



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica & Escola de Química

Programa de Engenharia Ambiental

Nayra Gomes Nicolau Almeida da Silva

MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADA À RECOMPOSIÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA: UMA ANÁLISE DA EFETIVIDADE DAS POLÍTICAS
PÚBLICAS NO ESTADO DO PARÁ

Rio de Janeiro

2025



UFRJ

Nayra Gomes Nicolau Almeida da Silva

MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADA À RECOMPOSIÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA: UMA ANÁLISE DA EFETIVIDADE DAS POLÍTICAS
PÚBLICAS NO ESTADO DO PARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Maria Fernanda S. Quintela da C. Nunes

Rio de Janeiro
2025

Silva, Nayra Gomes Nicolau Almeida da.

Modelagem da dinâmica de sistemas aplicada à recomposição da vegetação nativa: uma análise da efetividade das políticas públicas no estado do Pará / Nayra Gomes Nicolau Almeida da Silva. – 2025.

51 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2025.

Orientadora: Maria Fernanda S. Quintela da C. Nunes

1. Recomposição florestal. 2. Políticas públicas. 3. Desmatamento. 4. Dinâmica de sistemas. I. Nunes, Maria Fernanda S. Quintela da C. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



UFRJ

MODELAGEM DA DINÂMICA DE SISTEMAS APLICADA À RECOMPOSIÇÃO DA
VEGETAÇÃO NATIVA: UMA ANÁLISE DA EFETIVIDADE DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NO
ESTADO DO PARÁ

Nayra Gomes Nicolau Almeida da Silva

Maria Fernanda S. Quintela da C. Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Maria Fernanda S. Quintela da C. Nunes, D.Sc., UFRJ

Cristina Aparecida Gomes Nassar, D.Sc., UFRJ

Sérgio Luiz Costa Bonecker, D.Sc., UFRJ

Claudia Moster Barros, D.Sc., USP



Documento assinado digitalmente
CLAUDIA MOSTER
Data: 08/10/2025 18:29:33-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rio de Janeiro
2025

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo o apoio incondicional, incentivo e por cada gesto de carinho, apoio e compreensão ao longo desta caminhada. Obrigada por segurarem a onda nos momentos em que precisei me ausentar e me dedicar intensamente a este trabalho. Essa conquista também é de vocês.

À minha orientadora, professora Maria Fernanda, por me incentivar constantemente, por toda atenção dedicada ao longo do processo e pelas contribuições e orientações valiosas que enriqueceram expressivamente esta dissertação. Sua orientação cuidadosa, apoio e comprometimento foram fundamentais para que este trabalho ganhasse consistência e profundidade.

Aos colegas da turma do mestrado do PEA, por toda colaboração e pelas trocas generosas ao longo desses anos. Os esclarecimentos e o apoio mútuo facilitaram a caminhada e tornaram o percurso mais leve e possível.

RESUMO

SILVA, Nayra. **Modelagem da dinâmica de sistemas aplicada à recomposição da vegetação nativa: uma análise da efetividade das políticas públicas no estado do Pará.** Rio de Janeiro, 2025. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A presente dissertação investigou os fatores institucionais, socioeconômicos e territoriais que afetam a efetividade das políticas públicas de recomposição da vegetação nativa no estado do Pará, considerando os compromissos ambientais assumidos pelo Brasil. A pesquisa combinou análise normativa, levantamento de dados empíricos e modelagem qualitativa por meio da Dinâmica de Sistemas. Os resultados evidenciam que, embora o Pará ocupe posição de destaque entre os estados com maior área restaurada, a escala das ações é extremamente limitada frente à dimensão do passivo ambiental acumulado. Entre 2018 e 2023, o estado registrou mais de 13,7 milhões de hectares desmatados, enquanto as áreas restauradas somam apenas 7,9 mil hectares. A análise integrada de dados sobre desmatamento, degradação e recomposição revelou um desequilíbrio estrutural entre perda e restauração da cobertura vegetal. Através do Diagrama de Enlace Causal, pôde-se identificar os principais ciclos de feedback que regulam essa dinâmica, apontando entraves como insegurança fundiária, baixa capilaridade municipal, custos elevados e conflitos com atividades econômicas. Em contraste, experiências bem-sucedidas em outros estados demonstram a importância de políticas públicas locais robustas, incentivos financeiros e articulação institucional. Conclui-se que a recomposição no Pará exige estratégias mais integradas, territorializadas e orientadas por análises sistêmicas capazes de apoiar o desenho de políticas públicas mais eficazes e em conformidade com as metas nacionais de recuperação ambiental.

Palavras-chave: recomposição florestal; políticas públicas; desmatamento; dinâmica de sistemas.

ABSTRACT

SILVA, Nayra. **Native vegetation restoration in Pará: a systemic analysis of public policies**. Rio de Janeiro, 2025. Dissertation (Master's) – Environmental Engineering Program, Polytechnic School and School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

This dissertation investigated the institutional, socioeconomic, and territorial factors that affect the effectiveness of public policies for native vegetation restoration in the state of Pará, considering Brazil's environmental commitments. The research combined policy analysis, empirical data collection, and qualitative modeling through System Dynamics. The results show that, although Pará stands out among the states with the largest restored areas, the scale of restoration efforts remains extremely limited in comparison to the environmental debt. From 2018 to 2023, the state recorded over 13.7 million hectares of deforested land, while only 7.9 thousand hectares have been restored. The integrated analysis of deforestation, degradation, and restoration data revealed a structural imbalance between vegetation loss and restoration efforts. Through the Causal Loop Diagram, it was possible to identify key feedback cycles that regulate this dynamic, highlighting constraints such as land tenure insecurity, limited municipal capacity, high costs, and land-use conflicts. In contrast, successful experiences in other states demonstrate the importance of strong local policies, financial incentives, and institutional coordination. It is concluded that native vegetation restoration in Pará requires more integrated and territorialized strategies, supported by systemic analyses that can inform more effective public policy design in line with national environmental restoration goals.

Keywords: forest restoration; public policy; deforestation; system dynamics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área desmatada nos estados da Amazônia Legal (em hectares), 2018–2023.	34
Tabela 2 - Síntese dos principais indicadores do Pará (2018–2024).	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dez municípios brasileiros com maior área restaurada (em mil hectares), até setembro/2024.....	35
Figura 2 - Dez municípios paraenses com maior área reflorestada.....	36
Figura 3 - Diagrama de Enlace Causal ilustrando os ciclos de retroalimentação (feedback) que afetam a efetividade das políticas de recomposição da vegetação nativa no estado do Pará.	42

SUMÁRIO

1.	Introdução	11
2.	Objetivos	13
2.1.	Objetivo geral	13
2.2.	Objetivos específicos	14
3.	Justificativa	14
4.	Revisão de literatura.....	16
4.1.	Recomposição Vegetal no Estado do Pará: contexto e fatores determinantes.....	16
4.2.	Ciclos de Feedback e Diagrama de Enlace Causal (DEC).....	18
4.3.	Levantamento da legislação relacionada à recomposição da vegetação nativa	20
4.3.1.	Esfera federal.....	20
4.3.2.	Esfera estadual.....	22
4.4.	Políticas públicas e iniciativas de incentivo à recomposição florestal no estado do Pará 25	
4.5.	Recomposição da vegetação nativa em APP ou RL	27
5.	Metodologia	30
5.1.	Abordagem Geral.....	30
5.2.	Etapas da Pesquisa	30
5.2.1.	Levantamento e Sistematização de Dados Secundários	30
5.2.2.	Construção do Diagrama de Enlace Causal (DEC)	32
5.2.3.	Análise Qualitativa e Interpretação Sistêmica	32
5.3.	Critérios para a Seleção das Variáveis.....	33
5.4.	Limitações da Metodologia	33
6.	Resultados e discussão	33
6.1.	Dinâmica do Desmatamento e da Degradação Ambiental na Amazônia Legal	33
6.2.	Panorama da recomposição florestal no estado do Pará	35
6.3.	Comparação entre a Supressão e a Recomposição da Vegetação Nativa	38
6.4.	Modelo Sistêmico da Recomposição da Vegetação Nativa no Pará.....	39
6.4.1.	Variáveis do Modelo Sistêmico.....	40
6.4.2.	Ciclos de Feedback Identificados	41
6.5.	Síntese Interpretativa	44
7.	Conclusões	44

1. Introdução

O Brasil destaca-se mundialmente pela elevada diversidade biológica, que concentra aproximadamente um quinto das espécies conhecidas mundialmente, e registra altos índices de endemismo em diferentes grupos taxonômicos (MMA, 2021). Assim, embora essa condição proporcione ao país expressivas oportunidades, especialmente de caráter econômico, torna-se igualmente essencial fortalecer o compromisso com a preservação de seus recursos naturais (SILVA, 2011).

Os recursos naturais sempre desempenharam papel fundamental no progresso das sociedades. Eles integram a paisagem geográfica, podendo ser tangíveis ou intangíveis, e se caracterizam por não terem sofrido transformações significativas pelo trabalho humano e por se formarem independentemente da ação antrópica. Ainda assim, ao longo do tempo, foram-lhes atribuídos valor econômico, social e cultural (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A conservação e a preservação das áreas de vegetação nativa permitem que os serviços ambientais fornecidos pela natureza, entre eles a ciclagem de nutrientes, a proteção de bacias hidrográficas, o sequestro de carbono, a manutenção da disponibilidade e qualidade da água, bem como serviços ecossistêmicos, a exemplo do controle de pragas, da polinização de plantas cultivadas ou de espécies silvestres e da proteção de recursos hídricos, continuem ocorrendo de forma equilibrada (SILVA, 2011; EMBRAPA, 2021).

Nesse contexto, a Amazônia, que é o maior bioma brasileiro, se destaca por apresentar grande riqueza de recursos naturais. Além de conter o mais vasto estoque de madeira tropical existente no planeta, apresenta volumosos estoques de castanha, borracha, minérios, peixe, dentre outros (MMA, 2021).

A despeito de toda riqueza, as taxas de desmatamento da Amazônia são crescentes. Inicialmente, as áreas florestadas sofreram grande pressão devido à expansão demográfica. Posteriormente, da década de 1990 em diante, a região passou a ser utilizada como fonte para a obtenção de *commodities*, especialmente minérios, madeira, carne e, mais recentemente, grãos, destinadas ao mercado exterior (BRASIL, 2015).

Sendo assim, o estabelecimento de áreas legalmente protegidas, como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL), tem como objetivo garantir a conservação da biodiversidade, em consonância com o uso dos recursos naturais.

Segundo a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, APPs são faixas de vegetação que protegem recursos hídricos, a paisagem e a biodiversidade, entre outras funções. A Reserva Legal, por sua vez, corresponde a um percentual mínimo da propriedade rural que deve manter vegetação nativa, variando conforme o bioma e a localização, tendo como função contribuir para a conservação e recuperação dos processos ecológicos e favorecer a preservação da biodiversidade, oferecendo ainda abrigo e proteção à fauna silvestre e à flora nativa (BRASIL, 2012).

Como tentativas de controlar e findar a exploração predatória dos recursos naturais, bem como a transformação de áreas naturais para formas alternativas de uso do solo, diversos mecanismos legais foram criados, em âmbito federal, estadual e municipal. Dentre estes, pode-se citar a elaboração de políticas voltadas à preservação e recuperação da cobertura vegetal nativa e, conseqüentemente, de suas funções ecológicas e sociais, abrangendo áreas urbanas e rurais.

Ainda nesta Lei de Proteção da Vegetação Nativa, criou-se o Cadastro Ambiental Rural – CAR, que é definido como um cadastro público eletrônico de abrangência nacional, de caráter obrigatório para todos os imóveis rurais, como proposta de reunir informações ambientais de propriedades e posses, formando uma base de dados voltada ao controle, ao monitoramento, ao planejamento ambiental e econômico, bem como ao combate ao desmatamento (BRASIL, 2012).

