



UFAM

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA**

**Proposta de aplicação da *Blockchain* na cadeia de produção da Copaíba
(*Copaifera spp.*): o uso do Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos
(SELVA)**

Rafael Veiga Paixão

Manaus – Amazonas

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA

RAFAEL VEIGA PAIXÃO

Proposta de aplicação da *Blockchain* na cadeia de produção da Copaíba
(*Copaifera spp.*): o uso do Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos
(SELVA)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como exigência para obtenção do título de Doutor em Biotecnologia sob orientação do Prof. Dr. Jefferson Rocha.

Orientador: Dr. Jefferson Rocha.
Coorientadora: Dra. Rosana Zau Mafra.

Manaus – Amazonas
2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- P149p Paixão, Rafael Veiga
Proposta de aplicação da Blockchain na cadeia de produção da
Copaíba (*Copaifera* spp.): o uso do Sistema Estruturado Legal de
Valores Amazônicos (SELVA) / Rafael Veiga Paixão. - 2026.
121 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Jefferson Rocha.
Coorientador(a): Rosana Zau Mafra.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas,
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Manaus, 2026.
1. Rastreabilidade Legal. 2. Oleorresina de Copaíba. 3.
Conhecimento Tradicional. 4. Bioeconomia Amazônica. 5.
Contratos Inteligentes. I. Rocha, Jefferson. II. Mafra, Rosana Zau.
III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-
Graduação em Biotecnologia. IV. Título
-

FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA AVALIADORA

RAFAEL VEIGA PAIXÃO

PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA BLOCKCHAIN NA CADEIA DE PRODUÇÃO DA COPAÍBA (*Copaifera spp.*): O USO DO SISTEMA ESTRUTURADO LEGAL DE VALORES AMAZÔNICOS (SELVA)

Tese apresentada ao Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito para obtenção do título de Doutor em Biotecnologia. Área de concentração: Gestão.

Aprovada em: 03 de julho de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jefferson Rocha de Andrade Silva
Presidente/Orientador – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Dimas José Lasmar
Membro Titular Interno – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Edson Junior do Carmo
Membro Titular Interno – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Profa. Dra. Elaine Cristina Ferreira Dias
Membro Titular Externo – Farmanguinhos / Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ

Prof. Dr. José Luiz Pinto Ferreira
Membro Titular Externo – Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Dr. Adrian Martin Pohlitz
Membro Suplente Interno – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

Prof. Dr. Rafael Lima Medeiros
Membro Suplente Externo – Instituto Federal do Amazonas – IFAM

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, avós, pais e irmãos de sangue e que representam o amor fraterno em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer coisa, agradeço a Deus, que na sua infinitude me amparou espiritualmente sempre que a consciência me turvou, mas principalmente por – durante nossas conversas diárias - não ter me deixado esquecer (quase) nenhum prazo, estando comigo até nos dias em que nem eu queria estar comigo.

Aos meus amados pais: Antônio Dionysio Carvalho Paixão – meu quase-sempre-mentor: sem o senhor, meu amado pai, talvez eu estivesse como naquele dia: preso no pandeiro – preso em armadilhas da vida, preso em estações erradas. Obrigado pelas duras orientações, fortes cobranças: foram elas que me fizeram persistir; foram elas que me fizeram ter cada vez mais vontade de servir. Obrigado por nunca ter se furtado ao papel de ser pai. Eu lhe amo. Para Jaqueline Veiga, minha mãe: quero poder lhe proporcionar tudo o que a senhora, talvez até sem entender como, me proporcionou em termos de amor e doação incondicional. Eu lhe amo mãe, obrigado por estar sempre comigo. Vocês – pai, mãe – são minha estrela-guia, mesmo quando eu insisto em explorar atalhos tortos. Suas lições são partes do meu “código-fonte”, que tem muitos dos seus “*prompts*” de amor e cuidado. Obrigado.

Aos meus professores, em especial aos orientadores: Prof. Jefferson Rocha e à Profa. Rosana Zau Mafra. A paciência quase divina, e as lições técnicas/científicas/metodológicas (ou mesmo *insights* de viabilidade com a Amazônia real) ajudaram a transformar minha inquietação em método e meu projeto de tese em tese.

Agradeço à Rebeca Hebron pela gestão cuidadosa da minha trajetória; seu apoio foi o contrapeso essencial para que minhas pesquisas encontrassem solo firme. Ao Roberto Paixão Neto, manifesto minha gratidão pela sabedoria e pela paz transmitidas em cada gesto e palavra. Ao Theodoro Paixão, que embora jovem, já é parte integral desta conquista e futuro colaborador nos projetos do SELVA. E ao Joaquim, meu sobrinho – já muito amado, que está a caminho, vindo abençoar toda família.

Ao Norman, meu cachorro, que jamais leu um artigo científico, mas que me ensinou sobre presença, lealdade e como fingir interesse com um olhar profundo. Obrigado, Norminho.

À **Maria Fernanda Costa**, cuja presença foi o alicerce silencioso nesta reta final. Agradeço a dedicação generosa e por tornar o rigor da pesquisa um caminho mais leve. Sou grato por sua companhia e por me rerepresentar o valor da espiritualidade e da constância; nas orações e na rotina compartilhada, encontrei o equilíbrio para concluir esta jornada. Este trabalho é fruto, também, da nossa caminhada. Obrigado por me incentivar a ser melhor.

Aos meus queridos amigos e colegas de trabalho — *startupeiros*, empreendedores, acadêmicos, sonhadores profissionais e sobreviventes das eternas *pivotagens* — Henry Abraham, Timóteo Bentes, Ana Carolina Queiroz, Adriana Souza, Sara Seixas, Waleska Braga e tantos outros que caminharam comigo entre redirecionamentos estratégicos, crises existenciais de governança, planilhas, reuniões, cafés e a teimosa esperança de construir inovações voltadas à Amazônia, e, mais do que isso, à nossa gente. Aos colegas de pesquisa: obrigado.

Foi também no convívio com aqueles muitas vezes invisíveis que aprendi muito do que levo comigo hoje. Insisto em reconhecer que o dia a dia, com suas conversas, desafios e encontros, também foi escola. Mesmo quando a responsabilidade aumentou, vieram junto lições sobre vigilância, autocontrole e consciência. Minha gratidão vai a tudo o que me fez crescer, inclusive nos momentos mais difíceis. Agradeço também aos parceiros de jornada, da vida prática e da vida espiritual, que estiveram por perto de algum modo. Fica aqui meu carinho pela família — tios, tias, primos, primas e agregados —, pelos amigos, colegas e companheiros de caminhada. Enfim, de um jeito ou de outro, todos atravessaram comigo esse matagal de ideias, capítulos e crises existenciais.

