

ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA EM AMPLA ESCALA PARA O BRASIL

RELATÓRIO
TÉCNICO

Realização

Instituto
Escolhas

Edição

Setembro
2023

ficha técnica

Estudo idealizado pelo Instituto Escolhas

Biondendro Consultoria Florestal – Execução Técnica

Eduardo Gusson, Frederico Tomas de Souza e Miranda e Girlei Costa da Cunha

Instituto Escolhas – Coordenação Geral

Patrícia Pinheiro, Sergio Leitão e Virginia Antonioli

citar como

Instituto Escolhas. **Estratégias de recuperação da vegetação nativa em ampla escala para o Brasil**. Relatório Técnico. São Paulo, 2023.

—

Sumário

1. Apresentação.....	10
2. Introdução	12
3. Objetivo do estudo	15
I. Objetivos específicos	15
4. Aspectos legais referentes à recomposição da vegetação nativa.....	17
I. O Cadastro Ambiental Rural (CAR)	18
II. O Programa de Regularização Ambiental (PRA)	19
III. O monitoramento da implementação do PRA	20
IV. Supressão da vegetação antes de 22 de julho de 2008	20
V. Supressão da vegetação após 22 de julho de 2008	22
VI. Definição de APP e Reserva Legal	23
VII. Métodos de recomposição da vegetação nativa	23
VIII. Exploração econômica das APPs e RLs	25
IX. Oportunidades de negócios sustentáveis	26
5. Abordagem metodológica	28
I. Análises espaciais	29
a. Déficit de vegetação nativa nos imóveis rurais do país	29
b. Potencial de regeneração natural	29
II. Restauração da vegetação nativa	31
a. Apresentação dos métodos de restauração ecológica	35
Regeneração natural (ou restauração passiva)	35
Condução da regeneração natural (ou restauração assistida)	36
Condução da regeneração natural + enriquecimento	38
Condução da regeneração + adensamento + enriquecimento	39
Plantio de mudas arbóreas nativas em área total	40
Semeadura direta em área total	41
b. Modelos de restauração econômica	42
Sistemas agroflorestais (SAFs).....	42
Sistema de produção madeireira (SPM)	50
Modelos de sistemas agroflorestais (SAFs)	59
Modelos de sistemas de produção madeireira (SPM)	65
III. Definição de estratégias para a restauração em ampla escala no país	67

IV.	Composição dos custos dos projetos de restauração florestal	69
a.	Mão de obra – dimensionamento de equipe	69
	Valores da mão de obra	72
	Terceirização dos trabalhos	74
b.	Máquinas e equipamentos	76
c.	Materiais e insumos	77
	Demanda por mudas florestais	79
V.	Composição dos custos dos projetos de recuperação da vegetação	80
VI.	Quantificação dos benefícios gerados pela restauração em ampla escala no país	82
a.	Avaliação financeira dos modelos de restauração com viés econômico.....	82
b.	Potencial de estoque de carbono nos sistemas de restauração	85
c.	Produção dos sistemas de restauração com viés econômico.....	86
6.	Resultados do estudo.....	88
I.	Status quo da recuperação da vegetação nativa no Brasil	88
II.	Estimativa de déficit de vegetação nativa nos imóveis rurais do país	90
a.	Distribuição dos déficits de vegetação nativa por biomas, estados e regiões	92
b.	Distribuição dos déficits de vegetação em função da estrutura fundiária	94
III.	Potencial de regeneração natural nos biomas e macrorregiões do Brasil	95
IV.	Estratégia de restauração para o alcance da meta iNDC-Brasil	101
V.	Análise dos custos da restauração florestal	106
a.	Custos por método de restauração ecológica.....	106
	Influência do espaçamento de plantio nos custos da restauração	109
	Influência da mão de obra nos custos da restauração	111
	Diferenças dos custos para os métodos de plantio em área total	112
	Distribuição dos custos dos diferentes métodos de restauração ecológica.....	114
	Outros fatores que impactam na variação dos custos da restauração	117
b.	Comparação dos custos da restauração ecológica no Brasil	121
c.	Custos e receitas da Restauração com viés Econômico – SAF e SPM	123
d.	Qual o investimento necessário para o alcance da meta da iNDC-Brasil 2015 (12 milhões de hectares)?.....	130
VI.	Demanda de mudas florestais para o atingimento da meta iNDC-Brasil	133
VII.	Benefícios gerados pela implementação da meta de restauração da iNDC-Brasil	136
a.	Potencial de geração de emprego pelo setor de restauração florestal	136
b.	Potencial de remoção de carbono atmosférico com a meta iNDC-Brasil	141

c.	Potencial de produção de madeira	145
d.	Potencial de produção de alimentos	147
7.	Considerações finais.....	151
	Referências bibliográficas	154
	Apêndices.....	159

Lista de figuras

- Figura 1. Comparação dos custos da restauração dos plantios em área total 108**
- Figura 2. Aumento percentual do custo da restauração de plantios de sementes e mudas, realizada com a contratação de mão de obra, com relação à execução pelo próprio agricultor 108**
- Figura 3. Proporcionalidade da alocação de recursos monetários para os componentes do custo da restauração, de acordo com as diferentes formas de emprego de mão de obra nos projetos 116**
- Figura 4. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração com SPM 126**
- Figura 5. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SPM com taxa de desconto de 10%..... 126**
- Figura 6. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SAF 129**
- Figura 7. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SAF com taxa de desconto de 10%..... 129**