Visando atender ao disposto na legislação ambiental, o Decreto Federal nº 7.830/2012 definiu a regularização ambiental dos imóveis rurais como ações realizadas e aplicadas no imóvel rural voltadas à manutenção e à recuperação de áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito, bem como, quando aplicável, à compensação da reserva legal (BRASIL, 2012a).

Apesar da existência de marcos regulatórios consistentes e de iniciativas públicas importantes (SEMAS, 2023), os desafios relacionados à implementação, efetividade e monitoramento das iniciativas de recomposição da vegetação nativa continuam encontrando desafios em diferentes partes do estado. Como destacam Almeida et al. (2020), mesmo diante dos avanços legais, a eficácia das políticas de recomposição da vegetação nativa no Pará enfrenta obstáculos como a insuficiência de incentivos econômicos, dificuldades na regularização fundiária e ambiental, e baixa coordenação entre os instrumentos de gestão.

No estado do Pará, mesmo com a criação de programas que adotam a restauração florestal como um de seus principais fundamentos, observa-se um expressivo passivo florestal, estimado em cerca de 3 milhões de hectares (NUNES *et al.*, 2017). Para entender quais fatores influenciam a eficácia da recomposição vegetal no estado, bem como tornar possível uma análise mais detalhada, é necessário lançar mão de uma visão sistêmica, que pode ser auxiliada pela elaboração de um modelo causal.

Um modelo causal nada mais é que um diagrama utilizado para descrever uma situação-problema de acordo com o que pensa cada observador (VILLELA, 2005). Para caracterizar este sistema, pode-se recorrer a uma modelagem *soft* (qualitativa), que permite sua visualização por meio da identificação de suas características estruturais, das interações de causa e efeito e dos circuitos de retroalimentação (*feedback*). Para tal, utiliza-se a técnica dos diagramas de Enlace Causal (DECs) (FERNANDES, 2003).

Destarte, de forma a analisar a recomposição da vegetação nativa no estado do Pará, este trabalho busca avaliar as principais variáveis que influenciam a efetividade da recomposição florestal, bem como identificar oportunidades de melhorias na concepção e execução das políticas públicas voltadas ao tema.

Nesse sentido, este trabalho tem como proposta a construção de um modelo conceitual baseado na Dinâmica de Sistemas, com o intuito de representar e analisar as principais relações causais envolvidas no processo de recomposição da cobertura vegetal nativa no estado do Pará. A partir da identificação dos ciclos de feedback e das variáveis críticas, pretende-se avaliar a efetividade das políticas públicas implementadas, propor cenários qualitativos e identificar pontos de alavancagem para o aprimoramento dessas estratégias.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Desenvolver um modelo conceitual, com base na abordagem de Dinâmica de Sistemas, que represente os principais fatores e interações de causa e efeito que influenciam a eficácia das políticas públicas direcionadas à recomposição da cobertura vegetal nativa no estado do Pará, com o intuito de identificar lacunas, pontos de alavancagem e cenários de melhoria na implementação das ações.

2.2.Objetivos específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Levantar e descrever as políticas públicas e os instrumentos em vigor no estado do Pará voltados à recomposição da vegetação nativa;
- Levantar as principais variáveis socioeconômicas, institucionais e ambientais que influenciam o cumprimento das metas de recomposição em diferentes contextos territoriais;
- Analisar a distribuição espacial das áreas restauradas no Pará a partir de dados empíricos municipais, identificando padrões e disparidades regionais;
- Construir um Diagrama de Enlace Causal (DEC) que ilustre os ciclos de retroalimentação e as interações de causa e efeito entre essas variáveis;
- Propor recomendações para o aperfeiçoamento das estratégias de recomposição com base nos resultados da modelagem.

3. Justificativa

A questão do desmatamento no Brasil sempre foi um grande desafio para as gestões ambientais e, a despeito das tentativas e programas de enfrentamento a este problema, ainda não foi possível solucioná-lo definitivamente (SOARES; AGUIAR, 2017).

Ao contrário, o ano de 2020 apresentou um dado preocupante ao estado no que se refere ao desmatamento, alcançando a marca de 5.192 km² ao longo de 12 meses (INPE, 2021), o que corresponde a aproximadamente 47% do total do desmatamento na Amazônia Legal, evidenciando um aumento de mais de 20% em comparação a 2019. Assim, o Pará, segundo maior estado do Brasil em extensão territorial, registra atualmente a mais elevada taxa de desmatamento por corte raso dentre os nove estados da Amazônia Legal (INPE, 2021).

Tais números demonstram também que o estado do Pará, cuja área é composta em 71% por terras sob domínio ou afetação da União, retornou aos mesmos patamares de desmatamento registrados em 2006 e 2007 (PARÁ, 2020).

Os mecanismos legais criados em âmbito federal, estadual e municipal buscaram controlar e findar a exploração predatória dos recursos naturais, assim como a transformação de novas áreas para diferentes usos do solo.

Dentre esses instrumentos, ressalta-se o Programa de Regularização Ambiental (PRA), instituído pela Lei 12.651/201 e que corresponde à fase posterior ao cadastramento da propriedade ou posse rural no CAR e à sua aprovação pelo órgão ambiental.

Além deste, diversas políticas, planos e programas foram criados em âmbito federal e estadual, como o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), que deu origem ao Decreto Federal nº 8.972, denominado “Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG)”, bem como um plano de desenvolvimento estadual denominado “Pará 2030”, que tem como eixos para as principais ações a Regularização Fundiária, a Regularização e Licenciamento Ambiental, dentre outros.

No estado, esse e outros programas foram estruturados tendo a restauração florestal como um de seus fundamentos. Ainda assim, observa-se um grande passivo florestal, estimado em 3 milhões de hectares (NUNES *et al.*, 2017).

Isso evidencia desafios não apenas na formulação, mas especialmente na implementação e efetividade dessas estratégias, como a insuficiência de recursos financeiros, a desarticulação institucional e a complexidade envolvida nos processos de regularização ambiental (ALMEIDA *et al.*, 2020). Conforme Pinto *et al.* (2021), a restauração florestal em larga escala na Amazônia possui elevado potencial, principalmente através da regeneração natural da vegetação secundária. No entanto, os autores destacam que esse processo enfrenta desafios como a falta de políticas integradas, a pressão por conversão de terras e a necessidade de incentivos econômicos para garantir sua efetividade. O entendimento sistêmico desses entraves é essencial para aprimorar a governança ambiental e alcançar resultados mais consistentes na recuperação de áreas degradadas no estado.

Diversos fatores contribuem tanto para esse elevado *déficit* de restauração que o estado apresenta como para o avanço da recomposição vegetal na região. Portanto, busca-se entender melhor como eles se relacionam, através de uma análise mais detalhada, elaborando-se um modelo causal a respeito do progresso dessas iniciativas no estado do Pará.

4. Revisão de literatura

4.1.Recomposição Vegetal no Estado do Pará: contexto e fatores determinantes

A degradação das áreas florestais da Amazônia têm sido significativamente impactadas pelas atividades antrópicas, como remoção da cobertura vegetal e manejo inadequado do solo. Por esse motivo, a recomposição florestal da região tem grande importância ecológica e socioambiental, devido à sua relevância para a regulação do clima global e para a conservação da biodiversidade.

A recomposição vegetal envolve o processo de recuperação de áreas ambientalmente degradadas, com foco no plantio de espécies nativas e na implementação de práticas de restauração ecológica, sendo um mecanismo vital para a conservação da biodiversidade e a restauração dos serviços ecossistêmicos, como a regulação dos ciclos hidrológico e do carbono. A utilização de espécies vegetais nativas, além de contribuir para a regeneração natural, também promove a estabilidade dos ecossistemas, assegurando a provisão de recursos essenciais, como a purificação da água e a captura de carbono, essenciais na mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas (Chazdon, 2014; Strassburg et al., 2020).

Ademais, a restauração ecológica tem demonstrado ser uma abordagem eficaz para a reversão de processos de degradação ambiental, ajudando a reintegrar áreas anteriormente deterioradas ao funcionamento adequado dos ecossistemas, o que, por sua vez, contribui significativamente para a resiliência ambiental em face das pressões antropogênicas (Suding et al., 2015).

Essas práticas, que incluem o controle de espécies invasoras e a reintrodução de espécies-chave, desempenham um papel crucial no fortalecimento da biodiversidade, ao passo que contribuem diretamente para a mitigação dos impactos das alterações climáticas globais (Holl & Aide, 2011; Brancalion et al., 2019).

Diversas variáveis podem influenciar significativamente o processo de recomposição vegetal, determinando o bom desempenho das iniciativas voltadas à restauração ecológica. O clima, por exemplo, desempenha um papel central, pois o regime de chuvas, as variações de temperatura e a sazonalidade afetam diretamente o desenvolvimento das espécies plantadas e a eficiência dos programas de recuperação (Meli et al., 2017; Holl & Aide, 2011). Em relação ao solo, suas características, como fertilidade, textura e capacidade de reter água, são indispensáveis ao crescimento das plantas e à regeneração

natural dos ecossistemas. Solos degradados ou com baixa qualidade podem exigir intervenções adicionais, como adubação ou correção da acidez, para garantir a viabilidade das espécies plantadas (Suding et al., 2015; Lamb et al., 2005).

A escolha de espécies nativas adequadas para a restauração é outro fator essencial, pois espécies bem adaptadas ao ambiente local apresentam maior taxa de sobrevivência e favorecem o estabelecimento de interações ecológicas necessárias para a sustentabilidade do ecossistema (Chazdon, 2014; Rodrigues et al., 2009). Além disso, as técnicas de plantio, como o uso de mudas, sementes diretas ou sistemas agroflorestais, variam em eficácia dependendo das condições locais e do grau de degradação da área que será restaurada (Brancalion et al., 2019; Holl & Aide, 2011). Por fim, o impacto antrópico, como desmatamento, práticas agrícolas intensivas e mineração, compromete a integridade das áreas degradadas e dificulta os esforços de recomposição, exigindo estratégias específicas para a restauração em áreas severamente afetadas (Strassburg et al., 2020; Meli et al., 2017).

O estado do Pará, situado na Amazônia brasileira, possui grande importância para a conservação ambiental, em razão de sua biodiversidade singular e da ampla cobertura de florestas tropicais. Entretanto, o Pará está entre as unidades federativas mais afetadas pelo desmatamento e pela degradação ambiental, cenário que levou à criação do Plano Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa (PRVN-PA), com vistas à restauração ecológica em larga escala (PARÁ, 2023). Essa conjuntura crítica também tem impulsionado iniciativas privadas, como o projeto de reflorestamento da empresa re.green, que pretende aumentar sua área de restauração de floresta no leste do estado (EMPRESA, 2025), bem como ações governamentais federais, como a iniciativa “Restaura Amazônia”, voltada à recuperação de áreas de assentamento no sul paraense (GOVERNO FEDERAL, 2025).

Um estudo realizado na Floresta Nacional do Tapajós demonstrou que o sucesso da recomposição vegetal no Pará depende de variáveis como o clima, a sazonalidade e a qualidade do solo. A sazonalidade amazônica, com períodos bem definidos de chuva e seca, impacta diretamente a sobrevivência das mudas e o crescimento das espécies plantadas, exigindo estratégias adaptativas para maximizar a eficácia do plantio (Sist et al., 2014). Em termos de solo, áreas com altos níveis de degradação devido à agricultura intensiva e mineração apresentam desafios adicionais para a recomposição, muitas vezes

demandando técnicas de restauração mais complexas, como o controle de espécies invasoras e a adição de matéria orgânica (Vieira et al., 2019).