"A liberdade é um direito que se consolida, na razão direta em que o homem se autodescobre e se conscientiza, podendo identificar os próprios valores, que deve aplicar de forma edificante, respeitando a natureza e tudo quanto nela existe."

— Joanna de Ângelis (Espírito)

"A Amazônia é muito maior do que se pensa, e é muito mais do que se diz."

- Samuel Benchimol (Obra)

RESUMO

A cadeia de abastecimento da oleorresina de copaíba (*Copaifera* spp.) na Amazônia enfrenta lacunas relevantes de governança, incluindo extração ilegal, documentação fragmentada, baixa padronização informacional e limitada verificabilidade da conformidade legal, fatores que comprometem a transparência, a rastreabilidade e a captura de valor justo por produtores locais. Esta tese analisa de que forma a tecnologia Blockchain pode contribuir para a proteção legal do Conhecimento Tradicional Associado (CTA) e para o aprimoramento da governança sustentável dessa cadeia produtiva por meio do SELVA — Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos. Concebido como uma plataforma sociotécnica de governança, rastreabilidade e registro de ativos da sociobiodiversidade, o modelo parte da hipótese de que a rastreabilidade baseada em Blockchain pode apoiar mecanismos de transparência, verificação de origem, integridade documental e repartição justa e equitativa dos benefícios econômicos associados ao uso de conhecimentos tradicionais em cadeias produtivas amazônicas. A metodologia combina a abordagem *Value-Focused Thinking* (VFT), voltada à estruturação de valores e objetivos estratégicos, com a lógica da *Design Science Research* (DSR), orientada ao desenvolvimento e à avaliação de artefatos tecnológicos. A coleta e análise de dados envolveram revisão integrativa da literatura, análise documental, exame do regime jurídico aplicável à biodiversidade e ao CTA, além de entrevistas semiestruturadas com atores de cadeias produtivas amazônicas análogas, utilizadas para identificação de gargalos transversais de rastreabilidade, documentação, conectividade, governança e acesso a mercados. Como resultado, foram projetados componentes de contratos inteligentes e aplicações web, posteriormente avaliados por meio de validação scriptada em ambiente Ethereum local controlado, com captura de hashes de transações, números de blocos, eventos emitidos e consultas de estado somente leitura, permitindo verificar correção funcional, integridade dos registros e auditabilidade do sistema. Os resultados demonstram a viabilidade técnica de registro imutável de lotes, transferências rastreáveis de titularidade, ancoragem criptográfica de documentos de suporte e verificação pública por meio de QR codes. No plano analítico, o SELVA contribui para reduzir assimetrias informacionais, ampliar a visibilidade de produtores locais e criar condições institucionais para modelos mais transparentes de governança e repartição de benefícios em cadeias da sociobiodiversidade amazônica. A validação realizada corresponde ao nível de maturidade tecnológica 4 (*Technology Readiness Level* — TRL 4), o que estabelece correção funcional e trilha de auditoria reconstituível após a entrada dos dados, mas não demonstra execução legal plena nem autenticação físico-digital do lote. Como implicação prática, a tese apresenta uma infraestrutura digital replicável e auditável, com potencial de evolução para ambientes consorciados e pilotos em campo, capaz de fortalecer a governança da bioeconomia amazônica ao articular inovação tecnológica, proteção do conhecimento tradicional e desenvolvimento sustentável.

Palavras-Chave: Rastreabilidade Legal; Oleorresina de Copaíba; Conhecimento Tradicional; Bioeconomia Amazônica; Contratos Inteligentes; Governança da Cadeia de Suprimentos.

ABSTRACT

The supply chain of copaiba oleoresin (*Copaifera* spp.) in the Amazon faces significant governance gaps, including illegal extraction, fragmented documentation, low informational standardization, and limited verifiability of legal compliance. These factors undermine transparency, traceability, and the fair capture of value by local producers. This thesis analyzes how Blockchain technology can contribute to the legal protection of Associated Traditional Knowledge (ATK) and to the improvement of sustainable governance in this production chain through SELVA — the Structured Legal System of Amazonian Values. Conceived as a sociotechnical platform for governance, traceability, and the registration of sociobiodiversity assets, the model is based on the hypothesis that Blockchain-based traceability can support mechanisms of transparency, origin verification, documentary integrity, and the fair and equitable sharing of economic benefits associated with the use of traditional knowledge in Amazonian production chains. The methodology combines the *Value-Focused Thinking* (VFT) approach, aimed at structuring values and strategic objectives, with the logic of Design Science Research (DSR), oriented toward the development and evaluation of technological artifacts. Data collection and analysis involved an integrative literature review, documentary analysis, examination of the legal framework applicable to biodiversity and ATK, and semi-structured interviews with actors from analogous Amazonian production chains, used to identify cross-cutting challenges related to traceability, documentation, connectivity, governance, and market access. As a result, smart contract components and web applications were designed and subsequently evaluated through scripted validation in a controlled local Ethereum environment, with the capture of transaction hashes, block numbers, emitted events, and read-only state queries, allowing the verification of functional correctness, record integrity, and system auditability. The results demonstrate the technical feasibility of immutable batch registration, traceable ownership transfers, cryptographic anchoring of supporting documents, and public verification through QR codes. From an analytical perspective, SELVA contributes to reducing informational asymmetries, increasing the visibility of local producers, and creating institutional conditions for more transparent models of governance and benefit-sharing in Amazonian sociobiodiversity chains. The validation performed corresponds to Technology Readiness Level 4 (TRL 4), establishing functional correctness and a reconstructible audit trail after data entry, but not demonstrating full legal enforcement or physical-digital authentication of the batch. As a practical implication, the thesis presents a replicable and auditable digital infrastructure, with potential evolution toward consortium environments and field pilots, capable of strengthening the governance of the Amazon bioeconomy by articulating technological innovation, protection of traditional knowledge, and sustainable development.