Lista de tabelas

Tabela 1. Fator de expansão de produtividade para os biomas (e fitofisionomias) a partir dos valores observados nas regiões da Mata Atlântica e da Amazônia	52
Tabela 2. Quadro de áreas (em milhões de hectares – Mi ha) de déficit de vegetação nativa em APPs e RLs para cada bioma	92
Tabela 3. Áreas (ha) de déficits de vegetação nativa em APPs e RLs dentro dos estados	93
Tabela 4. Relação da área com déficit de vegetação nativa em APPs e RLs dos imóveis rurais em todas as regiões do país, divididos conforme sua classificação (pequeno, médio e grande)	94
Tabela 5. Distribuição do déficit de vegetação para as diferentes classes de imóveis no país, calculada a partir dos valores da Tabela 4	95
Tabela 6. Quadro com as percentagens de áreas antrópicas nas três classes de potencial de regeneração natural (baixo, médio e alto), distribuídas por bioma para as macrorregiões do Brasil	96
Tabela 7. Percentagens do potencial de regeneração natural das áreas antrópicas dos biomas brasileiros	97
Tabela 8. Distribuição dos déficits de vegetação nativa em APPs e RLs. em suas respectivas classes de potencial de regeneração natural	99
Tabela 9. Alocação dos diferentes métodos de restauração para a recomposição das áreas com déficit de vegetação nativa em APPs para o cumprimento da meta iNDC-Brasil	103
Tabela 10. Alocação dos diferentes métodos de restauração para a recomposição das áreas com déficit de vegetação nativa em RLs para o cumprimento da meta iNDC-Brasil	104
Tabela 11. Estimativa média custo total da restauração florestal no Brasil (R\$/hectare) para os diferentes métodos, considerando o espaçamento de plantio adotado, a forma de operacionalização e o pagamento da mão de obra	106
Tabela 12. Alocação dos recursos para os diferentes componentes do custo dos projetos de restauração florestal	115
Tabela 13. Estimativa dos custos de restauração (R\$/ha) apresentados por outros estudos	121
Tabela 14. Resultados das análises econômicas, por hectare, dos sistemas de produção madeireira (SPMs), por região e nacional	125
Tabela 15. Resultados das análises econômicas, por hectare, dos sistemas agroflorestais (SAFs), por região e nacional	128
Tabela 16. Estimativa do recurso financeiro necessário para o alcance da meta de recuperação florestal da iNDC-Brasil	131

Tabela 17. Demanda por mudas florestais, exóticas e nativas, nos diferentes modelos de restauração florestal para a recomposição de 12 milhões de hectares	134
Tabela 18. Empregos diretos gerados (para cada 100 hectares) pelos projetos de restauração ecológica implantados pelos diferentes métodos aplicados no estudo	137
Tabela 19. Estimativa da média de empregos diretos gerados (para cada 100 hectares) em projetos de restauração com viés econômico utilizando sistemas agroflorestais e sistema de produção madeireira.....	137
Tabela 20. Estimativa de geração de emprego para implementação das ações de restauração para alcance da meta INDC-Brasil de 12 milhões de hectares de reflorestamento/recuperação florestal	139
Tabela 21. Relação da média das estimativas de estoque potencial de carbono na biomassa das árvores acima e abaixo do solo, carbono total e o equivalente em CO ₂ pela implementação dos modelos ecológicos de restauração florestal nos seis biomas brasileiros	142
Tabela 22. Relação das estimativas médias do estoque potencial de carbono acima e abaixo do solo, carbono total e CO ₂ eq dos modelos de produção madeireiras propostos para as diferentes macrorregiões e para os sistemas agroflorestais	143
Tabela 23. Estoque potencial de CO ₂ e para cada método de restauração florestal alocados nas diferentes macrorregiões com a implementação da meta INDC-Brasil de 12 milhões de hectares	144
Tabela 24. Volume (m ³) dos diferentes produtos madeireiros gerados nos diferentes ciclos dos modelos dos sistemas de produção madeireira (SPMs) propostos.....	146
Tabela 25. Relação da produção total e anual dos alimentos/produtos oriundos dos modelos dos sistemas agroflorestais propostos com a produção nacional anual e o percentual de aumento da produção com os SAFs propostos	148

Lista de quadros

Quadro 1. Lista das espécies com potencial para uso em sistemas agroflorestais e suas respectivas características	46
Quadro 2(a). Estimativa de produtividade das árvores das espécies nativas nos diferentes biomas e fitofisionomias (Incremento Médio Anual - IMA em m ³ /árvore/ano)	54
Quadro 3. Ciclos de corte e valores da venda da madeira para os diferentes sistemas de produção das espécies (Aprov. – aproveitamento; Espaç. – espaçamento do plantio)57	
Quadro 4. Alocação dos diferentes métodos de restauração florestal e modelos econômicos com base na classe da área protegida, nas categorias de imóveis rurais e nas classes de potencial de regeneração natural.....	67
Quadro 5. Códigos CBO das ocupações envolvidas nos projetos de restauração florestal	72
Quadro 6. Proporção de salário de uma equipe de projeto em função da subordinação por função	73
Quadro 7. Salários médios recebidos pelos profissionais da restauração florestal (R\$)	74
Quadro 8. Preço dos combustíveis e valor de horas-máquina de equipamentos semimanuais e tratores.....	76
Quadro 9. Preços médios de referência (no país) dos materiais e insumos utilizados nos projetos de restauração florestal	78

1.