Outro exemplo relevante é o projeto de restauração na região do município de Paragominas, que integra sistemas agroflorestais como parte das estratégias de recomposição. Esse estudo evidenciou que a combinação de culturas agrícolas com espécies florestais nativas não só agiliza a recuperação, como também promove ganhos socioeconômicos para as comunidades locais, mostrando o potencial das práticas de recomposição da vegetação visando à restauração de áreas degradadas no Pará (Crouzeilles et al., 2017).

4.2.Ciclos de Feedback e Diagrama de Enlace Causal (DEC)

Ciclos de feedback e Diagramas de Enlace Causal (DEC) são ferramentas fundamentais na modelagem de sistemas complexos, especialmente em estudos ambientais e de recomposição vegetal. Ciclos de feedback referem-se a processos em que uma mudança em um determinado fator provoca reações em outros componentes do sistema, os quais, por sua vez, retornam para influenciar o fator inicial, podendo amplificar (feedback positivo) ou reduzir (feedback negativo) essa mudança (Sterman, 2000).

Os Diagramas de Enlace Causal, todavia, são representações gráficas que ilustram as interações de causa e efeito entre diferentes variáveis dentro de um sistema, facilitando a visualização de como os ciclos de *feedback* ocorrem (Ford, 2010). Esses diagramas são amplamente utilizados para modelar dinâmicas ambientais, permitindo uma compreensão integrada dos processos ecológicos e suas interações. Essa abordagem proporciona aos gestores uma visão mais holística dos processos organizacionais, o que, por sua vez, aperfeiçoa o processo decisório a partir da identificação e análise de arquétipos sistêmicos (Sterman, 2000; Meadows, 2008).

Para demonstrar a influência nas relações de causa-efeito-causa, utilizam-se símbolos, com os sinais "+" e "-" sendo os mais comuns. O sinal "+" representa uma "mudança no mesmo sentido", enquanto o sinal "-" indica uma "mudança em sentido oposto" (FERNANDES, 2014).

Dentro dessa abordagem de modelagem, como mencionado anteriormente, o termo *feedback* refere-se a um ciclo de causas em que uma alteração em um elemento

eventualmente resulta em uma mudança nele próprio, podendo ser um *feedback* de reforço ou de equilíbrio. Para identificar o tipo de *feedback*, é preciso observar se o efeito no sistema segue a mesma direção, caracterizando um *feedback* de reforço (R+), ou se ocorre em sentido oposto, resultando em um *feedback* de equilíbrio (E-) (FERNANDES, 2014).

A literatura sobre a aplicação de DEC em estudos ambientais e de recomposição vegetal mostra que essas ferramentas são particularmente úteis para descrever como fatores bióticos e abióticos interagem ao longo do tempo. Estudos em restauração ecológica utilizam DEC para identificar os pontos críticos em que as ações de restauração podem ser mais eficazes, bem como para prever os impactos de mudanças climáticas ou atividades antropogênicas sobre a regeneração florestal (Melo et al., 2020). Um exemplo é a detecção de ciclos de retroalimentação positivos na recomposição vegetal, como o incremento da fertilidade do solo decorrente do acréscimo de matéria orgânica oriunda da vegetação restaurada, o que, por sua vez, favorece o crescimento de novas plantas (Suding et al., 2015). Por outro lado, *feedbacks* negativos podem surgir de processos como o estabelecimento de espécies invasoras, que podem inibir o crescimento de espécies nativas e reduzir a biodiversidade local (Folkesson et al., 2019).

Estudos anteriores que utilizaram DEC em ecologia demonstram sua eficácia na modelagem de sistemas complexos, como a regeneração de florestas tropicais e a recuperação de serviços ecossistêmicos. Em projetos de restauração de florestas tropicais, por exemplo, DEC foram usados para identificar os principais fatores que determinam a resiliência dos ecossistemas restaurados e para otimizar as práticas de manejo florestal (Melo et al., 2020). Além disso, DEC tem sido aplicado em estudos de sistemas hídricos em regiões como a Amazônia, onde são utilizados para modelar a interação entre o ciclo hidrológico e a recomposição florestal, elucidando de que forma as alterações no uso do solo impactam os serviços ecossistêmicos e a regeneração natural (Bouchet et al., 2019).

Esses diagramas também têm sido úteis na elaboração e acompanhamento de projetos de restauração, permitindo a visualização de como diferentes intervenções podem gerar resultados a longo prazo. Isso inclui o uso de DEC para prever os impactos das políticas de conservação e para identificar intervenções que promovam ciclos de *feedback* positivo, melhorando a eficiência dos programas de recomposição vegetal (Ford, 2010).

Crouzeilles et al. (2017) aplicaram o DEC para analisar a relação entre políticas de restauração florestal e a resposta da vegetação em áreas degradadas, mostrando como ciclos de *feedback* positivo podem ser fortalecidos por ações de manejo adequadas. Tais

estudos destacam que a análise dos ciclos de feedback, sejam eles positivos ou negativos, é de suma importância para compreender a dinâmica dos ecossistemas, bem como para o sucesso das estratégias de restauração.

4.3. Levantamento da legislação relacionada à recomposição da vegetação nativa

A recomposição da cobertura vegetal nativa tem um papel relevante na preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, bem como na contenção das alterações climáticas. Tal processo é regulamentado por um conjunto de leis de âmbitos federal e estadual. Neste tópico será apresentado um levantamento das principais normas legais que tratam da recomposição da vegetação nativa, com um enfoque especial na legislação do estado do Pará.

4.3.1. Esfera federal

a) Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012)

Na esfera federal, a principal norma que regula a proteção e a recomposição da cobertura vegetal nativa é a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), amplamente conhecida como novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). Essa lei define as diretrizes para a conservação e o uso sustentável das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Reservas Legais, que são áreas dentro dos limites das propriedades rurais que devem ser mantidas com cobertura vegetal nativa.

O Código Florestal define como APPs as faixas marginais de corpos d'água, topos de morros, encostas com elevado declive, entre outras. Compete aos detentores de imóveis rurais manter ou recompor a vegetação nessas áreas, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela lei.

Além disso, define que as propriedades rurais devem manter uma área de Reserva Legal, variando de 20% a 80% do imóvel, dependendo da região e do bioma na qual estão localizadas. Nessas áreas, deve-se conservar a vegetação nativa ou restaurá-la, quando necessário, podendo ser por meio do plantio de espécies nativas ou pela regeneração natural. É permitido, ainda, o uso sustentável da RL, desde que sejam respeitados os critérios estabelecidos pela lei.

Ademais, o Código Florestal estabelece a criação dos Programas de Regularização Ambiental (PRAs), que permitem aos proprietários rurais regularizarem suas

propriedades por meio de compromissos de recomposição de áreas desmatadas ilegalmente.

b) Decreto Federal nº 7.830/2012

Este decreto estabelece a regulamentação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), instrumento fundamental para a implementação das diretrizes do Código Florestal. O CAR geralmente é utilizado como base para a regularização ambiental dos imóveis rurais e para a implementação de programas de recomposição da vegetação nativa. Ele permite o monitoramento das áreas desmatadas e auxilia na fiscalização e no planejamento das ações de recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 2012a).

c) Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (Decreto nº 8.872/2017)

Ainda na esfera federal, para colocar em prática a LPVN, através do Decreto nº 8.872, de 23 de janeiro de 2017, o Governo Federal estabeleceu a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg). A Proveg tem por finalidade articular e fomentar ações, políticas e programas voltados à recuperação de florestas e demais formas de vegetação nativa. Além disso, visa ampliar a regularização ambiental das propriedades rurais no Brasil, conforme previsto na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, com a meta de restaurar, no mínimo, doze milhões de hectares até 31 de dezembro de 2030.

Para viabilizar a implementação da Proveg e viabilizar a recuperação da cobertura vegetal nativa de maneira estratégica e articulada, considerando todos os aspectos que a envolvem, para além da conservação ambiental, como o desenvolvimento econômico e social, foi estabelecido o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), que visa orientar ações de recuperação em âmbito nacional.

d) Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Portaria Interministerial nº 230/2017)

Por intermédio da Portaria Interministerial nº 230, de 14 de novembro de 2017, criou-se o Planaveg, com o objetivo central de expandir e reforçar políticas públicas, financiamentos, mercados e práticas agropecuárias sustentáveis para atingir a meta de recuperar ao menos doze milhões de hectares de vegetação nativa até 2030. A recuperação se concentra principalmente em APP e RL, mas também inclui áreas degradadas de baixa produtividade.

Para alcançar essa meta, o plano se fundamenta em oito iniciativas que abrangem: atividades de sensibilização; promoção da cadeia produtiva da recuperação; desenvolvimento de mercados que gerem receitas a partir dos esforços de recuperação; coordenação interinstitucional; desenvolvimento de mecanismos financeiros; extensão rural; planejamento espacial e monitoramento; e pesquisa e inovação, visando reduzir custos e aumentar a eficiência das ações de recuperação da vegetação nativa.

e) Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981)

Esta lei define os princípios da Política Nacional do Meio Ambiente, tendo como objetivo a conservação, aprimoramento e recuperação dos parâmetros de qualidade ambiental. Mesmo não sendo direcionada especificamente à recomposição da vegetação nativa, estabelece a recuperação de áreas degradadas como um dos princípios a serem atendidos visando alcançar seu objetivo.

f) Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)

O CONAMA possui diversas resoluções que estabelecem regras para a recomposição da vegetação nativa em diferentes contextos, inclusive em áreas de preservação permanente e em reservas legais. Algumas dessas resoluções definem metodologias e critérios técnicos para a recuperação de áreas degradadas, visando a restauração ecológica de ecossistemas.

4.3.2. Esfera estadual

Além das normas da esfera federal, cada estado tem a competência de estabelecer legislações próprias que regulamentam a recomposição da vegetação nativa em sua jurisdição. Tais legislações complementam as de âmbito federal, adaptando-as às características locais e regionais.

No estado do Pará, a recomposição da vegetação nativa é regida por um arcabouço legal que combina legislação federal, como o Código Florestal, com normas estaduais, como a Lei Estadual de Regularização Ambiental. Além disso, é complementada por instrumentos como o CAR e o PRA, voltados para a regularização e recuperação ambiental, além de resoluções e planos estaduais direcionados ao desenvolvimento sustentável da região amazônica.

Esse conjunto de normas federais e estaduais visam promover a conservação ambiental, a recuperação de áreas degradadas e a preservação dos ecossistemas locais.

a) Programa Regulariza Pará

No contexto estadual, a recomposição da vegetação nativa no Pará é regulamentada principalmente pelo Decreto Estadual nº 2.745, de 9 de novembro de 2022, que estabelece o Programa Regulariza Pará. Esse programa constitui o principal mecanismo de execução do Programa de Regularização Ambiental (PRA) no estado, conforme estabelecido pelo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012).

Valendo-se de ações voltadas à recuperação de áreas degradadas, o Regulariza Pará apoia a regularização ambiental e fundiária dos imóveis rurais, especialmente em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL). Por estar relacionado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), o Programa visa, adicionalmente, ampliar o acesso dos produtores rurais aos mercados globais, bem como aumentar o acesso a linhas de créditos e financiamentos destinados ao fortalecimento da economia local (PARÁ, 2022).

O programa também se articula ao Plano Estadual Amazônia Agora (PEAA), constituindo um eixo central para o avanço da restauração ecológica e da regularização ambiental no estado, com enfoque na transparência, monitoramento e estímulo a parcerias público-privadas. A adoção de compromissos voluntários por meio de Termos de Compromisso Ambiental e o incentivo à adoção de sistemas agroflorestais são algumas das estratégias previstas para fomentar a efetividade do programa.

b) Plano Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa (PRVN-PA)

O Plano Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Pará (PRVN-PA) foi instituído pelo Decreto Estadual nº 3.552, de 30 de novembro de 2023 como instrumento estratégico para induzir e articular ações de restauração ecológica no estado. Seu objetivo central é incentivar a recuperação de florestas e demais formas de vegetação nativa, colaborando para a contenção das alterações climáticas por meio do armazenamento de gases de efeito estufa (GEE) (PARÁ, 2023).