Keywords: Legal Traceability; Copaiba Oleoresin; Associated Traditional Knowledge; Amazon Bioeconomy; Blockchain; Smart Contracts; Supply Chain Governance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de Cadeia de Valor e Intervenção Tecnológica da Copaíba p. 27

Figura 2 – Cadeia Produtiva da Copaíba p. 37

Figura 3 – Copaíba no Amazonas: evolução da assistência formal e leitura do RAT 2025 p. 38

Figura 4 – Copaíba no Amazonas: distribuição territorial estimada em 2025 p. 39

Figura 5 – Critérios para Identificação de Repartição de Benefícios em Produtos com CTA p. 43

Figura 6 – Fluxograma PRISMA 2020 da revisão integrativa da literatura p. 49

Figura 7 – Fluxograma de Consenso Distribuído: Da Emissão da Transação à Validação no Livro Razão p. 62

Figura 8 – Etapa de cadastro inicial, registro de lote e anexação de evidências documentais no SELVA p. 76

Figura 9 – Etapa de validação institucional, verificação de conformidade e ancoragem do lote em Blockchain p. 77

Figura 10 – Etapa de transação comercial, logística de entrega e verificação final de autenticidade p. 77

Figura 11 – Tela inicial do Catálogo Marketplace (SELVA SERVICE) com destaque para a busca de ativos amazônicos p. 83

Figura 12 – Tela Inicial da Solução de Rastreabilidade das Cadeias Produtivas utilizando Tecnologia Blockchain p. 85

Figura 13 - Tela de Modal de Cadastro de Produto p. 86

LISTA DE SIGLAS

AWS – Amazon Web Services – p. 104

C4IRBrasil – Center for the Fourth Industrial Revolution in Brazil – p. 97

CTA – Conhecimento Tradicional Associado – p. 33

DSR – Design Science Research – p. 31

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – p. 38

FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – p. 93

FNDCT – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – p. 93

HTML – HyperText Markup Language – p. 103

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – p. 86

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – p. 50

IDAM – Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas – p. 86

IDE – Integrated Development Environment – p. 84

IoT – Internet of Things – p. 67

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – p. 36

IVA – Índice de Valores Amazônicos – p. 78

LGPD – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais – p. 45

MPV – Mínimo Produto Viável – p. 47

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – p. 67

OMPI – Organização Mundial da Propriedade Intelectual – p. 56

P2P – Peer-to-Peer – p. 60

PDF – Portable Document Format – p. 85

PFNMs – Produtos Florestais Não Madeireiros – p. 50

PI – Propriedade Intelectual – p. 70

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – p. 42

PWA – Progressive Web App – p. 104

QR Code – Quick Response Code – p. 76

RPC – Remote Procedure Call – p. 84

SELVA – Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos – p. 34

SEPROR – Secretaria de Estado de Produção Rural – p. 89

SHA-256 – Secure Hash Algorithm 256 bits – p. 85

SISGEN – Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – p. 55

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus – p. 89

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação – p. 58

TRL – Technology Readiness Level – p. 89

UFPA – Universidade Federal do Pará – p. 57

VFT – *Value-Focused Thinking* – p. 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Hierarquia de objetivos do SELVA segundo o *Value-Focused Thinking* p. 56

Tabela 2 - Principais transações em cadeia executadas na simulação SELVA e suas funções no fluxo de trabalho de rastreabilidade p. 92

Tabela 3 - Projeção de custos de transação para operações centrais do SELVA em cenários alternativos de implantação p. 93

Tabela 4 - Classificação dos dados do SELVA e estratégia de conformidade com a LGPD p. 95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das entrevistas semiestruturadas, gargalos identificados, valores/requisitos levantados e implicações para o desenho do SELVA p. 54

Quadro 2 - Posicionamento comparativo do SELVA em relação a implementações representativas de rastreabilidade por Blockchain. p. 71

Quadro 3 - Funções principais do contrato inteligente SELVA e sua finalidade na rastreabilidade do lote p. 74

Quadro 4 - Pilha tecnológica do protótipo SELVA e equivalentes de implantação em produção p. 79

Quadro 5 - Matriz de governança consorcial proposta para o SELVA p. 81

Quadro 6 - Categorias de validação técnica do SELVA p. 88

Quadro 7 - Síntese dos testes de prevenção e detecção de fraudes no protótipo SELVA p. 94

Quadro 8 - Protocolo de reprodutibilidade dos testes do SELVA p. 95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA	20
1.2. PRESSUPOSTOS.....	22
1.3. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	24
1.4. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	25
1.5. ESTRUTURA DA TESE	30
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	33
2.1. AMAZÔNIA, O CAPITAL NATURAL E OS PROCESSOS QUE CONSTITUEM A CADEIA PRODUTIVA DA COPAÍBA ..	33
2.2. A CADEIA PRODUTIVA DA COPAÍBA NA REGIÃO AMAZÔNICA.....	34
2.3. REGIME JURÍDICO DA CADEIA PRODUTIVA DA COPAÍBA: GESTÃO, RASTREABILIDADE E REPARTIÇÃO DE BENEFÍCIOS ORIUNDOS DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO.....	41
3. METODOLOGIA	46
3.1. ETAPA 1: ANÁLISE JURÍDICA E TEÓRICA DE CASOS DE USO DE BLOCKCHAIN EM PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS	47
3.2. ETAPA 2: DIAGNÓSTICO EMPÍRICO DA CADEIA PRODUTIVA DA COPAÍBA E ESTRUTURAÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO	49
3.2.1. CONTRIBUIÇÃO DAS ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS PARA O VFT E O DSR NA CONSTRUÇÃO DO SELVA.....	50
3.3. ETAPA 3: DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO TECNOLÓGICO SELVA.....	578
3.4. ETAPA 4: DEMONSTRAÇÃO, AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS RISCOS DA APLICAÇÃO TECNOLÓGICA.....	58
3.5. INTEGRAÇÃO DAS ETAPAS E ANÁLISE FINAL.....	58
4. A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN E OS CASOS DE USO EM CADEIAS PRODUTIVAS DE ATIVOS NATURAIS	59
4.1. TECNOLOGIA BLOCKCHAIN	59
4.1.1. O PROBLEMA DO ORÁCULO E A INTEGRIDADE FÍSICO-DIGITAL	65
4.1.2. QUATRO MITIGAÇÕES TÉCNICAS COMPLEMENTARES FORAM IDENTIFICADAS	65
4.2. CASOS DE USO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN EM CADEIAS PRODUTIVAS DE ATIVOS NATURAIS.....	667
4.3. CONDICIONANTES PARA A ADOÇÃO DA BLOCKCHAIN EM CADEIAS PRODUTIVAS AMAZÔNICAS	71
5. ARQUITETURA DA SOLUÇÃO PROPOSTA PARA CADEIA PRODUTIVA DA COPAÍBA: SISTEMA ESTRUTURADO LEGAL DE VALORES AMAZÔNICOS (SELVA).....	73
5.1. LINGUAGENS, FRAMEWORKS E AMBIENTES UTILIZADOS.....	79
5.2. CATÁLOGO DE ATIVOS NATURAIS	81
5.3. ÍNDICE DE VALORES AMAZÔNICOS	833
5.4. SEGURANÇA JURÍDICA DA TECNOLOGIA	844
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E LIMITES DA PROPOSTA	867