Apresentação

Este estudo foi realizado com o objetivo de estimar o investimento necessário para recompor a vegetação nativa em ampla escala no país para alcançar a meta de restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares apontada na iNDC-Brasil.

Para o entendimento das questões legais envolvendo a recomposição da vegetação nativa, é apresentado um resumo dos principais dispositivos presentes na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012) e de suas normas relacionadas ao tema da restauração da vegetação.

Considerando que essas ações devem ocorrer predominantemente, mas não somente, em virtude da demanda de regularização ambiental dos imóveis rurais, buscou-se calcular os números relacionados aos déficits de vegetação nas diferentes classes desses imóveis (pequena, média e grande posse ou propriedade rural) e sua distribuição nas macrorregiões e biomas do país.

Com base no potencial de regeneração natural da paisagem rural e nas premissas apontadas pela Lei nº 12.651/2012, propôs-se um arranjo de alocação de diferentes métodos de restauração mais plausíveis de aplicar na recomposição de Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal dessas diferentes classes de imóveis rurais.

Esses métodos consideram tanto as práticas de restauro estritamente voltadas ao cumprimento de sua função ecológica quanto os modelos econômicos florestais e agroflorestais de produção de madeira e de produtos não madeireiros, inclusive alimentos da sociobiodiversidade das diferentes regiões do país – na perspectiva de conciliar segurança nutricional e soberania alimentar com adequação ambiental e promoção de serviços ecossistêmicos.

A partir das estimativas de custos por hectare dos diferentes métodos propostos foi possível inferir o montante de recursos necessários para a implementação dessa agenda ambiental. Além das estimativas dos custos de implantação, manutenção e manejo desses métodos, quantificaram-se também as oportunidades de receitas proporcionadas pelos sistemas produtivos, a fim de explicitar o potencial de uso dos modelos na regularização ambiental das áreas de proteção como meio de viabilizar financeiramente as iniciativas de restauração. Inclui-se nesta análise a quantificação

potencial de remoção de carbono atmosférico e sua estocagem na biomassa desses neoeossistemas, numa demonstração dos impactos positivos no combate às mudanças climáticas que serão gerados com as iniciativas de adequação ambiental.

Calculou-se também a demanda por frentes de trabalho para a implementação dessas ações no país, a fim de estimar a capacidade de geração de emprego e, assim, compreender como essas atividades potencialmente sustentáveis podem contribuir para minimizar a pobreza e as desigualdades sociais. Por fim, a estimativa da produção total de madeira, produtos florestais não madeireiros e alimentos, muitos dos quais relacionados à sociobiodiversidade das diferentes regiões, teve como objetivo verificar a contribuição dessas iniciativas para o suprimento da demanda do mercado.

2. Introdução

A mais importante meta brasileira de restauração da vegetação nativa em ampla escala foi apresentada pelo país, em 2015, ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, por meio de sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) (em inglês, intended Nationally Determined Contribution). Entre outras contribuições, o Brasil indicou a pretensão de adotar medidas para restaurar e reflorestar, para múltiplos propósitos, 12 milhões de hectares de florestas até 2030 (BRASIL, 2015)¹.

Reflorestar ou restaurar florestas, bem como promover mecanismos de conservação da vegetação nativa preexistentes, é uma das formas mais eficientes de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, dada a capacidade potencial desses sistemas para remover e estocar carbono. Porém, a importância da vegetação nativa não se limita apenas aos impactos positivos em relação ao balanço de emissões e remoções de gases de efeito estufa do país, uma vez que as florestas respondem também por inúmeros outros serviços ecossistêmicos de importância fundamental para a sustentabilidade das atividades econômicas e a garantia de bem-estar à população, tanto do campo como da cidade.

Ações de restauração da vegetação nativa vêm sendo realizadas há décadas no país, porém ainda são insuficientes. Para se ter uma ideia, o Observatório da Restauração e Reflorestamento – iniciativa conduzida pela Coalização Brasil: Clima, Floresta e Agricultura – informa em sua base cadastral um total de cerca de 79,13 mil hectares de áreas de restauração da vegetação. Apesar dessa base certamente não conter a

¹ Brasil. “Intended Nationally Determined Contribution (iNDC): Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change”. Brasília: República Federativa do Brasil, 2015.

totalidade das ações de restauro realizadas no país, os dados demonstram quão distante se está de atingir patamares mais elevados de áreas efetivamente restauradas.