O PRVN-PA tem como metas recuperar 5,65 milhões de hectares até 2030 e 7,41 milhões de hectares até 2035, conforme estabelecido pelo Decreto Estadual nº 941/2020 (PARÁ,

2023). Para tal, o plano define diretrizes como a definição de metas quantitativas e qualitativas, a compatibilização com políticas públicas nacionais e internacionais, o incentivo à participação da sociedade civil e o fortalecimento da governança ambiental.

Entre seus princípios orientadores, destacam-se a valorização dos conhecimentos tradicionais e científicos, o estímulo à adoção de sistemas de produção sustentáveis e a criação de incentivos econômicos e mecanismos financeiros que fomentem a restauração florestal e a conservação da biodiversidade (PARÁ, 2023).

O plano ressalta a relevância da recuperação da vegetação nativa como medida estratégica para o sequestro de gases de efeito estufa (GEE) (PARÁ, 2023). Além disso, iniciativas complementares, como o projeto de concessão para restauração da Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, contemplam a possibilidade de comercialização de ativos, como créditos de carbono resultantes da restauração, evidenciando a integração entre as ações de recuperação e os mecanismos de compensação por serviços ambientais (SUDAM, 2023).

c) Plano Estadual Amazônia Agora (PEAA)

Criado pelo Decreto Estadual nº 941, de 3 de agosto de 2020, o Plano Estadual Amazônia Agora (PEAA) constitui uma estratégia transversal de desenvolvimento sustentável para o estado do Pará, integrando ações de combate ao desmatamento, ordenamento territorial e promoção da bioeconomia. Entre seus eixos estratégicos, o PEAA estabelece metas expressivas para a restauração da vegetação nativa, como a de recuperar 5,65 milhões de hectares até 2030 e 7,41 milhões de hectares até 2035, metas estas incorporadas ao PRVN-PA (PARÁ, 2020).

O PEAA articula programas como o Regulariza Pará e o próprio PRVN-PA, promovendo sinergias entre regularização fundiária e ambiental, recomposição florestal e geração de valor a partir da biodiversidade. Dessa forma, o plano contribui diretamente para a estruturação de políticas públicas integradas que visam não apenas a conservação ambiental, mas também a geração de ganhos socioeconômicos e a redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa (PARÁ, 2020).

d) Resoluções do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA)

O COEMA do Pará possui resoluções que apresentam procedimentos e critérios para a recomposição da vegetação nativa no estado. Essas resoluções estão relacionadas ao licenciamento ambiental, à recuperação de áreas degradadas e à implementação de sistemas agroflorestais como formas de recomposição.

4.4. Políticas públicas e iniciativas de incentivo à recomposição florestal no estado do Pará

O estado do Pará apresenta, historicamente, as maiores taxas de desmatamento da Amazônia Legal, e tem adotado uma série de políticas públicas e iniciativas voltadas à recomposição da vegetação nativa como parte de sua estratégia de desenvolvimento sustentável e contenção das alterações climáticas. Essas iniciativas vão desde programas estaduais de regularização ambiental até ações que envolvem a participação de empresas, organizações não governamentais e comunidades locais.

a) Programa Municípios Verdes (PMV)

O Programa Municípios Verdes (PMV) foi lançado em 2011 tendo como objetivo conter o desmatamento e fortalecer a gestão ambiental nos municípios paraenses. O programa promove a adequação ambiental das propriedades rurais, especialmente através da expansão do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e da regularização ambiental, além de fomentar práticas sustentáveis no uso do solo (FUNDO AMAZÔNIA, 2025). Por meio da integração de ações locais com estratégias estaduais, o PMV contribui para consolidar um modelo de desenvolvimento que alia conservação ambiental e produção rural responsável.

b) Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e Criação de Empregos Verdes

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e Criação de Empregos Verdes, lançado pelo governo estadual em 2020, tem como meta restaurar 450 mil hectares de áreas degradadas até 2030, associando objetivos ambientais e socioeconômicos para incentivar a restauração ecológica e a geração de empregos verdes, especialmente em áreas rurais (PARÁ, 2020). A iniciativa está alinhada aos compromissos do estado relacionados à melhoria do clima, reforçando seu papel na transição para uma economia de baixas emissões de carbono.

c) Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA)

O Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), conduzido conjuntamente pelo governo federal e pelos estados amazônicos, como o Pará, visa proteger a biodiversidade e fortalecer as unidades de conservação do bioma Amazônia. Destacado como a maior iniciativa de conservação de florestas tropicais do mundo, o ARPA já investiu mais de R\$ 650 milhões em unidades de conservação no estado do Pará (FUNDO AMAZÔNIA, 2025). Seu foco está na gestão eficiente e no uso sustentável dos recursos naturais, contribuindo indiretamente para a recomposição florestal por meio da manutenção de ecossistemas íntegros.

d) Projetos de restauração florestal com participação de empresas e ONGs

Complementando as ações públicas, diversas iniciativas privadas e de organizações da sociedade civil têm desenvolvido projetos de restauração florestal no Pará, que incluem o plantio de espécies nativas, a adoção de sistemas agroflorestais e o engajamento de comunidades locais.

O projeto Acelerador de Agroflorestas e Restauração, lançado em setembro de 2021 pela The Nature Conservancy (TNC), em conjunto com a Amazon e o World Agroforestry (ICRAF), é um exemplo dessas iniciativas. Este projeto tem a meta de restaurar 18 mil hectares de áreas degradadas no Pará, envolvendo até três mil agricultores familiares na adoção de sistemas agroflorestais baseados no cultivo de cacau e outras espécies nativas da Amazônia. O projeto busca utilizar recursos provenientes de créditos de carbono para impulsionar a restauração ecológica e criar novas oportunidades econômicas para esses agricultores (THE NATURE CONSERVANCY, 2021).

Outra iniciativa relevante é o modelo de concessões florestais para restauração, uma parceria da TNC com o governo do estado do Pará. Esse modelo prevê a concessão de áreas públicas degradadas ao setor privado, organizações civis ou comunidades locais, visando estimular a recuperação da cobertura vegetal nativa e o manejo sustentável dos recursos florestais. A primeira experiência de concessão federal para fins de restauração ocorreu em um área de 10 mil hectares no município de Altamira, inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, uma das unidades de conservação estaduais mais pressionadas pelo desmatamento na Amazônia. Estima-se que, uma vez restauradas, essas áreas possam remover cerca de 70 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq) da atmosfera e criar mais de 100 mil empregos no decorrer de 30 anos (THE NATURE CONSERVANCY, 2024).

Apesar dos avanços recentes na redução do desmatamento, a recomposição florestal no estado do Pará ainda enfrenta desafios significativos, como a manutenção de elevadas taxas de desmatamento, a limitação de recursos financeiros e a ausência de coordenação entre os diversos atores participantes.

Em 2024, o Pará registrou uma área desmatada de 1.260 km², mantendo-se como o estado que mais desmatou na Amazônia pelo nono ano consecutivo. Embora tenha ocorrido uma diminuição de 3% em relação a 2023, quando foram desmatados 1.228 km², o estado continua liderando o ranking de desmatamento na região (IMAZON, 2025).

Além disso, a degradação florestal, caracterizada por danos que não resultam na remoção completa da vegetação, aumentou significativamente. Em 2024, a Amazônia registrou 36.379 km² de áreas degradadas, 497% a mais em comparação a 2023, quando foram degradados 6.092 km² (IMAZON, 2025).

A recomposição florestal em larga escala enfrenta obstáculos como a escassez de recursos financeiros e a carência de coordenação entre os diversos atores envolvidos. A identificação dos fatores determinantes para o êxito da restauração florestal no Pará revelou lacunas institucionais e operacionais que comprometem a eficácia das ações de recomposição. Destacam-se a ausência de cadeias de valor consolidadas para produtos e serviços oriundos de áreas restauradas, a limitada transmissão de conhecimento técnico entre especialistas e agentes de extensão rural, e a predominância de incentivos financeiros voltados a atividades econômicas que não favorecem a restauração (IMAZON, 2017).

4.5.Recomposição da cobertura vegetal nativa em APP ou RL

O conceito de recomposição da vegetação está relacionado às ações externas de intervenção planejada em determinado local que perdeu suas funções ecológicas, com o propósito de iniciar, favorecer ou agilizar o processo natural de sucessão ecológica, de modo que o ecossistema se aproxime ao máximo de sua condição anterior à degradação.

A recomposição da cobertura vegetal nativa em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL) é uma atividade de grande relevância para as estratégias de conservação ambiental no Brasil, conforme estabelece a Lei Federal nº 12.651/2012. Essa recomposição está condicionada a critérios específicos relacionados ao tamanho do

imóvel rural, à localização geográfica e ao estágio de degradação da vegetação. Tais critérios determinam a obrigatoriedade e a forma de recuperação dessas áreas protegidas, variando de acordo com o bioma e o tipo de cobertura florestal original (BRASIL, 2012).

No caso das APPs, as exigências de recomposição estão associadas, principalmente, à largura dos cursos d'água e ao tamanho da propriedade rural. Para imóveis com até quatro módulos fiscais, por exemplo, a recomposição das margens de rios e córregos deve respeitar uma faixa mínima de 5 a 15 metros, conforme a largura do corpo hídrico. Já para imóveis maiores, essa exigência pode atingir 30 metros ou mais. Essa recomposição pode ser realizada por meio de regeneração natural, plantio de espécies nativas ou sistemas agroflorestais, conforme previsto na legislação, desde que, nos dois últimos casos, as espécies exóticas ou frutíferas não ultrapassem 50% da área a ser restaurada (EMBRAPA, 2023).

Nas áreas de Reserva Legal, a recomposição torna-se necessária quando a cobertura vegetal está abaixo dos percentuais mínimos estabelecidos em lei: 80% para imóveis localizados em áreas de floresta na Amazônia Legal, 35% em áreas de cerrado e 20% em campos gerais. Nesses casos, a recomposição pode ocorrer por regeneração natural, plantio de espécies nativas, ou ainda por sistemas agroflorestais semelhantes aos aplicáveis às APPs. Adicionalmente, a legislação também permite que o proprietário opte por compensar a RL em outra área de igual extensão e importância ecológica, se estiver localizada no mesmo bioma (BRASIL, 2012; EMBRAPA, 2023).

Esses critérios demonstram uma tentativa de associar a proteção ambiental com a realidade fundiária e produtiva do país, reconhecendo as diferentes características dos imóveis rurais e promovendo práticas sustentáveis de manejo do solo. A recuperação da cobertura vegetal nativa em APPs e RLs é fundamental para preservar a biodiversidade e os recursos hídricos, garantir a estabilidade do solo e colaborar para a mitigação dos efeitos das mudanças do clima. Além disso, ela permite a integração de agricultores familiares e comunidades locais em projetos de restauração ecológica, unindo benefícios ambientais e socioeconômicos. Nesse contexto, compreender os critérios legais que orientam essas ações e suas implicações práticas é essencial para o alcance das metas de recomposição estabelecidas no estado do Pará.