6.1.	IMPLEMENTAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTE DE TESTE (SIMULAÇÃO)	88
6.2.	AMBIENTE DE TESTE E ESCOPO DE VALIDAÇÃO.....	90
6.3.	AVALIAÇÃO E RESULTADOS REGISTRADOS	91
6.3.1.	ANÁLISE DE CUSTOS DE TRANSAÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA	92
6.4.	ÉTICA E PROTEÇÃO DE DADOS	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS		97
LIMITAÇÕES DA PESQUISA		100
REFERÊNCIAS		103
APÊNDICE I - CERTIFICADO DE REGISTRO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR DO SELVA.....		109
APÊNDICE II – REPOSITÓRIOS DE CÓDIGOS-FONTE		111
APÊNDICE III – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA APLICADO A ATORES DE CADEIAS PRODUTIVAS AMAZÔNICAS		113
APÊNDICE IV – SUMÁRIO EXECUTIVO		114
APÊNDICE V - MANUAL DE USO DA BLOCKCHAIN SELVA (V1.5)		116
APÊNDICE VI – POLÍTICA DE PRIVACIDADE.....		117
APÊNDICE VII – PROTOCOLO DE VALIDAÇÃO TÉCNICA E TABELAS DE SUPORTE		118

1. INTRODUÇÃO

A região amazônica, reconhecida mundialmente por sua vasta biodiversidade e riqueza cultural, desempenha um papel crucial não apenas na regulação do clima global, mas também como um reservatório vital de recursos naturais e conhecimentos tradicionais. No entanto, os modelos econômicos atuais têm falhado em endogeneizar a riqueza gerada na região, limitando o desenvolvimento sustentável e a valorização das comunidades locais. Essas comunidades, segundo Barbosa, Souza e Silva-Jean (2021), possuem um conhecimento ancestral transmitido oralmente, mas essa riqueza cultural e ecológica está sob ameaça devido à exploração descontrolada e à biopirataria.

Nesse cenário, as tecnologias disruptivas associadas à Quarta Revolução Industrial assumem crescente centralidade no debate contemporâneo acerca das possibilidades de enfrentamento de desafios sociais, econômicos e ambientais de elevada complexidade, inclusive no âmbito das cadeias produtivas situadas na Amazônia. Como assinala Schwab (2016), a Quarta Revolução Industrial distingue-se não apenas pela rapidez com que novas tecnologias se difundem, mas, sobretudo, pela profundidade de seus efeitos estruturais, resultantes da convergência entre os domínios físico, digital e biológico. Tal convergência reconfigura processos produtivos, institucionais e relacionais, ao mesmo tempo em que amplia as possibilidades de formulação de soluções voltadas à gestão de recursos naturais, à qualificação de fluxos informacionais e à construção de novos arranjos de governança compatíveis com as exigências do desenvolvimento sustentável.

Sob essa perspectiva, o desenvolvimento sustentável não deve ser compreendido de maneira restrita como simples exploração racional dos recursos naturais com vistas à sua preservação para as futuras gerações, mas como um paradigma mais amplo, apto a articular conservação ambiental, inovação tecnológica, inclusão social e valorização econômica em bases juridicamente orientadas. Nessa linha, Schwab e Davis (2018), ao examinarem aplicações concretas das tecnologias emergentes, destacam o potencial transformador de inovações no campo da biotecnologia, especialmente aquelas relacionadas ao sequenciamento genético e à edição biológica, cujos efeitos transcendem a dimensão estritamente técnica e alcançam esferas éticas, regulatórias, econômicas e jurídicas.

Em contextos marcados por elevada sensibilidade ecológica, sociocultural e normativa, como o amazônico, a incorporação dessas tecnologias exige exame crítico quanto às suas finalidades, limites e impactos, sobretudo quando incide sobre bens, saberes e recursos que integram cadeias produtivas vinculadas à biodiversidade. É nesse horizonte que se insere a presente investigação.

A tese parte da compreensão de que os problemas relacionados à gestão, à rastreabilidade e à governança de ativos naturais amazônicos não podem ser enfrentados apenas por meio de respostas normativas abstratas ou de soluções tecnológicas descontextualizadas. Por essa razão, adota-se uma abordagem aplicada e qualitativa, amparada em revisão bibliográfica e documental, bem como na análise de marcos legais, institucionais e operacionais incidentes sobre a cadeia produtiva da **Copaíba** (*Copaifera spp.*).

Ao mesmo tempo, a pesquisa incorpora uma perspectiva metodológica orientada à construção de solução, articulando, de um lado, o *Value-Focused Thinking* (VFT), para a identificação dos valores, interesses e objetivos estratégicos envolvidos, e, de outro, o *Design Science Research* (DSR), como fundamento para o desenvolvimento e a avaliação de um artefato tecnológico voltado à rastreabilidade e à integridade informacional. Essa opção metodológica permite que a investigação transite da compreensão do problema à proposição estruturada de respostas possíveis, preservando o vínculo entre teoria, contexto empírico e desenho institucional da solução.

A questão central não é se Blockchain já foi aplicado à rastreabilidade, pois a literatura demonstra amplamente que sim, conforme discutido no Capítulo 4. A questão é se o contexto amazônico representa apenas uma instância mais difícil dos problemas já estudados ou se impõe requisitos de design genuinamente novos. Argumenta-se, com base em comparação sistemática da literatura, pela segunda posição.

O contexto dos produtos florestais não madeireiros (PFNMs) amazônicos introduz ao menos quatro requisitos de design sem precedente adequado na literatura de rastreabilidade por Blockchain: (i) fragmentação documental multiautoritária, em que a conformidade legal da copaíba exige verificação simultânea de autorizações do IBAMA, cotas do IDAM, Planos de Manejo Florestal Comunitário e, quando aplicável,

registro no SisGen, considerando que esses sistemas são mantidos por autoridades distintas e não interoperáveis; (ii) informalidade radical dos atores, em que produtores primários frequentemente carecem de registro formal, conta bancária e conectividade; (iii) dupla obrigação legal de conformidade, com o licenciamento ambiental e a conformidade com o patrimônio genético (Protocolo de Nagoia/SisGen), que se aplicam simultaneamente sob legislação e agências distintas; e (iv) operação em território remoto com conectividade intermitente ou ausente, exigindo arquitetura de captura offline com sincronização posterior. Esses quatro requisitos, considerados em conjunto, definem um espaço de design qualitativamente distinto dos casos estudados na literatura e norteiam a arquitetura proposta para o SELVA.