As iniciativas de restauração da vegetação já realizadas possibilitam que atualmente se reconheçam os métodos e técnicas mais adequados a diferentes situações de áreas e objetivos dos projetos e as tecnologias eficazes para a realização de diversas operações de implantação e manejo, incluindo estimativas de custos. No âmbito da ciência, as lacunas relacionadas à ecologia da restauração vêm aos poucos sendo supridas com inúmeros estudos realizados pelas instituições de pesquisa, e também com a divulgação de informações práticas empíricas dos restauradores.

Contudo, há outras barreiras a transpor para que as iniciativas de restauração de vegetação no país possam, de fato, ser implementadas na escala e na velocidade almejadas para o alcance das metas traçadas. Um aspecto primordial para isso é reconhecer os custos envolvidos nas ações de restauração, e assim ter a dimensão do grau de investimento necessário e de como este pode ser direcionado para que se obtenha o melhor custo-efetividade de aplicação.

Nesse sentido, em 2016 o Instituto Escolhas realizou um estudo no intuito de responder à seguinte questão: “Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de florestas?”. Esse estudo, focado na implementação de ações nos biomas Mata Atlântica e Amazônia, contribuiu para o conhecimento sobre os custos para a restauração florestal, apresentando as oportunidades de geração de receitas, empregos e arrecadação de impostos com a alavancagem de um mercado de restauração florestal. Também abordou estratégias para coadunar essa meta brasileira com a implementação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), algo que foi apreciado e discutido por especialistas e formuladores de políticas públicas envolvidos com a temática.

Em 2023, passados sete anos da elaboração do estudo, há novas informações sobre o tema, inclusive relevantes dados da comunidade científica que podem ser analisados e aplicados para propor novos caminhos para a restauração em escala no Brasil. Nesse período também foram se firmando os instrumentos legais, de comando e controle, relacionados à regulamentação do Programa de Regularização Ambiental (PRA) nos estados, que deverão ser aplicados nos próximos anos como forma de adequação do uso do solo das áreas destinadas à proteção da vegetação nativa dos imóveis rurais. Concomitantemente, instrumentos voluntários de incentivo à restauração foram amadurecendo sob a forma de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), cooperações técnicas, acordos setoriais para compensação ambiental e demais mecanismos que favorecerão o atingimento da meta nacional da iNDC.

No entanto, no campo político socioambiental, esses últimos sete anos foram marcados por retrocessos significativos, incluindo a descontinuação ou o desvirtuamento de programas governamentais voltados à conservação do meio ambiente e o desmantelamento dos órgãos de gestão e fiscalização ambientais, com o que o Brasil se distanciou das metas assumidas junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, ficando à margem das discussões e decisões relativas a esse tema.

A partir de 2023, com o redirecionamento das intenções por parte da gestão pública, a expectativa é de que haja a reconstrução de uma agenda ambiental positiva e robusta, que concilie a produção rural alicerçada nos preceitos da conservação, preservação, restauração ambiental e desenvolvimento sustentável.

Aproveitando do redirecionamento, este estudo buscou investigar e sistematizar informações que possam contribuir para as ações de recuperação florestal em ampla escala no país, em especial expandindo a discussão a respeito dos possíveis ganhos econômicos e sociais da restauração florestal em larga escala e trazendo ao debate questões fundamentais para o processo de tomada de decisão para sua efetiva implementação.

3.

Objetivo do estudo

O estudo pretende apresentar um panorama atualizado do investimento necessário para a implementação de uma agenda progressiva de restauração florestal, trazendo os custos de implantação, manutenção e manejo de diferentes métodos aplicáveis e avaliando as oportunidades de receitas, obtidas por meio da comercialização dos produtos oriundos de modelos econômicos de restauração, como alimentos e madeira. Além disso, fornece estimativas sobre a geração de emprego e renda com a implementação dessas iniciativas em ampla escala, no intuito de contribuir com a definição de estratégias para a adequação ambiental da paisagem rural do país.

I. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a distribuição dos déficits de vegetação nativa das áreas legalmente destinadas à proteção ambiental para as diferentes categorias de imóveis rurais do país, consolidando as informações por bioma e macrorregião;
- Apresentar os métodos de restauração da vegetação mais adequados para o potencial de regeneração natural e o objetivo das intervenções, considerando tanto a restauração com a finalidade estritamente ecológica como a restauração com viés econômico, em conformidade com as premissas da Lei de Proteção da Vegetação Nativa;
- Calcular o custo dos projetos de restauração implantados segundo os diferentes métodos, apontando as variáveis que podem influenciar os valores estimados;
- Estimar as receitas da comercialização de produtos florestais e agroflorestais obtidos por meio do manejo de sistemas de restauração florestal com viés econômico;

- Quantificar o potencial de geração de emprego em frentes de trabalho para restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares;
- Estimar a produção de alimentos e produtos madeireiros e não madeireiros provida pelos sistemas econômicos de restauração;
- Calcular o potencial de remoção e armazenamento de carbono pela implementação da meta de restauração iNDC-Brasil.

4.