Além dos critérios legais que determinam a obrigatoriedade da recomposição da vegetação em APPs e RLs, o sucesso das ações de restauração florestal depende de diversos fatores operacionais, ecológicos e sociais. A literatura especializada destaca que

a seleção adequada das espécies vegetais é um dos principais determinantes para o êxito da restauração, sendo necessário considerar características locais como clima, tipo de solo, resiliência ecológica e a composição florística original da região (BRANCALION et al., 2019). O preparo do solo, incluindo a remoção de compactação e a correção de acidez, também é necessário para aumentar a sobrevivência das mudas e acelerar os processos de sucessão ecológica.

Outros aspectos relevantes da restauração florestal envolvem o manejo cuidadoso no momento do plantio, o monitoramento contínuo das áreas recuperadas, o controle fitossanitário e o engajamento das comunidades locais. Estudos sobre cadeias de sementes na Amazônia mostram que comunidades tradicionais (como extrativistas e povos indígenas) participam ativamente na coleta, armazenamento e fornecimento de sementes nativas, enquanto também colaboram no plantio e manutenção das áreas restauradas. Esse modelo gera renda para as famílias tradicionais e fortalece a sustentabilidade dos projetos, ao integrar as práticas culturais e sociais no processo de restauração (OTCA/ISA, 2024). Além disso, experiências na cadeia de sementes da rede Redário demonstram que o envolvimento comunitário intensivo, por meio de associações ou cooperativas, promove uma restauração mais inclusiva e garante a continuidade dos esforços, pois cria incentivos reais na geração de renda e na conservação local (MONGABAY, 2023).

Ademais, a restauração florestal exige investimentos financeiros significativos, o que evidencia a importância de mecanismos econômicos sustentáveis e fontes de financiamento de longo prazo para permitir a continuação dos projetos. Nesse sentido, o planejamento estratégico e o monitoramento de longo prazo são indispensáveis, uma vez que os benefícios ecológicos e econômicos da restauração podem levar anos ou até décadas para se concretizarem plenamente (CHAZDON, 2017).

A consideração desses fatores é fundamental para compreender os desafios práticos da recomposição florestal e subsidiar o aprimoramento das políticas públicas no estado do Pará, especialmente em um contexto de metas ambiciosas de restauração associadas ao Código Florestal e aos compromissos climáticos internacionais.

5. Metodologia

5.1. Abordagem Geral

Este estudo utiliza uma abordagem qualitativa e sistêmica, baseada na metodologia da Dinâmica de Sistemas, para compreender e modelar os fatores que influenciam a eficácia das políticas públicas de recomposição da cobertura vegetal nativa no estado do Pará. A escolha dessa abordagem é justificada pela complexidade inerente às interações entre variáveis institucionais, ecológicas e socioeconômicas envolvidas na restauração florestal, as quais demandam uma análise integradora e não linear das causas e efeitos.

5.2. Etapas da Pesquisa

A metodologia adotada neste estudo foi organizada em três etapas principais: a primeira consistiu no levantamento e organização de dados secundários sobre desmatamento, degradação ambiental e ações de restauração florestal no estado do Pará, a partir de fontes consolidadas como MapBiomias, IMAZON e o Observatório da Restauração e Reflorestamento.

Na segunda etapa, foi elaborado um Diagrama de Enlace Causal (DEC) a partir das variáveis identificadas, com base na abordagem da Dinâmica de Sistemas, a fim de representar as interações causais que afetam a recomposição da vegetação nativa.

Por fim, a terceira etapa envolveu a análise qualitativa e a interpretação sistêmica do modelo, com identificação de lacunas, pontos de melhoria e proposição de cenários que colaborem para a eficácia das políticas públicas de restauração. As três etapas estão descritas em detalhe nas subseções a seguir.

5.2.1. Levantamento e Sistematização de Dados Secundários

5.2.1.1. Análise de Dados sobre Desmatamento e Degradação Ambiental

Com o objetivo de contextualizar o avanço da recomposição da vegetação nativa no estado do Pará, foi realizada uma análise exploratória sobre os padrões de ações de desmatamento e processos de degradação na Amazônia Legal, com ênfase no recorte estadual. Os dados de desmatamento foram obtidos por meio do Módulo de

Desmatamento da Coleção 9 do MapBiomias, que fornece estimativas anuais de supressão de vegetação primária e secundária em todo o território nacional. Para este estudo, foram considerados os dados referentes aos nove estados da Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão) no período de 2018 a 2023, com recorte espacial específico para o estado do Pará.

Os dados do MapBiomias foram extraídos a partir da análise histórica dos pixels da série anual de mapas de uso e cobertura do solo, com aplicação de filtros espaciais e temporais que permitem maior precisão nas estimativas de supressão anual. A versão utilizada (Coleção 9) adota um filtro espacial de 1 hectare para o mapeamento acumulado, sendo o método mais adequado para análises interanuais em séries curtas. Ressalta-se que, para o ano de 2023, foram aplicados filtros adicionais para mitigar incertezas, em virtude da ausência de confirmação no ano subsequente.

Complementarmente, foram levantados dados secundários sobre degradação florestal em fontes como o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), com destaque para as séries recentes (2023–2024), que apontam para o crescimento expressivo das áreas degradadas na Amazônia. A degradação florestal foi considerada neste trabalho como uma variável crítica para compreensão das pressões antrópicas persistentes sobre o território, especialmente porque compromete funções ecológicas mesmo sem remoção total da vegetação.

A incorporação dessas informações na análise metodológica permitiu a identificação de padrões espaciais e temporais da pressão sobre a vegetação nativa, servindo como base para a elaboração do Diagrama de Enlace Causal e para a discussão sobre a efetividade das políticas de recomposição frente ao avanço do desmatamento e à intensificação da degradação ambiental.

5.2.1.2. Análise dos Dados de Restauração Florestal no Pará

Após o levantamento sobre o desmatamento e a degradação ambiental na Amazônia Legal, foi realizada a sistematização dos dados relativos às ações de restauração florestal no estado do Pará. Essa análise teve como principal fonte o Observatório da Restauração e Reflorestamento (ORR), que forneceu dados sobre áreas restauradas por município até setembro de 2024. Estes dados permitiram a construção de um panorama estadual da recomposição florestal, com análise desagregada por município.

É importante ressaltar que a plataforma ORR é uma iniciativa que funciona de maneira colaborativa, liderada pela Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura. O ORR integra informações espaciais e estatísticas de diversas iniciativas de restauração no campo, com atualização anual e em parceria com coletivos regionais como a Aliança pela Restauração da Amazônia e o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica.

Complementarmente, foram consultadas legislações federais e estaduais, planos estratégicos (como o Planaveg e o PRVN-PA), relatórios técnicos, publicações acadêmicas e iniciativas de ONGs atuantes na Amazônia.

5.2.2. Construção do Diagrama de Enlace Causal (DEC)

Com base nos dados levantados e na revisão da literatura especializada, foram identificadas as principais variáveis que impactam o processo de recomposição vegetal no Pará. As interações causais entre essas variáveis foram ilustradas valendo-se de um Diagrama de Enlace Causal (DEC), elaborado com base nos fundamentos da Dinâmica de Sistemas descritos por Sterman (2000) e Fernandes (2014). O DEC contempla variáveis como: incentivos econômicos, governança ambiental, regularização fundiária, capacidade técnica local, pressão para manejo alternativo do solo, entre outras.

O diagrama foi elaborado utilizando ferramentas de modelagem visual e validado com base em arcabouços teóricos e evidências empíricas. Foram identificados ciclos de feedback do tipo reforço (R+) e equilíbrio (E-), os quais expressam os efeitos acumulativos e compensatórios das interações entre variáveis.

5.2.3. Análise Qualitativa e Interpretação Sistêmica

A partir do DEC, foi realizado um estudo qualitativo sobre a dinâmica do sistema de recomposição vegetal no Pará. Essa análise buscou identificar lacunas, pontos de alavancagem e oportunidades de intervenção nas políticas públicas. A interpretação dos ciclos de feedback permitiu simular cenários qualitativos — como o aumento de investimentos, a ampliação da assistência técnica e o fortalecimento da governança local — e estimar seus possíveis impactos sobre o avanço da restauração florestal no estado.

5.3.Critérios para a Seleção das Variáveis

A seleção das variáveis seguiu três critérios principais:

- Relevância empírica: presença nos dados do ORR ou em documentos estratégicos (Planaveg, PEAA, PRVN-PA);
- Consistência teórica: respaldo em publicações científicas e relatórios técnicos;
- Influência sistêmica: capacidade de produzir efeitos sequenciais (em cadeia), evidenciado por meio de feedbacks no DEC.

5.4.Limitações da Metodologia

A modelagem qualitativa com DEC permite uma compreensão abrangente das interações entre variáveis, porém ela não oferece precisão quantitativa, tampouco permite projeções numéricas. Ademais, os dados municipais disponíveis sobre restauração são limitados em escopo e frequência de atualização, o que restringe a análise temporal.

6. Resultados e discussão

6.1.Dinâmica do Desmatamento e da Degradação Ambiental na Amazônia Legal

Com o objetivo de contextualizar a pressão sobre a vegetação nativa no estado do Pará, analisaram-se os dados de desmatamento anual nos nove estados que compõem a Amazônia Legal, com base na Coleção 9 do MapBiomass. Entre os anos de 2018 e 2023, o Pará destacou-se sistematicamente como a unidade federativa com maior área desmatada da região, acumulando mais de 13,7 milhões de hectares de vegetação suprimida nesse intervalo, correspondendo a cerca de 27% do total contabilizado pelos nove estados.

A Tabela 1 apresenta os dados anuais por estado, permitindo uma comparação entre as diferentes realidades territoriais da Amazônia Legal. Observa-se que, embora outros estados como Mato Grosso e Maranhão também apresentem elevados volumes de desmatamento, nenhum deles alcança a intensidade e persistência verificada no território paraense. O pico do desmatamento no Pará ocorreu em 2021, com mais de 2,9 milhões de hectares desmatados em um único ano, seguido por uma leve diminuição nos anos subsequentes.

Tabela 1 - Área desmatada nos estados da Amazônia Legal (em hectares), 2018–2023.

Estado	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
Pará	1.981.184	2.423.571	2.290.792	2.906.836	2.558.474	1.632.354	13.793.211
Mato Grosso	1.342.642	1.604.359	1.351.621	1.447.180	2.238.712	1.540.006	9.524.520
Maranhão	912.121	1.097.052	1.330.722	1.181.825	1.684.873	1.658.409	7.865.002
Tocantins	731.873	852.545	803.239	720.412	895.750	909.398	4.913.217
Amazonas	375.655	631.506	591.694	931.129	1.051.811	433.828	4.015.623
Rondônia	517.806	697.914	590.212	710.708	777.706	372.672	3.667.018
Acre	192.363	327.811	291.752	353.842	387.500	98.862	1.652.130
Roraima	157.648	219.840	157.956	209.664	174.661	150.501	1.070.270
Amapá	14.508	17.003	7.938	7.377	125.909	42.673	215.408

Fonte: MapBiomas, Coleção 9 (2024). Elaboração própria.

O padrão observado reforça a contribuição do Pará para a expansão do desmatamento na Amazônia brasileira, o que impõe desafios significativos para a governança ambiental e para a implementação de políticas de recomposição florestal. A magnitude dos dados justifica a escolha do estado como recorte territorial deste estudo, uma vez que sua contribuição isolada para as estatísticas regionais tem potencial de comprometer metas nacionais de recuperação da vegetação nativa e de mitigação das mudanças climáticas.

Além do desmatamento, a degradação ambiental desponta como um fenômeno emergente e preocupante. Segundo relatório do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON, 2025), em 2024 a Amazônia registrou 36.379 km² de áreas degradadas, o que representa um aumento de 497% em relação ao ano anterior. Ao contrário do desmatamento, o efeito da degradação não envolve a supressão completa da vegetação, mas inclui impactos como exploração seletiva, queimadas e abertura de clareiras, que comprometem a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas florestais.