Nessa direção, a análise desenvolvida ao longo da tese examina, inicialmente, as especificidades da Amazônia, do capital natural e dos processos que conformam a cadeia produtiva da copaíba, para, em seguida, enfrentar o regime jurídico aplicável à gestão, à rastreabilidade e à repartição de benefícios oriundos do conhecimento tradicional associado. Na sequência, discute-se a tecnologia Blockchain e seus casos de uso em cadeias produtivas de ativos naturais, criando as bases conceituais para a apresentação da arquitetura da solução proposta.

Assim, de maneira progressiva, a pesquisa sustenta a hipótese de que determinadas arquiteturas tecnológicas, quando concebidas em diálogo com os valores das partes interessadas, com os limites regulatórios e com as particularidades socioterritoriais amazônicas, podem contribuir para o aprimoramento de mecanismos de governança, verificação de origem e coordenação institucional em cadeias produtivas baseadas na sociobiodiversidade.

1.1. Problema e Questão de Pesquisa

Dentre as tecnologias disruptivas da Quarta Revolução Industrial, destaca-se a tecnologia Blockchain, que pode ser utilizada para registrar cada etapa do processo produtivo, desde a origem até a comercialização, de forma perene, imutável, auditável e segura (Friedman; Ormiston, 2022). Isso inclui o registro de informações sobre localização, técnicas utilizadas, agentes intermediários envolvidos e condições de comercialização.

Em relação ao potencial de aplicação da tecnologia Blockchain na gestão e proteção dos recursos naturais, Friedman; Ormiston (2022) destacam o caráter

disruptivo dessa tecnologia, especialmente no contexto da tokenização de ativos ambientais, como aqueles presentes na Amazônia. O relatório sublinha que a implantação de Blockchain, aliada a contratos inteligentes, pode transformar setores econômicos, industriais e de governança, ao permitir novas formas de registro, verificação e circulação de valor em sistemas de recursos naturais até então subutilizados.

Nesse sentido, surgem oportunidades para a criação de uma bioeconomia inclusiva, capaz de valorizar florestas intactas, estruturar mercados para ativos naturais e conferir maior transparência às relações econômicas estabelecidas em torno da biodiversidade. Essa abordagem sugere que a tecnologia não apenas facilita a gestão de tais ativos, mas também pode contribuir para sua monetização sustentável, desde que associada a mecanismos de governança, rastreabilidade, conformidade socioambiental e repartição justa de benefícios (Friedman; Ormiston, 2022; World Economic Forum, 2018).

Outrossim, a copaíba, árvore nativa da floresta amazônica, destaca-se por suas propriedades terapêuticas e econômicas, sendo seu óleo-resina, quando extraído de forma sustentável por meio de técnicas tradicionais e comunitárias, amplamente utilizado em diferentes setores, incluindo a medicina popular, a cosmética e a indústria farmacêutica. O óleo-resina de copaíba possui reconhecido histórico de uso medicinal, com destaque para propriedades anti-inflamatórias, cicatrizantes e antimicrobianas, além de apresentar relevância econômica como produto florestal não madeireiro de interesse para mercados regionais, nacionais e internacionais (Veiga Junior; Maciel, 2020; Miranda *et al.*, 2025).

A cadeia produtiva da copaíba, que se estende desde a extração do óleo-resina até o seu uso final, envolve diversos atores, incluindo comunidades extrativistas, intermediários, organizações produtivas, indústrias e consumidores finais. Essa cadeia, contudo, ainda apresenta desafios associados à informalidade, à baixa padronização das informações, à fragilidade dos mecanismos de rastreabilidade e à limitada captura de valor pelos atores situados na origem da produção. Tais características tornam necessária a construção de instrumentos capazes de qualificar a governança, documentar a origem do produto e assegurar maior transparência nas

relações econômicas e jurídicas estabelecidas ao longo da cadeia (Maciel, 2020; Vasconcelos, 2024).

Essa perspectiva traz uma reflexão importante para o contexto da cadeia produtiva da copaíba, uma vez que a tokenização de seus produtos pode representar um avanço na garantia da rastreabilidade, da autenticidade e da valorização do Conhecimento Tradicional Associado (CTA). Todavia, essa possibilidade deve ser compreendida de forma crítica, pois a tecnologia somente produzirá efeitos socialmente legítimos se estiver vinculada a mecanismos jurídicos de consentimento, repartição de benefícios, proteção de dados e governança comunitária.

Considerando que a região amazônica é uma das áreas mais ricas em biodiversidade do mundo e abriga uma herança cultural singular, composta por práticas e conhecimentos transmitidos entre gerações, e considerando ainda que a cadeia produtiva de um recurso de valor, como a copaíba, necessita de agregação de valor, padronização de informações, rastreabilidade e melhor distribuição dos benefícios oriundos de sua exploração econômica, este estudo foi pautado na seguinte questão norteadora: de que forma a tecnologia Blockchain pode viabilizar a proteção legal do Conhecimento Tradicional Associado à cadeia produtiva da copaíba (*Copaifera spp.*) na Amazônia brasileira?

1.2. Pressupostos

A Amazônia, por reunir uma das maiores diversidades biológicas do planeta e abrigar uma expressiva pluralidade de povos indígenas, comunidades tradicionais e populações locais, constitui um território estratégico e, simultaneamente, um espaço de elevada complexidade para a formulação de políticas, tecnologias e arranjos institucionais voltados à sustentabilidade. Tal complexidade decorre da sobreposição de territorialidades, interesses econômicos, demandas socioambientais e formas distintas de apropriação dos recursos naturais. Nesse sentido, Becker (2009) observa que a elaboração de políticas públicas para a região exige compreender os processos de transformação territorial em curso, reconhecendo as novas territorialidades como componentes essenciais ao desenvolvimento regional sustentável.

De modo complementar, Rocha (2024) chama atenção para a histórica dificuldade de integração da Amazônia como parte essencial do projeto nacional, associando esse problema a gargalos logísticos, limitações de infraestrutura e à

persistência de soluções superficiais que nem sempre atendem às necessidades reais da população amazônica. Assim, os atores públicos, privados e comunitários que atuam na região enfrentam o desafio de implementar ações capazes de mitigar impactos socioambientais negativos, promover a conservação dos ecossistemas e melhorar, de forma efetiva, as condições de vida das populações amazônicas.