Aspectos legais referentes à recomposição da vegetação nativa

A principal norma que rege o tema relacionado à recomposição da vegetação nativa é a Lei Federal de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), popularmente conhecida como Novo Código Florestal por revogar na íntegra o Código Florestal anterior (Lei nº 4.771/1965). Por meio dessa nova lei foram criados dois instrumentos jurídicos essenciais para a adequação ambiental da paisagem rural do país: o Cadastro Ambiental Rural (CAR), com o objetivo de identificar o déficit de vegetação em áreas legalmente protegidas nos imóveis rurais, e o Programa de Regularização Ambiental (PRA), para viabilizar a regularização do passivo ambiental, em especial as áreas rurais consolidadas em Áreas de Preservação Permanente (APP) e em áreas de Reserva Legal (RL).

O Decreto Federal nº 7.830/2012 e, posteriormente, o Decreto Federal nº 8.235/2014 definiram as diretrizes do CAR e estabeleceram normas gerais para a implementação do PRA nos estados, atribuindo a eles a responsabilidade por sua regulamentação por meio da edição de normas de caráter específico, em razão das peculiaridades locais.

Portanto, há regras de caráter geral com relação ao PRA, definidas no âmbito da lei federal, e especificidades apresentadas nas normas dos PRAs dos estados. Assim, considerando que as áreas disponíveis onde a maioria das ações de restauração deve ocorrer estão relacionadas aos passivos de APP e Reserva Legal dos imóveis rurais, é importante reconhecer as normas vinculadas ao PRA específicas de cada estado. Esse reconhecimento permite ter uma definição conclusiva quanto ao método de restauração

escolhido e avaliar se as práticas e técnicas aplicadas estão em consonância com as regras vigentes, por exemplo, quanto ao plano temporal para a realização das ações de recomposição, quanto ao uso de espécies exóticas nos sistemas e quanto à forma de monitorar e demonstrar o cumprimento dos compromissos assumidos com os órgãos ambientais.

Para contextualizar alguns aspectos legais orientativos das práticas relacionadas à recomposição da vegetação em áreas protegidas dentro dos imóveis rurais, este tópico traz uma breve compilação sobre a abordagem da Lei nº 12.651/2012 com relação ao tema, apresentando também números gerais sobre o CAR e o PRA.

I. O CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)

Em março de 2023, a base federal do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SiCAR) registrava 6,9 milhões de imóveis, correspondentes a uma área de 653,5 milhões de hectares. Do total de cadastros, 1,72 milhão já tiveram algum tipo de análise e 46 mil apresentavam a análise ambiental concluída (BRASIL, 2023). Apesar de em princípio o cadastro no SiCAR ser possível a qualquer momento, o prazo-limite para que este fosse efetivado, a fim de garantir o direito do proprietário/possuidor do imóvel rural a aderir ao PRA, encerrou-se no final de 2020. Contudo, isso foi alterado com a Medida Provisória nº 1.150/2022, que extinguiu o prazo-limite da inscrição do CAR. O assunto permanece em discussão e tramitação na casa legislativa federal.

Anualmente, a Climate Policy Initiative (CPI) tem apresentado uma radiografia da situação do CAR e do PRA nos estados brasileiros, por meio da publicação do estudo “Onde estamos na implementação do Código Florestal?”. Na edição relativa aos dados de 2022 (LOPES et al., 2022), os estados que se destacaram nas análises do CAR foram São Paulo (89%), Espírito Santo (70%), Mato Grosso (51%) e Pará (51%). Porém, em nível nacional apenas 12% dos imóveis haviam sido analisados até final de 2022. O estudo também aponta que, em termos de finalização da análise, o Espírito Santo é o que mais avançou, tendo concluído 70% da análise dos cadastros. Em contraponto, o percentual de análises concluídas do CAR no país ainda é de apenas 2%.

II. O PROGRAMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL (PRA)

Segundo os instrumentos e procedimentos do PRA, as áreas destinadas à proteção ambiental das propriedades rurais que sejam consideradas áreas rurais consolidadas e estejam desprovidas de vegetação nativa podem ser regularizadas por meio de Termos de Compromisso (TC) firmados com os órgãos ambientais. A inscrição dos imóveis rurais no CAR é requisito básico para a adesão ao PRA, que, vinculada ao cumprimento do TC, possibilita o acesso a alguns benefícios do programa. Dentre eles, destacam-se: a recomposição dos passivos de vegetação em até 20 anos²; a possibilidade de exploração dos recursos naturais, dentro dos limites estabelecidos nas normas, especialmente nas áreas de RL; a possibilidade de uso de espécies exóticas, limitando sua ocupação a até 50%; a suspensão de sanções administrativas decorrentes de infrações relativas à supressão irregular de vegetação em APP ou RL ocorridas antes de 22 de julho de 2008, bem como a suspensão da punibilidade dos crimes previstos na Lei Federal nº 9.605/1998 associados a essas infrações; e a aptidão para acesso a créditos rurais para desenvolvimento das atividades econômicas.

Findado o cumprimento das obrigações assumidas no TC, as multas, caso existentes, passam a ser consideradas como convertidas em serviços de preservação, melhoria e recuperação da qualidade do meio ambiente.

O Boletim Informativo do SiCAR (BRASIL, 2023) aponta que 50% dos imóveis rurais cadastrados apresentaram solicitação de adesão ao PRA, com destaque positivo para o Espírito Santo (90% de solicitação) e negativo para São Paulo (com a menor percentagem, apenas 12%).