No caso específico do Pará, os desafios para a restauração ecológica são intensificados pela combinação entre altas taxas de desmatamento e pelo avanço camuflado da degradação. Os processos de degradação muitas vezes escapam aos sistemas de monitoramento tradicionais e não geram alertas imediatos, o que dificulta a resposta institucional e tende a subestimar a real dimensão das perdas ambientais.

Dessa forma, a análise integrada do desmatamento e da degradação permite compreender melhor o contexto no qual se inserem as políticas públicas de recomposição da vegetação nativa no Pará. Os dados evidenciam que o estado ocupa uma posição estratégica e crítica,

simultaneamente, sendo tanto parte do problema quanto estratégico para as soluções de restauração em escala regional e nacional.

6.2.Panorama da recomposição florestal no estado do Pará

A análise dos dados fornecidos pelo ORR mostra que, até setembro de 2024, o Pará registrou aproximadamente 7,91 mil hectares restaurados por meio de ações de restauração ativa. Embora isso posicione o estado como o quinto do país em termos absolutos, tal valor corresponde a somente 0,066% da meta assumida pelo Brasil de restaurar 12 milhões de hectares até 2030. Essa disparidade revela uma defasagem significativa entre o potencial ecológico do estado e a escala efetiva das intervenções.

Apesar do destaque do estado, nota-se que nenhum município paraense figura entre os dez primeiros em área restaurada no país. A Figura 1 apresenta os dez municípios brasileiros com maior área restaurada até setembro de 2024, segundo os dados compilados pelo Observatório da Restauração e Reflorestamento (ORR). O município de Aimorés (MG) lidera o ranking nacional com aproximadamente 4,85 mil hectares restaurados, seguido por Regeneração (PI), com 3,64 mil hectares, e outros municípios cuja área restaurada varia entre 1,99 mil e 2,97 mil hectares.

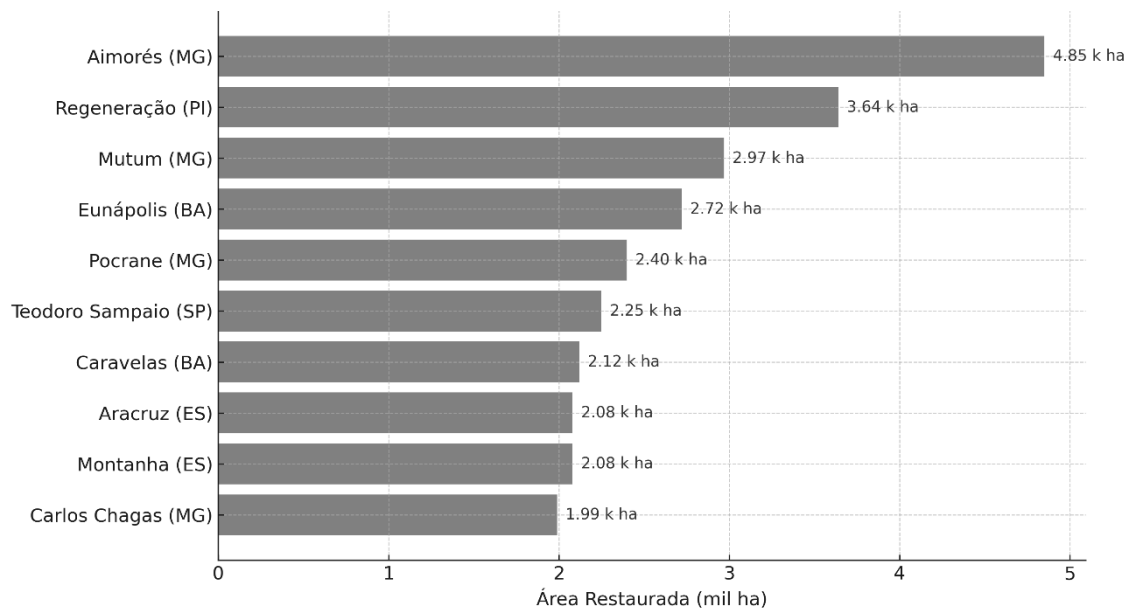


Figura 1 - Dez municípios brasileiros com maior área restaurada (em mil hectares), até setembro/2024.

Fonte: Observatório da Restauração e Reflorestamento.

Em contraste, o município paraense com maior área de recomposição registrada — São Félix do Xingu — apresenta somente 810 hectares de área restaurada (Figura 2), valor

significativamente inferior ao menor dos dez primeiros colocados do país, que supera os 1,9 mil hectares. Esse valor representa menos de um quinto da área restaurada pelos líderes do ranking.

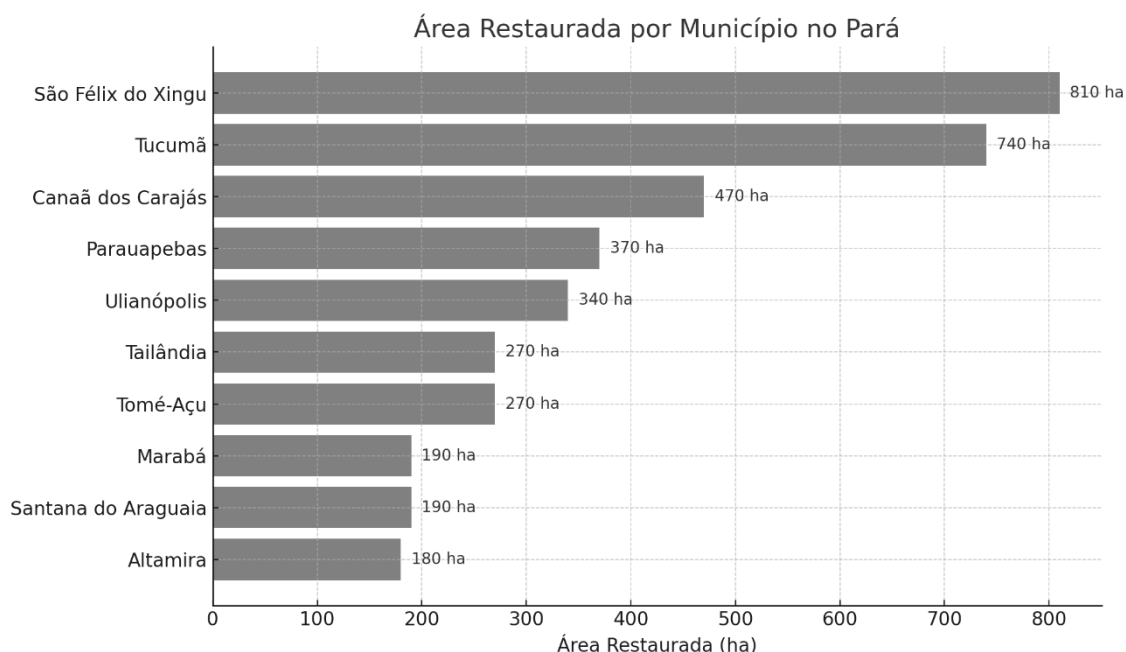


Figura 2 - Dez municípios paraenses com maior área reflorestada.

Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do Observatório da Restauração e Reflorestamento.

Ainda analisando a Figura 2, observa-se que os dez municípios líderes no Pará concentram áreas restauradas relativamente modestas (variando entre 180 e 810 hectares), com forte concentração no sudeste do estado.

Essa diferença em relação ao ranking nacional evidencia um descompasso expressivo entre os municípios paraenses e as principais referências nacionais em restauração florestal. Enquanto os dez primeiros colocados do país apresentam uma média superior a 2,5 mil hectares restaurados, os municípios do Pará, mesmo aqueles com maior volume de intervenções, operam em uma escala significativamente reduzida, sendo inferior a um terço da área média restaurada pelos líderes nacionais.

Essa situação demonstra que, apesar dos esforços significativos, a recomposição vegetal ainda ocorre de forma pontual e fragmentada, não atingindo a escala necessária para gerar efeitos ecossistêmicos regionais consistentes.

Diversos elementos estruturais e institucionais contribuem para essa assimetria. Municípios como Aimorés (MG), Mutum (MG) e Regeneração (PI) estão inseridos em contextos institucionais mais favoráveis à implementação da restauração ecológica,

contando com programas específicos de fomento à recomposição, como o Conservador da Mantiqueira, que visa à restauração florestal de 1,5 milhão de hectares em mais de 425 municípios da Serra da Mantiqueira (CONSERVADOR DA MANTIQUEIRA, 2022), e iniciativas estaduais integradas ao Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), que estabelece diretrizes para implusionar e expandir a restauração em todo país (BRASIL, 2017).

Além disso, essas regiões contam com pagamentos por serviços ambientais (PSA) e linhas de crédito voltadas à restauração produtiva e agroecológica. O PSA é um instrumento financeiro que recompensa produtores rurais, agricultores familiares e assentados, assim como comunidades tradicionais e povos indígenas, pelos serviços ambientais realizados em suas propriedades que resultam em benefícios para toda a sociedade (WRI BRASIL, 2021).

A integração técnica e interinstitucional eficaz, envolvendo governos municipais, organizações não governamentais, institutos de pesquisa e setores produtivos, também determinam o sucesso dessas iniciativas.

Adicionalmente, observa-se que os municípios brasileiros com maior área restaurada estão predominantemente localizados no bioma da Mata Atlântica, como Aimorés (MG) e Mutum (MG). Este bioma, historicamente o mais devastado do país, com apenas cerca de 12% de sua cobertura original preservada (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2023), tornou-se o principal foco das iniciativas de restauração florestal no Brasil. Diversos fatores contribuem para essa priorização: a elevada densidade populacional da região, que abriga aproximadamente 70% da população brasileira (RIBEIRO et al., 2009); a presença de importantes mananciais hídricos e áreas de recarga; a significativa biodiversidade com alto grau de endemismo; e a existência de marcos legais específicos, como a Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 2006), que estabelece diretrizes para a proteção e recuperação desse bioma.

Além disso, a região conta com infraestrutura institucional consolidada, incluindo organizações não governamentais, centros de pesquisa e programas de restauração integrados, como o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, que abrange mais de 300 instituições em ações integradas de recomposição florestal (PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA, 2024). Políticas específicas de proteção fortaleceram essa estrutura institucional, podendo-se citar o reconhecimento da Mata Atlântica como Reserva da Biosfera pela Organização das Nações Unidas para a

Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), sua inclusão em corredores ecológicos prioritários e o reconhecimento internacional de hotspot de biodiversidade (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2023). Esses fatores contribuem para a implementação de políticas e ações coordenadas, posicionando a Mata Atlântica uma referência no país em restauração ecológica.

Ao contrário, no contexto paraense, identificam-se limitações técnicas, políticas e econômicas que impõem restrições à efetividade da recomposição florestal em nível local. Entre essas barreiras, destacam-se:

- A centralização das ações na esfera estadual, com baixa capilaridade municipal;
- A ausência de políticas públicas locais consolidadas para fomentar a recomposição, o que dificulta o planejamento territorial adequado;
- A insegurança fundiária e a complexidade dos trâmites burocráticos para acessar recursos ou integrar iniciativas de restauração (IMAZON, 2017);
- A pressão econômica crescente pelo uso alternativo do solo, especialmente proveniente dos setores agropecuário e mineral, que compete diretamente com a disponibilidade de áreas para recomposição (IMAZON, 2013).

A discrepância observada entre os municípios paraenses e os líderes nacionais em restauração compromete o alcance das metas climáticas assumidas pelo Brasil. A incapacidade de alcançar escala funcional nos municípios do Pará significa que os benefícios esperados da recomposição — como conectividade ecológica, sequestro de carbono e proteção hídrica — permanecem limitados.