Sem um sistema de rastreamento eficaz, torna-se mais desafiador o combate as atividades ilegais envolvidas nesta cadeia, assim como fica mais difícil garantir que os benefícios advindos da exploração dos recursos naturais retornem tanto às comunidades tradicionais, em termos de bem-estar das comunidades locais, quanto aos consumidores, em termos de qualidade e procedência dos produtos adquiridos. A tecnologia Blockchain, inicialmente desenvolvida como a base do *Bitcoin*, surge como ferramenta que viabiliza a criação de registros digitais imutáveis e transparentes, ideais para rastreamento de transações e ativos, podendo, por exemplo, registrar informações sobre a origem e o uso dos recursos naturais através de um sistema de rastreabilidade que assegura a autenticidade e a origem sustentável dos produtos.

Uma revisão preliminar da literatura realizada na primeira fase deste estudo possibilitou assumir cinco pressupostos para a questão apresentada:

1. Os principais atributos necessários para a implementação da tecnologia Blockchain em cadeias produtivas de ativos naturais são semelhantes aos identificados em estudos de cadeias produtivas tradicionais e tecnologias de rastreamento.

2. Na literatura sobre o uso de Blockchain em cadeias produtivas de ativos naturais, predominam estudos que tratam de sua aplicação em indústrias agrícolas e de recursos naturais, com escassa abordagem sobre o Conhecimento Tradicional Associado (CTA) e sua integração em cadeias produtivas.

3. As diferentes percepções sobre a aplicação de Blockchain decorrem não apenas do conhecimento técnico dos produtores e das comunidades envolvidas, mas também dos níveis de entendimento sobre tecnologia e dos diferentes graus de maturidade das cadeias produtivas locais, especialmente nas áreas rurais e tradicionais da Amazônia.

4. Existe uma crescente demanda por sistemas de rastreabilidade que assegurem a autenticidade e a origem sustentável dos produtos amazônicos, mas ainda há desafios significativos na implementação de tais sistemas em ambientes remotos e de baixa infraestrutura.

5. Não há, atualmente, uma rede estruturada de uso de Blockchain especificamente voltada para a cadeia produtiva da copaíba ou para outros ativos naturais da Amazônia, sendo um sistema estruturado legal de valores amazônicos (SELVA) uma proposta inovadora para preencher essa lacuna.

O presente trabalho analisa como a tecnologia Blockchain pode ser empregada para fortalecer a proteção legal do Conhecimento Tradicional Associado (CTA) à cadeia produtiva da Copaíba na região amazônica, sob um sistema estruturado legal de valores amazônicos (SELVA) Ao explorar potenciais aplicações da tecnologia Blockchain, a partir de análises de casos de uso em cadeias produtivas, este estudo busca fornecer uma proposta inovadora para garantir a autenticidade e rastreabilidade de ativos naturais da Amazônia, como os produtos de copaíba, salvaguardando, assim, os direitos das comunidades tradicionais e criando um ambiente de negócios mais ético, transparente e inclusivo.

A capacidade de armazenamento de dados e informações de forma perene, transparente e auditável torna o Blockchain uma solução potencial para proteger o conhecimento tradicional e garantir a autenticidade dos produtos que tem como matéria-prima a Copaíba, da Amazônia. Ainda, neste trabalho serão examinadas situações concretas (cases) em que a Tecnologia Blockchain possibilita a geração de novos relacionamentos comerciais e jurídicos, especialmente em relação à Propriedade Intelectual, gestão de rastreabilidade e *tokenização* de ativos ambientais. Assim, será avaliado como a tecnologia Blockchain pode ser utilizada para criar sistemas de comércio justo e transparente para os produtos da Amazônia, garantindo que os produtores locais recebam um preço justo pelos seus produtos, além de obterem acesso a informações que garantem mais previsibilidade de produção e comercialização.

1.3. Objetivos da pesquisa

Analisar de que forma a tecnologia Blockchain pode contribuir para a proteção legal do Conhecimento Tradicional Associado à cadeia produtiva da copaíba

na Amazônia brasileira, por meio da proposição do Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos — SELVA.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- (i) Analisar os fundamentos jurídicos e os casos de uso da tecnologia Blockchain em projetos socioambientais, com vistas a identificar requisitos, potencialidades e limitações aplicáveis à proteção do conhecimento tradicional associado em cadeias produtivas amazônicas.
- (ii) Caracterizar a estrutura e os principais gargalos da cadeia produtiva da copaíba na Amazônia, com ênfase em aspectos jurídicos, organizacionais, informacionais e econômicos que afetam sua governança e rastreabilidade.
- (iii) Propor e estruturar o Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos (SELVA) como modelo de governança e rastreabilidade legal voltado à cadeia produtiva da copaíba, orientado à proteção do conhecimento tradicional associado e à qualificação dos registros da cadeia.
- (iv) Discutir os limites, riscos e condicionantes da aplicação da tecnologia Blockchain no contexto amazônico, especialmente quanto à dependência tecnológica, inclusão digital, infraestrutura, conformidade regulatória e viabilidade institucional da solução proposta.