O prazo para adesão ao PRA, definido inicialmente pela Lei nº 12.651/2012 como sendo de dois anos após a inscrição do imóvel rural no CAR, foi mais uma vez postergado, por meio da Lei nº 14.595/2023: para as propriedades e posses rurais com mais de 4 módulos fiscais, o novo prazo vai até final de 2023, e para as pequenas propriedades ou posses com menos de 4 módulos fiscais, até final de 2025.

Conforme o estudo da CPI anteriormente citado, 14 estados já regulamentaram efetivamente o PRA e adotaram normas para recuperação dos passivos em APP e Reserva Legal, havendo ainda 12 estados com demanda urgente de definição para o funcionamento do programa. Conforme observado no estudo da CPI, nesses estados onde o PRA não está regulamentado ou a regulamentação adotada ainda não é suficiente, a falta de procedimentos e critérios estabelecidos para a recuperação dos

² Há estados que limitam a recomposição do passivo em APP a até dez anos, mantendo o prazo de 20 anos para as áreas de Reserva Legal.

passivos de vegetação traz insegurança jurídica e prejudica o avanço das ações de implementação da Lei nº 12.651/2012.

III. O MONITORAMENTO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PRA

O acompanhamento do cumprimento dos acordos de recomposição firmados por meio dos Termos de Compromisso no âmbito do PRA é atribuição dos órgãos ambientais estaduais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). Isso ocorre através das ferramentas de análise geoespaciais, em programa computacional vinculado ao sistema do CAR, atualmente renomeado como Módulo de Regularização Ambiental (MRA). O monitoramento, em alguns estados, demanda observações de indicadores ambientais in loco que atestem o alcance das metas de recomposição da vegetação. Os valores de referência desses indicadores são distintos em função das características da fitofisionomia que está sendo recomposta. De modo geral, os indicadores relacionam-se a parâmetros de estrutura e composição, tais como cobertura de copa, diversidade de espécies e quantidade de indivíduos regenerantes.

Dessa forma, os projetos de recomposição devem ser planejados e conduzidos de modo a alcançar os parâmetros mínimos adequados para cada etapa do processo de recomposição da vegetação, sendo considerada a área efetivamente recomposta quando os projetos atingirem de modo satisfatório os valores mínimos preestabelecidos para cada indicador.

IV. SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO ANTES DE 22 DE JULHO DE 2008

Apesar da reconhecida importância da vegetação das APPs, não havia no antigo Código Florestal, bem como em normas regulamentadoras, dispositivos que obrigassem o proprietário rural a recompô-las nos casos em que se encontrassem desprovidas de cobertura vegetal nativa. Com a vigência da Lei nº 12.651/2012, a obrigatoriedade de recomposição da vegetação em APPs hídricas³ foi definida no art. 61-A, sendo

³ O Termo “APP hídrica” denota as situações de faixas de proteção ambiental do terreno em decorrência da existência de nascentes e olhos d’água ou cursos e corpos d’água, se diferenciando das demais situações de APP delimitadas pelo Art. 4º da Lei nº 12.651/2012 (por exemplo, topo de morro, encostas, bordas de tabuleiros e chapadas), por serem áreas onde a recomposição da vegetação deverá ocorrer segundo as regras estabelecidas no Art. 61-A desta lei.

diferenciada em função do número de módulos fiscais⁴ da propriedade ou posse rural, conhecida como “regra da escadinha”.

A “regra da escadinha” é referente à adoção da faixa mínima obrigatória de recomposição das APPs hídricas. Pelas regras, imóveis rurais de menor tamanho, definido pelo número de módulos fiscais, são obrigados a recompor faixas menores das áreas consolidadas em APP. Importante não confundir os limites mínimos obrigatórios de recomposição da vegetação em áreas rurais consolidadas com os limites mínimos dessas áreas de proteção apresentados no art. 4º dessa lei. Para compreender a “regra da escadinha”, é preciso entender o conceito sobre Área Rural Consolidada criado pela nº Lei 12.651 (inc. IV do art. 3º), que diz respeito à ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio.

Então, com relação à área mínima de recomposição obrigatória da vegetação nativa das APPs hídricas, esses limites inferiores aos limites mínimos de APP presentes no art. 4º da Lei nº 12.651/2012 são aplicados somente nos casos em que as áreas tiveram seu uso consolidado antes de 22 de julho de 2008 e desde que tenha havido a adesão do proprietário ou posseiro do imóvel rural ao Programa de Regularização Ambiental e, ainda, não ocorra supressão de vegetação nativa adicional no imóvel rural.

Ademais, caso venha a ocorrer a supressão de vegetação nativa no imóvel rural, independentemente da localização e se autorizada ou não pelo órgão ambiental, pelos dispositivos dessa Lei, perde-se o direito do uso da “regra da escadinha”. Nesse caso, a área a ser recomposta seguirá os limites mínimos estabelecidos no art. 4º da Lei, ou seja, a área total de APP.

