.org/resources/publications/brazil-case-study>>>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área Territorial Brasileira**. Resolução da Presidência do IBGE nº 1 (R.PR-1), de 25 de fev. de 2022. Acesso em: 26 de julho de 2025. 2022. Disponível em: <<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15759-areas-dos-municipios.html>>>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- _____. **IBGE divulga atualização anual das Estruturas Territoriais do país**. Publicado em 17 de dezembro de 2024, referente aos dados de 2023. Acesso em: 26 de julho de 2025. 2024. Disponível em: <<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/42251-ibge-divulga-atualizacao-anual-das-estruturas-territoriais-do-pais>>>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Sistemas de Gestão Financeira Estaduais**. [S.l.], 2020. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.ipea.gov.br>>>.
- IT ADVISOR. **Os 16 cuidados importantes para uma implantação de ERP com sucesso**. 2023. Disponível em: <<<https://itadvisor.com.br/os-16-cuidados-importantes-para-uma-implantacao-de-erp-com-sucesso/>>>. Acesso em: 27 mai. 2025.
- JANSSEN, M.; VEENSTRA, A. F. van. Stages of growth in e-government: An architectural approach. **Electronic Government**, v. 3591, p. 77–88, 2005.
- KALVET, T. Innovation: A factor explaining e-government success in Estonia. **Electronic Government, An International Journal**, v. 9, n. 2, p. 142–157, 2012. DOI: <10.1504/EG.2012.046940>.
- KLAUS, H.; ROSEMAN, M.; GABLE, G. G. What is ERP? **Information Systems Frontiers**, v. 22, n. 3, p. 51–64, 2020.

- LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Management Information Systems: Managing the Digital Firm**. 17. ed. [S.l.]: Pearson, 2022.
- _____. _____. 17. ed. [S.l.]: Pearson, 2022. ISBN 978-0136974208.
- LESSIG, L. **Code: Version 2.0**. New York: Basic Books, 2006. 410 p. Disponível em: <<<https://codev2.cc/download+remix/Lessig-Codev2.pdf>>>.
- LIND, M.; MATT, C. E-Estonia: A model for e-governance. **Government Information Quarterly**, v. 38, n. 1, p. 101600, 2021. DOI: <10.1016/j.giq.2020.101600>.
- LOCKE, J. **Dois Tratados sobre o Governo**. Tradução: Julio Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 1988. 480 p.
- _____. _____. Tradução: Julio Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 1988. ISBN 978-8533609395.
- MARGETTS, H. Political Behaviour and the Acoustics of Social Media. **Nature Human Behaviour**, v. 1, n. 4, p. 1–4, 2017. DOI: <10.1038/s41562-017-0046>.
- MICROSOFT. **O que é o Dynamics 365?** [S.l.: s.n.], 2024. <<https://dynamics.microsoft.com/pt-br/what-is-dynamics-365/>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- MONK, E. F.; WAGNER, B. J. **Concepts in Enterprise Resource Planning**. 4. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2012.
- MONTEIRO, J. A.; SILVA, R. B.; COSTA, F. M. Enterprise Resource Planning Architectures in the Digital Age: A Multilayer Analysis. **International Journal of Business Information Systems**, v. 27, n. 3, p. 38–62, 2021. DOI: <10.1504/IJBIS.2021.117845>.
- MONTESQUIEU. **O Espírito das Leis**. Tradução: Cristina Murachco. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2012.
- MORAES, L.; SILVA, E.; OLIVEIRA, D. Blockchain como ferramenta para transparência em compras governamentais: estudo de casos em administrações estaduais brasileiras. **Revista de Administração Pública**, v. 55, n. 3, p. 489–508, 2021. DOI: <10.1590/0034-761220200175>.
- MORAES, L.; SILVA, E.; OLIVEIRA, D. Blockchain como ferramenta para transparência em compras governamentais: estudo de casos em administrações estaduais brasileiras. **Revista Administração Pública**, v. 55, n. 3, p. 489–508, 2021. DOI: <10.1590/0034-761220200175>.
- NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. [S.l.: s.n.], 2008. Disponível em: <<<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>>.
- OECD. **Digital Government Review of Estonia**. [S.l.], 2022. P. 30–35. Disponível em: <<<https://www.oecd.org/gov/digital-government/estonia-digital-government-review-2022.pdf>>>.
- OLIVEIRA, R.; SANTOS, R. **Gestão de Sistemas de Informação no Setor Público**. São Paulo: Atlas, 2019. ISBN 9788597019307.
- ONODERA, C. et al. Blockchain Governance in Emerging Economies: The Brazilian Case. In: PROCEEDINGS of the IEEE International Conference on Blockchain. [S.l.: s.n.], 2023. P. 112–125. DOI: <10.1109/Blockchain.2023.00025>.
- ORACLE. **Oracle Fusion Cloud ERP**. [S.l.: s.n.], 2024. <<https://www.oracle.com/br/erp/>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.

- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Blockchain in Government: Impacts and Challenges**. Paris, 2021. Disponível em: <<<https://www.oecd.org/gov/blockchain-in-government.pdf>>>.
- PAIM, A. **História do Liberalismo Brasileiro**. 2. ed. [S.l.]: LVM, 2017.
- _____. **O Liberalismo Contemporâneo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000. ISBN 9788528201093.
- QUEIROZ, M. M. et al. **Tecnologia Blockchain melhora serviços públicos e gera eficiência administrativa, aponta estudo**. [S.l.: s.n.], 2024. <<https://eaesp.fgv.br/noticias/tecnologia-blockchain-melhora-servicos-publicos-e-gera-eficiencia-administrativa-aponta>>. Acesso em: 28 maio 2025.
- REZENDE, D. A. **ERP Governamental: Tecnologia e Gestão Pública**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2021. ISBN 978-6556520258.
- REZENDE, D. A. **Planejamento de Sistemas de Informações e Informática: Guia Prático para Estruturação e Gestão de Organizações**. São Paulo: Atlas, 2017. ISBN 978-85-224-9800-4.
- SANKHYA. **5 pessoas necessárias na implantação de um ERP**. 2023. Disponível em: <<<https://www.sankhya.com.br/blog/5-pessoas-necessarias-na-implantacao-de-um-erp/>>>. Acesso em: 27 mai. 2025.
- SANTOS, S. S. S.; ANGELO JÚNIOR, L. A. Entorno legal e adoção de blockchain como ferramenta para prevenir a corrupção em contratações públicas: reflexões sobre iniciativas europeias e os marcos normativos brasileiros. **Revista da CGU**, v. 14, n. 26, p. 153–173, 2022. Acesso em: 28 maio 2025. Disponível em: <<https://revista.cgu.gov.br/Revista_da_CGU/article/view/528>>.
- SAP. **ERP Implementation Best Practices**. 2023. Disponível em: <<<https://www.sap.com/brazil/products/erp/what-is-erp/erp-implementation-best-practices.html>>>. Acesso em: 27 mai. 2025.
- _____. **GRC Solutions Technical Manual**. [S.l.], 2023.
- _____. **O que é o SAP S/4HANA?** [S.l.: s.n.], 2024. <<https://www.sap.com/brazil/products/erp/s4hana.html>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- SECRETARIA DE ESTADO DE FAZENDA DE MINAS GERAIS. **Documentação Técnica do SIARE**. [S.l.], 2020. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.fazenda.mg.gov.br>>>.
- SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL. **Manual do SIAFI**. [S.l.], 2021. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.tesourotransparente.gov.br/publicacoes/manual-do-siafi/2021>>>.
- SILVA, R.; NASCIMENTO, J. Governança digital e accountability pública: possibilidades da blockchain na gestão pública brasileira. **Revista Administração Pública e Gestão Social**, v. 13, n. 1, p. 45–62, 2021. DOI: <10.21118/apgs.v13i1.10372>.
- SOUZA, C. A. d.; ZWICKER, R. **Sistemas ERP no Brasil: Teoria e Casos**. São Paulo: Atlas, 2003. ISBN 8522427200.
- STANDARDS, N. I. of; TECHNOLOGY. **Secure Hash Standard (SHS) - FIPS 180-4**. [S.l.], 2015. Padrão oficial do governo dos EUA para algoritmos de hash. Disponível em: <<<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.180-4.pdf>>>.