1.4. Justificativa da Pesquisa

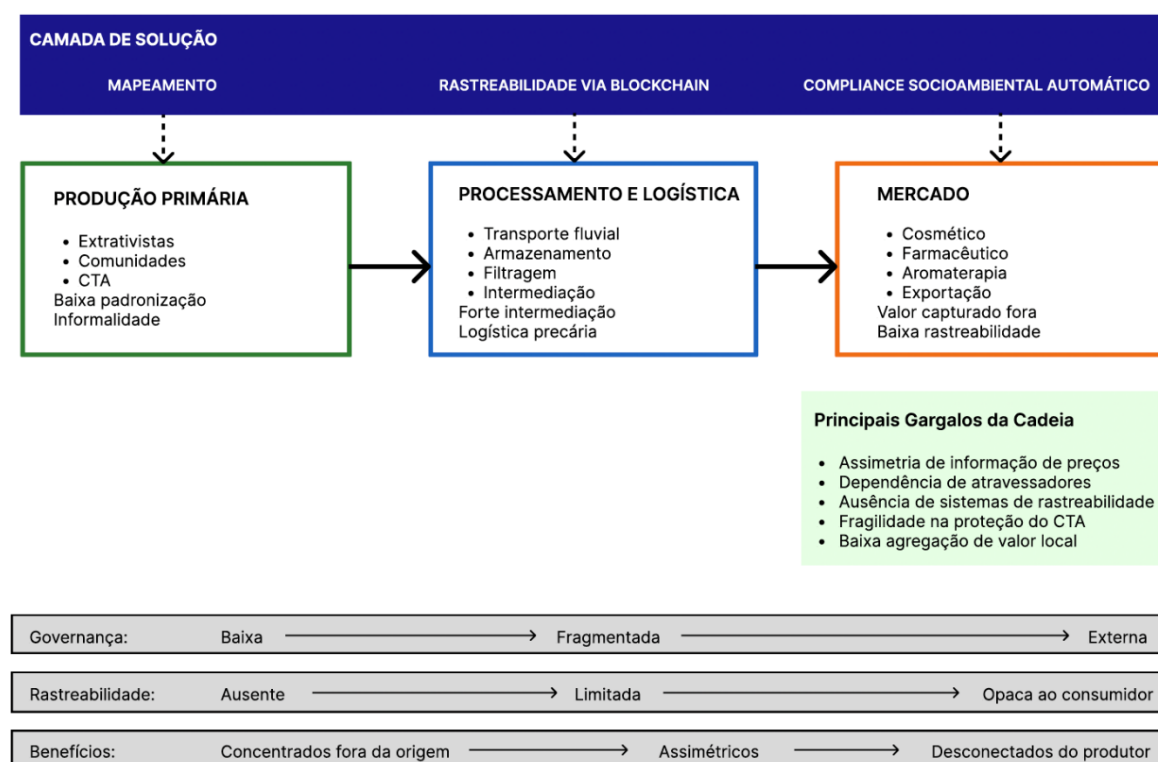
A proposta de utilização do Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos (SELVA) na cadeia produtiva da copaíba parte do reconhecimento de que a tecnologia Blockchain pode contribuir para qualificar a governança, a rastreabilidade e a proteção jurídico-econômica de ativos naturais amazônicos. A literatura recente indica que essa tecnologia possui potencial para ampliar a transparência, a verificabilidade da origem, a integridade dos registros e a coordenação entre múltiplos agentes em cadeias produtivas complexas, sobretudo quando há baixa confiança institucional, forte intermediação e fragmentação informacional. No entanto, embora estudos internacionais e aplicações setoriais já tenham demonstrado a utilidade da Blockchain em cadeias agroalimentares, certificações e governança de dados, ainda permanece insuficientemente explorada, no campo científico brasileiro, a sua aplicação articulada ao regime jurídico da biodiversidade, à proteção do conhecimento tradicional associado e às

especificidades territoriais da cadeia produtiva da copaíba na Amazônia. Essa é, precisamente, a lacuna que a presente tese busca enfrentar.

Do ponto de vista científico, a principal contribuição desta pesquisa consiste em propor e avaliar uma arquitetura sociotécnica aplicada a um problema concreto de rastreabilidade legal e governança informacional em cadeia produtiva da sociobiodiversidade. A tese não se limita, portanto, a reproduzir discussões gerais sobre inovação ou sobre usos abstratos da Blockchain, mas procura avançar na integração entre análise jurídica, estruturação de objetivos por *Value-Focused Thinking* e desenvolvimento de artefato tecnológico orientado por *Design Science Research*. Ao fazê-lo, oferece contribuição original ao debate interdisciplinar sobre bioeconomia, propriedade intelectual, governança da biodiversidade e transformação digital de cadeias produtivas amazônicas, além de produzir um modelo analítico e aplicado com potencial de replicabilidade em outros contextos de ativos naturais e conhecimento tradicional associado.

A Figura 1 apresenta um diagnóstico sintético da cadeia produtiva da copaíba no Amazonas, evidenciando seus principais gargalos estruturais ao longo dos elos de produção primária, processamento/logística e mercado. O fluxo demonstra que a cadeia é marcada por baixa padronização na origem, forte intermediação, precariedades logísticas, reduzida rastreabilidade e captura assimétrica de valor, o que contribui para a opacidade das transações e para a fragilidade na proteção do conhecimento tradicional associado.

Figura 1 – Fluxograma de Cadeia de Valor e Intervenção Tecnológica da Copaíba.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2026), com base em Homma (2014).

Na parte superior, a denominada camada de solução representa a contribuição proposta por esta pesquisa, ao indicar a incorporação progressiva de mecanismos de mapeamento, rastreabilidade via Blockchain e compliance socioambiental automatizado, com o objetivo de qualificar a governança da cadeia, reduzir falhas informacionais e fortalecer instrumentos de transparência, verificação e repartição mais justa de benefícios.

Sob a perspectiva econômica, a adoção de mecanismos de rastreabilidade e padronização informacional pode contribuir para reduzir assimetrias de informação, ampliar a confiabilidade dos dados da cadeia, melhorar a verificação de origem e favorecer a agregação de valor aos produtos vinculados à copaíba. Em uma cadeia caracterizada por forte intermediação, baixa padronização na origem e captura assimétrica de valor, a melhoria da qualidade dos registros e da transparência das transações tende a fortalecer a posição de produtores locais e a ampliar as condições de acesso a mercados mais exigentes em termos de conformidade, autenticidade e sustentabilidade. A própria narrativa do problema construída na tese identifica, entre os entraves centrais, a extração ilegal, a opacidade dos preços e a dificuldade de

verificação de origem, fatores que comprometem o desempenho econômico e a captura local de valor.

Do ponto de vista social, o ganho potencial mais relevante está relacionado ao fortalecimento de mecanismos de proteção do conhecimento tradicional associado e à criação de condições mais transparentes para repartição justa e equitativa de benefícios. Em cadeias produtivas amazônicas, o valor não reside apenas no bem material comercializado, mas também nos saberes, práticas e formas de uso historicamente desenvolvidos por comunidades indígenas, ribeirinhas e extrativistas. Nesse contexto, sistemas capazes de registrar, vincular e verificar informações relevantes ao longo da cadeia podem contribuir para reduzir a invisibilidade desses atores, ampliar sua participação qualificada e oferecer suporte a arranjos mais justos de reconhecimento e distribuição de benefícios, em conformidade com o marco regulatório da biodiversidade.

No plano organizacional e institucional, os ganhos esperados dizem respeito à melhoria da coordenação entre os diferentes elos da cadeia, ao fortalecimento das trilhas de auditoria, à padronização de registros e à criação de bases mais robustas para monitoramento, conformidade e tomada de decisão. A literatura revisada na tese já indica que a utilidade da Blockchain não se restringe ao registro de transações, alcançando também o monitoramento de conformidade, a melhoria da qualidade da informação e a coordenação entre múltiplos atores. No caso da cadeia da copaíba, tais efeitos são especialmente relevantes diante da fragmentação da governança, da precariedade logística e da ausência de sistemas integrados de rastreabilidade. A contribuição organizacional do SELVA, nesse sentido, reside em propor uma infraestrutura de registros verificáveis que possa apoiar práticas de gestão mais coordenadas e institucionalmente aderentes à realidade amazônica.