Nas APPs com uso consolidado, onde a recomposição da vegetação nativa não é obrigatória, se cumpridas as exigências e prazos da regularização ambiental relacionados ao CAR e ao PRA, a Lei nº 12.651/2012 autoriza a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural, sendo o proprietário ou possuidor rural responsável pela conservação do solo e da água, por meio da adoção de boas práticas agronômicas. É inclusive admitida em toda a APP, independentemente da faixa mínima obrigatória de recomposição, a manutenção de residências e da

⁴ Módulo fiscal: é uma unidade de medida, em hectares, cujo valor é fixado pelo Incra para cada município levando-se em conta: a) o tipo de exploração predominante no município (hortifrutigranjeira, cultura permanente, cultura temporária, pecuária ou florestal); b) a renda obtida no tipo de exploração predominante; c) outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada; d) o conceito de “propriedade familiar”. A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está localizada a propriedade. O valor do módulo fiscal no Brasil varia de 5 a 110 hectares. (Fonte: Embrapa; disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>. Acesso em: 15 ago. 2023.)

infraestrutura associada e acessos a essas atividades edificadas antes de 22 de julho de 2008, desde que não estejam em área que ofereça risco à vida ou à integridade física das pessoas.

As áreas rurais consolidadas de Reserva Legal devem ter a vegetação recomposta caso a propriedade ou posse rural não possua o percentual mínimo delimitado no art. 12 da Lei nº 12.651/2012, podendo também ser utilizados os mecanismos de compensação de Reserva Legal por esta estabelecida. Sobre esses percentuais mínimos, alguns dispositivos importantes na interpretação da lei devem ser observados, como: o art. 67, o qual estabelece que, nas pequenas propriedades e posses rurais que possuam percentuais inferiores ao previsto no art. 12, a Reserva Legal será constituída pela vegetação nativa remanescente existente em 22 de julho de 2008, desobrigando as propriedades de fazer a recomposição da Reserva Legal; e o art. 68, que também dispensa as médias e grandes propriedades de alcançar os percentuais mínimos de Reserva Legal se a supressão de vegetação nativa foi realizada respeitando a legislação em vigor à época.

V. SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO APÓS 22 DE JULHO DE 2008

É importante salientar que a Lei de Proteção da Vegetação Nativa traz tratamento diferenciado para as áreas de vegetação que foram suprimidas após 22 de julho de 2008, conforme se segue: as atividades econômicas nas áreas devem ser cessadas, com início imediato das intervenções de restauração; a recomposição da vegetação deve ser realizada no mesmo local onde ocorreu a supressão, não podendo ser utilizados os mecanismos de compensação de Reserva Legal em área fora da propriedade; perde-se o direito de cômputo de APP como Reserva Legal; na recomposição da vegetação não é permitido o uso de espécies exóticas; não é admitida a exploração da vegetação, sendo a recomposição realizada com objetivos ambientais estritos visando à reparação do dano; o proprietário ou possuidor responsável fica sujeito às sanções e penalidades aplicáveis por infringir os dispositivos das normas de crimes ambientais.

Portanto, de modo geral, as regras previstas no âmbito do PRA não são aplicáveis para as situações de supressão após 22 de julho de 2008, que, se realizada sem a devida autorização, constitui uma infração sujeita às sanções e penalidades cabíveis definidas pela Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998).

VI. DEFINIÇÃO DE APP E RESERVA LEGAL

Área de Preservação Permanente (APP): área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Reserva Legal (RL): área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do Art. 12 da Lei nº 12.651/2012, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção da fauna silvestre e da flora nativa.

As definições evidenciam as diferentes funções e objetivos de APPs e RLs, aspecto que deve ser relevante na escolha dos métodos de restauração a serem adotados. A recomposição da vegetação nas APPs tem como enfoque a preservação da integridade e a perenidade dos recursos naturais presentes nos ecossistemas, ao passo que nas áreas de Reserva Legal os métodos adotados podem ser direcionados considerando a possibilidade de utilização de forma sustentável dos recursos naturais.

A legislação, no entanto, traz uma diferenciação com relação ao uso das APPs quando se trata de pequena propriedade ou posse rural familiar ou por povos e comunidades tradicionais, possibilitando o manejo agroflorestal sustentável nessas áreas.

VII. MÉTODOS DE RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA

A legislação permite que a recomposição da vegetação seja realizada por meio de qualquer dos métodos já reconhecidos e praticados com esse intuito. Entre esses métodos, estão desde as práticas que facilitam o estabelecimento da vegetação nativa via regeneração natural até as de reintrodução da vegetação via plantio de mudas ou semeadura de espécies nativas.

Apenas para conceituar melhor, entende-se por facilitação da regeneração natural da vegetação nativa uma prática que favoreça o estabelecimento natural das plantas nativas na área em recomposição, sem que estas sejam introduzidas por ações humanas. Já por plantio da vegetação nativa, são reconhecidos os métodos segundo os quais há a introdução de propágulos vegetais na área em recomposição.

Esses métodos podem ser utilizados de forma individual ou conjunta, sendo sua escolha definida pelo restaurador com base nas observações das características ambientais e atributos da vegetação de cada área. Independentemente do modelo utilizado, a meta é possibilitar o desencadeamento e/ou aceleração do processo de restabelecimento da vegetação o mais breve possível em níveis de estrutura, riqueza e funcionalidade, de modo que as áreas objeto das intervenções de restauro expressem uma condição de não degradação em curto tempo.