Além disso, a ausência de municípios paraenses no ranking nacional de destaque reforça a urgência em descentralizar as políticas ambientais e de fortalecimento das capacidades institucionais locais. Iniciativas como a criação de programas municipais de PSA, o incentivo à restauração produtiva e a valorização dos arranjos comunitários podem representar estratégias viáveis para ampliar o escopo e a eficácia das ações no estado.

6.3.Comparação entre a Supressão e a Recomposição da Vegetação Nativa

A análise integrada dos dados de desmatamento, degradação e recomposição da vegetação nativa no estado do Pará revela um profundo desequilíbrio entre os processos

de perda e os esforços de restauração ecológica. Entre 2018 e 2023, o estado registrou mais de 13,7 milhões de hectares desmatados, conforme dados do MapBiomas (2024). No mesmo período, os dados do Observatório da Restauração e Reflorestamento (ORR) indicam que o total restaurado acumulado até setembro de 2024 é de apenas 7,91 mil hectares — o que representa menos de 0,06% do total suprimido.

Esse contraste evidencia uma assimetria estrutural: a dinâmica de perda da cobertura vegetal ocorre em escala massiva, contínua e territorialmente dispersa, enquanto a recomposição ainda se dá de forma pontual, localizada e majoritariamente desconectada dos principais focos de pressão ambiental. A degradação florestal, por sua vez, tem se intensificado de forma silenciosa e acelerada, indicando uma nova frente de impacto que tende a escapar dos mecanismos convencionais de monitoramento e controle.

Essa comparação revela que, mesmo diante de metas ambiciosas estabelecidas em planos como o PRVN-PA e o PEAA, o ritmo atual das ações de recomposição é insuficiente para conter a perda líquida de vegetação nativa, tampouco para gerar os efeitos ecossistêmicos esperados em escala regional. A diferença de ordem de grandeza entre a supressão e a restauração aponta para a necessidade de revisão das estratégias públicas, com fortalecimento dos incentivos, da governança local e da articulação entre instrumentos de comando e controle e de fomento à recomposição.

6.4.Modelo Sistêmico da Recomposição da Vegetação Nativa no Pará

Antes da apresentação do modelo conceitual, a Tabela 2 a seguir sintetiza os principais dados analisados nesta pesquisa referentes ao estado do Pará, com o objetivo de oferecer uma visão consolidada do contexto atual da perda e da recomposição da vegetação nativa.

Tabela 2 - Síntese dos principais indicadores do Pará (2018–2024).

Indicador	Valor	Fonte
Área desmatada acumulada (2018–2023)	13.793.211 ha	MapBiomas (2024)
Pico anual de desmatamento	2.906.836 ha (2021)	MapBiomas (2024)
Área degradada na Amazônia em 2024	36.379 km² (↑497% vs. 2023)	IMAZON (2025)

Indicador	Valor	Fonte
Área restaurada acumulada no Pará até 2024	7.910 ha	ORR (2024)
Município paraense com maior área restaurada	São Félix do Xingu – 810 ha	ORR (2024)

6.4.1. Variáveis do Modelo Sistêmico

A partir da problemática evidenciada pelos dados de desmatamento, degradação e recomposição analisados nos itens anteriores, e com base em dados secundários provenientes de plataformas institucionais, relatórios técnicos, revisões bibliográficas e documentos de políticas públicas vigentes no estado do Pará, foi possível identificar e elencar as principais variáveis que compõem o sistema de recomposição da vegetação nativa modelado. Estas variáveis representam aspectos institucionais, econômicos, sociais e ambientais que se inter-relacionam de maneira dinâmica e foram representadas no Diagrama de Enlace Causal a seguir:

- **Regularização fundiária:** condição jurídica dos imóveis rurais, essencial para habilitar produtores a programas de recomposição florestal.
- **Regularização ambiental:** cumprimento das exigências legais, especialmente no que tange à recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL).
- **Avanço do desmatamento:** indicador da pressão antrópica sobre as áreas naturais, contrapondo-se aos esforços de restauração.
- **Políticas públicas:** conjunto de instrumentos normativos e programáticos que orientam a implementação de ações de recomposição.
- **Incentivos econômicos:** subsídios, créditos e pagamentos por serviços ambientais destinados a fomentar a restauração florestal.
- **Conservação dos recursos naturais:** manutenção da biodiversidade, dos solos e da qualidade da água, resultante das ações de recomposição vegetal.
- **Custo:** dimensão financeira envolvida na execução das ações de restauração, influenciada por fatores como insumos, logística e mão de obra.

- **Aumento da produtividade no campo:** impacto potencial da restauração, especialmente em sistemas integrados, sobre o desempenho agrícola e econômico das propriedades.
- **Conflito com atividade econômica:** disputa pelo uso da terra entre a restauração ecológica e atividades produtivas como agricultura, pecuária e mineração.
- **Falta de conhecimento/entendimento do processo:** barreira cognitiva e técnica por parte de produtores rurais e gestores locais, dificultando a adesão e a efetividade das ações.

Essas variáveis foram organizadas no modelo sistêmico com base em suas relações causais, possibilitando a identificação de ciclos de feedback que estruturam a dinâmica do sistema. A seguir, apresentam-se os ciclos de reforço (R+) e de equilíbrio (E-) identificados no DEC.

6.4.2. Ciclos de Feedback Identificados

A partir da análise do modelo construído, foram identificados seis ciclos de retroalimentação (feedback), sendo dois de reforço (R+) e quatro de equilíbrio (R-), conforme representado na Figura 3. Esses ciclos revelam como certas variáveis atuam de forma cíclica, promovendo ou limitando o avanço das políticas de recomposição da vegetação nativa no estado do Pará.

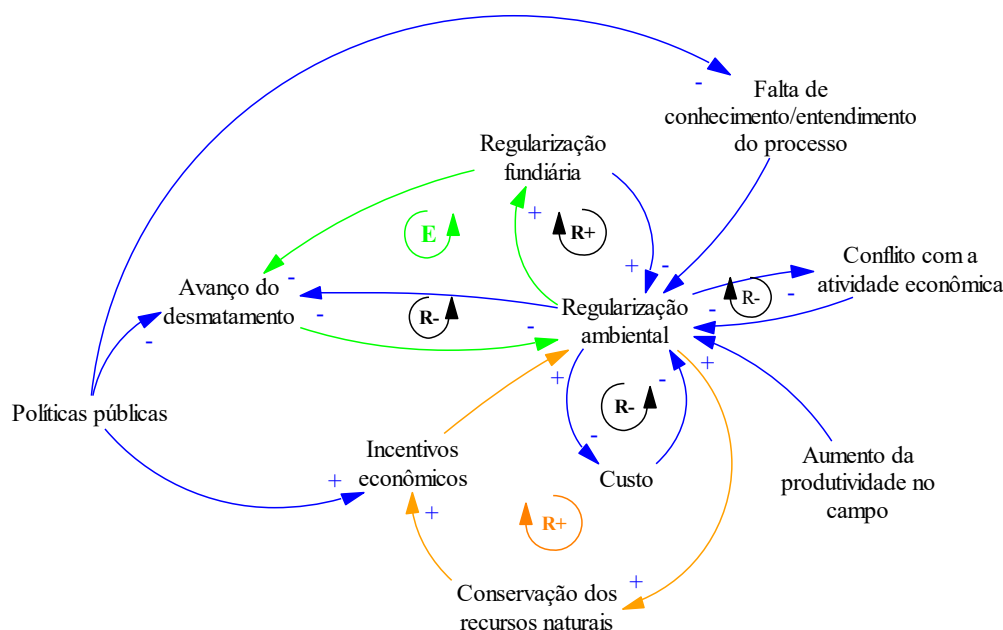


Figura 3 - Diagrama de Enlace Causal ilustrando os ciclos de retroalimentação (*feedback*) que afetam a efetividade das políticas de recomposição da vegetação nativa no estado do Pará.

Fonte: Elaborado pela autora.

- **Ciclo de Reforço R1 – Regularização ambiental e benefícios ambientais e econômicos**

Regularização ambiental → aumenta a conservação dos recursos naturais → o que estimula incentivos econômicos (ex: PSA, créditos verdes) → que reforçam o interesse na regularização ambiental.

Este ciclo positivo (R+) representa uma dinâmica virtuosa em que o cumprimento da legislação ambiental gera benefícios ambientais e econômicos que, por sua vez, incentivam novos esforços de regularização e restauração.

- **Ciclo de Reforço R2 – Regularização ambiental e fundiária**

Regularização ambiental → favorece a regularização fundiária → o que amplia a base legal para mais ações de regularização ambiental.

Este ciclo (R+) evidencia a interdependência entre os processos de adequação legal ambiental e fundiária. Um impulsiona o outro, criando uma base mais robusta para o avanço da restauração florestal.

- **Ciclo de Equilíbrio E1 – Regularização ambiental e custo**

Regularização ambiental → eleva o custo → o que dificulta novos processos de regularização ambiental.

Este ciclo de equilíbrio (R–) representa um obstáculo financeiro ao avanço da recomposição: quanto maior a exigência legal, maior o custo, o que tende a reduzir o ritmo de adesão às ações de regularização.

- **Ciclo de Equilíbrio E2 – Conflito com atividades econômicas**

Conflito com atividade econômica (como agropecuária ou mineração) → reduz o espaço político e territorial para regularização ambiental → o que, ao enfraquecer a governança, favorece novos conflitos.

Esse ciclo (R–) mostra como interesses produtivos atuam como forças de contenção à agenda ambiental, limitando a efetividade da recomposição em áreas prioritárias.

- **Ciclo de Equilíbrio E3 – Regularização fundiária, desmatamento e governança**

Regularização fundiária → tende a reduzir o avanço do desmatamento (ao coibir ocupações ilegais) → o que facilita a regularização ambiental → fortalecendo a necessidade de base fundiária sólida.

Diferente dos demais, este ciclo é de equilíbrio (E), pois a melhoria de uma variável (regularização fundiária) atua no controle de um fator limitante (desmatamento), estabilizando o sistema e reduzindo pressões futuras.

- **Ciclo de Equilíbrio E4 – Regularização ambiental e controle do desmatamento**

Regularização ambiental → promove o controle do avanço do desmatamento → o que reduz pressões futuras sobre áreas protegidas e aumenta a estabilidade do sistema.

Este ciclo (R–) evidencia que o fortalecimento da governança ambiental atua diretamente como freio ao desmatamento ilegal, estabilizando o sistema a médio e longo prazo.

A análise desses ciclos permite observar que, enquanto há mecanismos que tendem a reforçar o progresso da restauração, existem igualmente forças reguladoras que, se não forem tratadas com intervenções estratégicas, limitam o alcance das metas estabelecidas.

6.5.Síntese Interpretativa

A modelagem sistêmica e os dados empíricos levam à conclusão de que o avanço da recomposição vegetal no Pará depende de intervenções coordenadas em diferentes frentes: incentivos financeiros estáveis, fortalecimento da governança local, apoio técnico contínuo e valorização dos conhecimentos tradicionais.

O uso do DEC demonstrou-se eficaz para explicitar a dinâmica complexa que rege os processos de recomposição, oferecendo uma lente útil para a proposição de cenários qualitativos e políticas públicas mais estratégicas.

Além disso, a baixa capilaridade das ações de restauração nos municípios mais afetados pelo desmatamento reforça a urgência de políticas mais territorializadas e integradas às dinâmicas socioeconômicas locais. Os baixos índices de restauração frente à velocidade da degradação compromete o cumprimento das metas nacionais e internacionais de recuperação ambiental e exige um redirecionamento estratégico dos esforços institucionais.