No âmbito do PPGBIOTEC, a contribuição da pesquisa reside na articulação entre biotecnologia, governança da biodiversidade e infraestrutura digital de rastreabilidade. Ao propor o SELVA como modelo aplicado à cadeia da copaíba, a tese contribui para o desenvolvimento de mecanismos capazes de organizar dados sobre ativos naturais, origem, documentação, conformidade e circulação econômica,

elementos essenciais para cadeias baseadas em patrimônio genético, produtos florestais não madeireiros e conhecimento tradicional associado.

Isso não significa, contudo, que a incorporação da tecnologia deva ser tratada de forma acrítica. A implementação de soluções baseadas em Blockchain também envolve riscos e desafios relevantes. Entre eles, destacam-se a possibilidade de uso instrumental da tecnologia para intensificar a exploração econômica sem correspondência com a proteção socioambiental, a dependência de infraestruturas e soluções tecnológicas exógenas, a limitação de conectividade em territórios remotos, a exclusão digital, a diversidade cultural e linguística das comunidades envolvidas e a necessidade de construção de processos efetivos de participação local. Soma-se a isso o fato de que a própria literatura recente adverte para obstáculos relativos à interoperabilidade, escalabilidade, privacidade de dados e necessidade de validação empírica em contextos reais. Por essa razão, no âmbito desta tese, a Blockchain não é compreendida como solução autossuficiente, mas como infraestrutura sociotécnica cuja utilidade depende de sua adequação ao contexto normativo, territorial, comunitário e institucional da Amazônia.

É justamente nessa tensão entre potencial transformador e limites concretos de implementação que se situa a relevância da presente investigação. A tese parte da hipótese de que a cadeia produtiva da copaíba carece de mecanismos mais estruturados de governança informacional, rastreabilidade legal e proteção de ativos tangíveis e intangíveis, e que essa insuficiência compromete, simultaneamente, a eficiência econômica, a justiça distributiva e a capacidade organizacional da cadeia. Ao propor o SELVA como arquitetura voltada à padronização de dados, à transparência verificável e à articulação entre compliance socioambiental, rastreabilidade e proteção do conhecimento tradicional associado, a pesquisa busca preencher uma lacuna científica e aplicada ainda pouco enfrentada no contexto amazônico: a ausência de modelos integrados que conectem tecnologia emergente, regime jurídico da biodiversidade e governança de cadeias produtivas da sociobiodiversidade.

Por essa razão, o aprimoramento da governança dos ativos naturais amazônicos exige mais do que iniciativas isoladas ou soluções discursivamente

inovadoras. Exige a formulação de modelos estruturados, coordenados e orientados por finalidade pública e valor coletivo, capazes de articular inovação tecnológica, desenho institucional e sustentabilidade.

Nessa linha, Mazzucato (2014) adverte que processos de inovação efetiva dependem de arranjos capazes de transformar intenções genéricas em capacidades organizadas de intervenção. A literatura recente também recomenda cautela analítica: embora a Blockchain apresente potencial significativo para ampliar transparência, rastreabilidade e confiança, sua implementação ainda enfrenta desafios relativos à interoperabilidade, à escalabilidade, à privacidade dos dados, à padronização regulatória e à necessidade de maior validação empírica em contextos reais.

Assim, é possível concluir que a cadeia produtiva da Copaíba na Região Amazônica apresenta uma relevância estratégica significativa, tanto sob a perspectiva socioeconômica quanto ambiental. Neste sentido, conforme dispõe Mavilia e Pisani (2022), a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) melhora o grau de eficácia e eficiência nos processos de coleta, armazenamento, análise e uso de dados em setores como o agrícola.

Para isto, será analisado neste trabalho de que forma as cadeias produtivas na Amazônia, notadamente a cadeia produtiva da copaíba, podem, através da integração com a Blockchain e os Contratos Inteligentes, impactar e gerar resultados na agregação de valor e na gestão digital mais eficiente de ativos da região com novos mercados e saberes.

1.5. Estrutura da Tese

No Capítulo 2, contextualizo a Amazônia como território estratégico de capital natural e analiso os processos que estruturam a cadeia produtiva da copaíba. Nesse capítulo, examino a relevância econômica, ecológica e sociocultural da biodiversidade amazônica, os usos tradicionais e comerciais da copaíba e os principais desafios enfrentados por essa cadeia produtiva, especialmente aqueles relacionados à extração sustentável, à informalidade, à baixa rastreabilidade, à agregação de valor e à proteção do conhecimento tradicional associado às comunidades locais.

No Capítulo 3, apresenta-se o percurso metodológico adotado na pesquisa. Nesse capítulo, explico a natureza aplicada, qualitativa, exploratória, descritiva e propositiva do estudo, bem como a articulação entre revisão integrativa da literatura, análise documental, entrevistas semiestruturadas, *Value-Focused Thinking* e *Design Science Research*. Também descrevo as etapas metodológicas que orientaram a construção do diagnóstico, a definição dos requisitos da solução, o desenvolvimento do artefato e a avaliação crítica dos limites e riscos associados à aplicação da Blockchain no contexto amazônico.

No Capítulo 4, analisa-se a tecnologia Blockchain e seus casos de uso em cadeias produtivas de ativos naturais. Para isso, discuto seus fundamentos técnicos, suas possibilidades de aplicação em rastreabilidade, integridade informacional, auditabilidade e governança de cadeias produtivas, bem como experiências aplicadas em contextos socioambientais. O capítulo também examina os limites, riscos e condicionantes da adoção dessa tecnologia, especialmente diante de desafios relacionados à interoperabilidade, escalabilidade, privacidade de dados, dependência tecnológica, acessibilidade e adequação às realidades territoriais da Amazônia.

No Capítulo 5, descreve-se a arquitetura da solução proposta nesta tese: o Sistema Estruturado Legal de Valores Amazônicos (SELVA). Nesse capítulo, apresento a estrutura conceitual e operacional do sistema, suas funcionalidades, seu modelo de governança e sua articulação com a tecnologia Blockchain. Demonstro, ainda, como o SELVA foi concebido para qualificar a rastreabilidade da copaíba, fortalecer a integridade das informações registradas, apoiar a validação de origem e criar condições para maior transparência na circulação de ativos da sociobiodiversidade amazônica.

No Capítulo 6, discute-se os resultados alcançados, os limites da proposta e as possibilidades de aperfeiçoamento do SELVA. A partir da revisão da literatura, das entrevistas realizadas, da modelagem metodológica e da validação técnica do artefato em ambiente controlado, analiso em que medida a solução proposta responde aos problemas de governança informacional identificados na cadeia da copaíba. Também examino o estágio atual de maturidade tecnológica do SELVA, suas

funcionalidades já demonstradas, seus riscos de implementação e sua possível replicabilidade em outras cadeias produtivas da sociobiodiversidade.