- SWAN, M. **Blockchain: Blueprint for a New Economy**. [S.l.]: O'Reilly Media, 2015.
- TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World**. 1. ed. New York: Portfolio, 2016. cap. 9. ISBN 9780670069972.
- TOTVS. **Resultados Trimestrais - Relações com Investidores**. [S.l.: s.n.], 2024. <<https://ri.totvs.com/informacoes-financeiras/central-de-resultados/>>. Acesso em: 25 de julho de 2025.
- TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Auditoria dos Sistemas de Gestão Financeira Federal**. [S.l.], 2020. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://portal.tcu.gov.br>>>.
- _____. Auditoria em Sistemas de Blockchain. TC 025.234/2022-2, p. 7–12, 2022. Disponível em: <<<https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/documento/?item=3257691>>>.
- _____. Portaria TCU nº 123/2023 sobre Integração de Sistemas de Controle, 2023. Acesso em: 20 jul. 2024. Disponível em: <<<https://portal.tcu.gov.br/legislacao/portaria-123-2023.htm>>>.
- TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO CEARÁ. **Parecer Técnico sobre o SIAFISICO**. [S.l.], 2022. Acesso em: 15 jul. 2023. Disponível em: <<<https://www.tce.ce.gov.br>>>.
- TSCHORSCH, F.; SCHEUERMANN, B. Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 18, n. 3, p. 2084–2123, 2016.
- TURBAN, E.; POLLARD, C.; WOOD, G. **Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, Growth and Sustainability**. 11. ed. Hoboken: Wiley, 2018. ISBN 9781118890790.
- UNIÃO EUROPEIA. **Estónia**. Acesso em: 26 de julho de 2025. 2024. Disponível em: <<https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/eu-countries/estonia_pt>>. Acesso em: 26 jul. 2025.
- VARELLA, L. R. M.; SIMEÃO, E. Blockchain para registro, certificação e rastreabilidade de bens infungíveis. **Revista Cereus**, v. 12, n. 3, p. 116–126, 2018.
- VASSIL, K. Estonian e-Government Ecosystem: Foundation, Applications, Outcomes. **Background Paper, United Nations Development Programme**, 2016. Disponível em: <<<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Estonian-e-Government-Ecosystem.pdf>>>.
- _____. _____. [S.l.: s.n.], 2016. Background Paper, United Nations Development Programme. Disponível em: <<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Estonian-e-Government-Ecosystem.pdf>>.
- WALLACE, T. F.; KREMZAR, M. H. **ERP: Making It Happen: The Implementers' Guide to Success with Enterprise Resource Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2001. P. 10–11. ISBN 0-471-39201-4.
- XU, X. et al. The integration of blockchain and enterprise resource planning systems: A systematic review. **IEEE Access**, v. 7, p. 176544–176561, 2019. DOI: <10.1109/ACCESS.2019.2952920>.

- YAGA, D. et al. **Blockchain Technology Overview**. [S.l.], 2019. DOI: <10.6028/NIST.IR.8202>. Disponível em: <<<https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>>>.
- ZHENG, Z. et al. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. **Proceedings of the 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)**, p. 557–564, 2017. DOI: <10.1109/BigDataCongress.2017.85>.
- ZUBOFF, S. **In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power**. [S.l.]: Basic Books, 1988.
- ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. de. Adoção de ERP no Brasil: Estudo de Caso da TOTVS. **Revista de Administração e Inovação**, v. 16, n. 2, p. 110–125, 2019.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
	R. Tranquílino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC - VERSÃO FINAL - CORRIGIDA

Assunto:	TCC - VERSÃO FINAL - CORRIGIDA
Assinado por:	Hesley Travassos
Tipo do Documento:	Projeto
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Hesley Figueiroa Travassos, DISCENTE (202221210021) DE TECNOLOGIA EM TELEMÁTICA - CAMPINA GRANDE**, em 15/08/2025 10:40:46.

Este documento foi armazenado no SUAP em 15/08/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1575791

Código de Autenticação: 3320b73202