Os dados apresentados nas seções anteriores restam evidente que o avanço da recomposição florestal no Pará ocorre em um contexto de intensa pressão antrópica e baixa capacidade de resposta institucional. O modelo proposto por meio do Diagrama de Enlace Causal (DEC) permite integrar esses diferentes vetores, como perda, resposta, entraves e oportunidades, em uma lógica sistêmica que orienta a identificação de alavancas estratégicas para intervenção. Ao incorporar variáveis como o custo, os conflitos de uso do solo e a governança ambiental, o modelo oferece uma base conceitual robusta para o redesenho de políticas públicas mais eficazes, territorializadas e alinhadas à realidade local.

7. Conclusões

Os resultados desta pesquisa evidenciam que a recomposição da vegetação nativa no estado do Pará ocorre em um cenário marcado por elevada pressão antrópica, expressa em taxas persistentes de desmatamento e agravamento da degradação florestal. Entre 2018 e 2023, o estado acumulou mais de 13,7 milhões de hectares desmatados, sendo este o maior volume entre os estados da Amazônia Legal, enquanto a área restaurada até 2024

somou apenas 7,91 mil hectares, revelando um profundo descompasso entre perda e recomposição da cobertura vegetal.

A análise das políticas e instrumentos vigentes revelou um arcabouço normativo relativamente consolidado, tanto em nível federal quanto estadual, com destaque para o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg) e o Programa Regulariza Pará. No entanto, observou-se uma limitação significativa quanto à descentralização dessas políticas para o nível municipal, o que compromete sua efetividade em escala local.

A comparação com municípios líderes em restauração no Brasil mostrou que o contexto paraense é caracterizado por baixa capilaridade, escassez de incentivos econômicos, insegurança fundiária e concorrência com usos alternativos do solo, como pecuária e mineração. Esses fatores dificultam a implementação de ações de restauração em larga escala e comprometem o alcance das metas nacionais de recuperação florestal.

A construção do modelo conceitual por meio da Dinâmica de Sistemas contribuiu para integrar os elementos identificados na análise empírica, representando os principais ciclos de reforço e equilíbrio que estruturam a dinâmica da recomposição no estado. O Diagrama de Enlace Causal (DEC) evidenciou que, embora existam forças positivas capazes de promover o avanço da restauração, como a regularização ambiental associada a benefícios econômicos e ambientais, essas são frequentemente limitadas por barreiras financeiras, institucionais e territoriais.

Conclui-se que o avanço da recomposição florestal no Pará depende de intervenções coordenadas em múltiplas frentes. Isso inclui o fortalecimento das instâncias locais de governança, a ampliação de incentivos técnicos e financeiros, a integração de políticas ambientais com estratégias de desenvolvimento territorial e o monitoramento contínuo dos indicadores de perda e recuperação da vegetação nativa. A abordagem sistêmica adotada nesta pesquisa demonstrou-se eficaz para identificar lacunas e propor caminhos estratégicos de superação, reafirmando a importância de análises integradoras e territorializadas para o aprimoramento das políticas públicas ambientais no estado e na Amazônia como um todo.

8. Referências bibliográficas

ALMEIDA, C. A. et al. Desafios para a implementação do Código Florestal no estado do Pará: regularização ambiental, incentivos econômicos e governança. Belém: Imazon, 2020. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/desafios-para-a-implementacao-do-codigo-florestal-no-estado-do-para/>. Acesso em: 2 maio 2025.

BRANCALION, P. H. S. et al. *Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes*. Science Advances, Washington, v. 5, n. 7, eaav3223, 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aav3223. Acesso em: 22 maio 2025.

BRASIL. *Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006*. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 dez. 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 27 maio 2025.

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938/1981 e nº 9.393/1996; revoga as Leis nº 4.771/1965 e nº 7.754/1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67/2001. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 15 setembro 2024.

BRASIL. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural. Brasília, 2012a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm. Acesso em: 15 setembro 2024.

BRASIL. *Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017*. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Proveg. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 jan. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D8972.htm. Acesso em: 9 maio 2025.

BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 9 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Biodiversidade Brasileira*. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>. Acesso em: 18 jan. 2021.

BRASIL. Ministério Público Federal. *Desmatamento – Brasil*. Câmara de Coordenação e Revisão, 2. Roteiro de atuação: desmatamento / 2. Câmara de Coordenação e Revisão. – Brasília: MPF, 2015. 90 p. (Série Roteiro de Atuação, 7).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg*. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/politica-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf. Acesso em: 24 maio 2025.

CHAZDON, R. L. *Restoring forests and ecosystem services on degraded lands*. Science, v. 356, n. 6339, p. 1036-1037, 2017. DOI: 10.1126/science.aam8320.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resoluções*. Disponíveis em: <https://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 9 maio 2025.

CONSERVADOR DA MANTIQUEIRA. *Plano Conservador da Mantiqueira*. 2022. Disponível em: https://conservadordamantiqueira.org/wp-content/uploads/2022/04/Folder-Plano-Conservador-da-Mantiqueira_2022_Finalizado_compressed.pdf. Acesso em: 26 maio 2025.

EMBRAPA. *Estratégia de Recuperação*. Disponível em: https://www.embrapa.br/codigo-florestal/plantio-por-mudas?p_auth=1Wwz6IdB&p_p_id=82&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_82_struts_action=%2Flanguage%2Fview&_82_redirect=%2Fcodigoflorestal%2Fplantio-por-mudas&_82_languageId=en_US. Acesso em: 18 jan. 2021.

EMBRAPA. Perguntas e respostas sobre o Código Florestal. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/entenda-o-codigo-florestal/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 18 maio 2025.

FERNANDES, A. *Scorecard Dinâmico: integrando a Dinâmica de Sistemas com o Balanced Scorecard*, Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Ouro Preto, Outubro 2003.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2021-2022*. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2023. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2023/05/SOSMAAtlas-da-Mata-Atlantica_2021-2022-1.pdf. Acesso em: 27 maio 2025.

FUNDO AMAZÔNIA. Programa Municípios Verdes. 2025. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/programa-municipios-verdes/>. Acesso em: 17 maio 2025.

FUNDO AMAZÔNIA. Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) - Fase 2. 2025. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Areas-Protegidas-da-Amazonia-Arpa-Fase-2/>. Acesso em: 17 maio 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. *Relatório institucional de atividades SEMAS 2020*. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Relatorio_de_Atividades_Semas_2020.pdf. Acesso em: 19 jan. 2021.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). *Oportunidades para restauração florestal no estado do Pará*. Belém: Imazon, 2017. Disponível em: <https://imazon.org.br/oportunidades-para-restauracao-florestal-no-estado-do-para/>. Acesso em: 18 maio 2025.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). *Amazônia fecha 2024 com queda de 7% no desmatamento, mas alta de 497% na degradação*. Belém: Imazon, 2025. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/amazonia-fecha-2024-com-queda-de-7-no-desmatamento-mas-alta-de-497-na-degradacao/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

IMAZON. *O Estado da Amazônia: Uso da Terra*. Belém: Imazon, 2013. Disponível em: <https://imazon.org.br/o-estado-da-amazonia-uso-da-terra/>. Acesso em: 26 maio 2025.

IMAZON. *Amazônia fecha 2024 com queda de 7% no desmatamento, mas alta de 497% na degradação*. 2025. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/amazonia-fecha->

[2024-com-queda-de-7-no-desmatamento-mas-alta-de-497-na-degradacao/](#). Acesso em: 18 maio 2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO) em 2019 é de 10.129 km². Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465. Acesso em: 19 jan. 2021.

MONGABAY. *How seed networks across Brazil are helping to restore biomes*. 2023. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2023/08/how-seed-networks-across-brazil-are-helping-to-restore-biomes/#:~:text=Collection%20of%20native%20seeds%20by,acres%20of%20vegetation%20by%202030>. Acesso em: 22 maio 2025.

NASCIMENTO, R. C. do *et al.* *Curso de capacitação para o Cadastro Ambiental Rural (CapCAR): histórico e evolução da legislação ambiental brasileira*. Lavras: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA), 2014. 22 p.: il. - (Introdução).

NUNES, S. *et al.* *Oportunidades para restauração florestal no Estado do Pará*. Belém, PA: Imazon; Curitiba: Conserve Brasil; Guaxupé: Terra Nativa Gestão & Negócios, 2017.

OBSERVATÓRIO DA RESTAURAÇÃO E REFLORESTAMENTO (ORR). *Camada de dados de restauração por estado e vegetação secundária – Pará*. Disponível em: <https://observatoriodarestauracao.org.br/app>. Acesso em: 24 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DO TRATADO DE COOPERAÇÃO AMAZÔNICA (OTCA); INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). *Forest seed chain generates income for traditional communities in the Brazilian Amazon and helps fight climate change*. 2024. Disponível em: <https://otca.org/en/forest-seed-chain-generates-income-for-traditional-communities-in-the-brazilian-amazon-and-helps-fight-climate-change/>. Acesso em: 22 maio 2025.

PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA. *O movimento*. Disponível em: <https://www.pactomataatlantica.org.br/o-movimento/>. Acesso em: 27 maio 2025.

PARÁ. Decreto nº 2.745, de 9 de novembro de 2022. Dispõe sobre o Programa Regulariza Pará. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pa/decreto-n-2745-2022-para-dispoe-sobre-o-programa-regulariza-para?r=p>. Acesso em: 17 maio 2025.

PARÁ. Decreto nº 3.552, de 30 de novembro de 2023. Institui o Plano Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Pará (PRVN-PA). Diário Oficial do Estado do Pará, Belém, 2023. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2024/02/Decreto-no-3.552-2023-Institui-o-Plano-Estadual-de-Recuperacao-da-Vegetacao-Nativa-do-Para-PRVN-PA.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS. *Pará vai implementar modelo de restauração florestal com créditos de carbono*. 22 dez. 2023. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2023/12/22/para-vai-implementar-modelo-de-restauracao-florestal-com-creditos-de-carbono/>. Acesso em: 02 mai. 2025.

PROJETO MAPBIOMAS. *Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. [S.l.]: MapBiomass, 2024. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/desmatamento?activeBaseMap=1&layersOpacity=100&activeModule=deforestation&activeModuleContent=deforestation%3Adeforestation_annual&activeYear=1987%2C2023. Acesso em: 29 jul. 2025.

RIBEIRO, M. C. et al. *The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation*. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

SILVA, J.A.A. et al. *O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo*. ISBN 978-85-8695-16-1, São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC: Academia Brasileira de Ciências, ABC. 2011. 124 p.

SOARES, L. S. V.; AGUIAR, A. A. M. L. *Os limites da obrigação da reposição florestal e o seu alcance aos novos proprietários: inaplicabilidade da obrigação in propter rem à imóveis com supressão vegetal preexistente*. *Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo*, Maranhão, v. 3, n. 2, p. 173-187, jul/dez. 2017.

SUDAM. Unidade de Recuperação da Vegetação Nativa - PRDA. Belém: Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia, 2023. Disponível em: <https://prda.sudam.gov.br/pdf/6118cb2ee10844c36ba532b4ee0bf79f.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

THE NATURE CONSERVANCY. TNC e Amazon se unem para impulsionar a restauração com cacau. 2021. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/tnc-e-amazon-impulsionam-restauracao-na-amazonia/>. Acesso em: 18 maio 2025.

THE NATURE CONSERVANCY. Concessões florestais podem ajudar a restaurar mais de 200 mil hectares, gerando empregos locais, receitas para o país e muitos outros benefícios. 2024. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/concessoes-florestais-restauracao/>. Acesso em: 18 maio 2025.

VILLELA, P. R. C. *Introdução à dinâmica de sistemas*. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Faculdade de Engenharia. 2005.

WRI BRASIL – World Resources Institute. Como funciona o pagamento por serviços ambientais a quem protege e restaura florestas. 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/como-funciona-o-pagamento-por-servicos-ambientais-quem-protege-e-restaura-florestas>. Acesso em: 26 maio 2025.