Nas APPs das pequenas posses ou propriedades rurais é admitido o plantio intercalado entre espécies lenhosas exóticas não madeireiras, perenes ou de ciclo longo, e espécies nativas de ocorrência natural, visando ao manejo agroflorestal sustentável. Nas áreas de Reserva Legal essa possibilidade de plantio intercalado de nativas com exóticas é admitida para qualquer tamanho de propriedade.

Nos plantios, independentemente do local e da classificação e tamanho do imóvel rural, é permitido o cultivo temporário de espécies exóticas herbáceas ou arbustivas (culturas agrícolas anuais ou espécies de adubação verde), sem potencial de invasão. O uso dessas espécies no início da recomposição é visto como uma estratégia para auxiliar a melhoria nas condições do solo, controlar gramíneas com potencial de invasão e favorecer o estabelecimento da vegetação nativa, ao mesmo tempo que também pode reduzir os custos de manutenção e até mesmo gerar renda com a comercialização de produtos agrícolas cultivados.

No uso de espécies exóticas devem-se observar os seguintes parâmetros: o plantio deve ser combinado com o de espécies nativas de ocorrência regional, de modo intercalar ou consorciado; a área recomposta com espécies exóticas é limitada a 50% da área total a ser recomposta; é admitida a exploração econômica dessas espécies por meio do manejo florestal ou agroflorestal sustentável.

No plantio de espécies arbóreas exóticas em área de Reserva Legal é preciso observar os seguintes princípios e diretrizes: o sistema deve ser conduzido de modo a promover a sucessão da vegetação nativa; o uso de insumos agroquímicos deve estar restrito apenas aos autorizados para aplicação nesses locais; não se deve fazer uso de espécies-problemas, especialmente as exóticas invasoras. Em alguns estados as normas legais não permitem o replantio das espécies exóticas após seu ciclo de produção, havendo exceções dessas limitações para as pequenas propriedades ou posses de agricultores familiares.

VIII. EXPLORAÇÃO ECONÔMICA DE APP E RLS

A exploração agroflorestal e o manejo florestal sustentável praticados na pequena propriedade ou posse rural familiar, ou desenvolvidos em territórios de povos e comunidades tradicionais, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, são considerados atividades de interesse social e baixo impacto ambiental, podendo ser realizados tanto em APPs como nas áreas de Reserva Legal, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente nem prejudiquem a função ambiental da área⁵.

Nas médias e grandes propriedades, a exploração econômica da vegetação nativa é restrita às áreas de Reserva Legal, salvo em alguns casos de manejo de produtos florestais não madeireiros, nos quais é livre a coleta de produtos como frutos, cipós, folhas e sementes. Nestes casos, não é necessária autorização para a atividade, devendo-se observar: os períodos de coleta e volumes fixados em regulamentos específicos, quando houver; a época de maturação dos frutos e sementes; e as técnicas que não coloquem em risco a sobrevivência de indivíduos e da espécie coletada no caso de coleta de flores, folhas, cascas, óleos, resinas, cipós, bulbos, bambus e raízes.

O manejo florestal madeireiro deve atender às seguintes diretrizes e orientações: não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área; assegurar a manutenção da diversidade das espécies; e, no caso de manejo de espécies exóticas, ser conduzido de modo a favorecer a regeneração de espécies nativas.

Com relação ao volume de exploração madeireira, a legislação considera ser o manejo florestal eventual, sem propósito comercial direto ou indireto, aquele que: na pequena propriedade ou posse rural familiar, não ultrapasse o limite de 15 m³ de material lenhoso por ano, limitada a retirada anual de material lenhoso a 2 m³ por hectare, sem necessidade de autorização ou comunicação ao órgão ambiental; e, nas demais propriedades, a exploração de 20 m³ por ano, sendo necessária apenas a declaração prévia ao órgão ambiental sobre a motivação da exploração e o volume explorado.

No caso de manejo florestal sustentável com objetivo comercial, há necessidade de autorização emitida pelo órgão ambiental, a qual se dá a partir da aprovação de um Plano de Manejo Florestal Sustentável, com a diferença de que, para as pequenas propriedades ou posses rurais familiares, este é realizado por meio de procedimentos simplificados.

⁵ Podem ser mencionados produtos não madeireiros como açaí, juçara, andiroba, resina do breu etc. No caso dos madeireiros, pode-se mencionar a extração de espécies de várzea como o pau-mulato, macaúba, pracuúba, realizada para favorecer a produção do açaí.

IX. OPORTUNIDADES DE NEGÓCIOS SUSTENTÁVEIS

A promoção do desenvolvimento de atividades produtivas sustentáveis é um dos pilares da Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Criou-se a possibilidade de impulsionar o desenvolvimento do setor da produção florestal e agroflorestal por meio da recomposição da vegetação dessas áreas usando modelos voltados ao aproveitamento econômico via manejo florestal ou agroflorestal sustentável de produtos madeireiros e não madeireiros.

Como as florestas são provedoras de produtos renováveis, o desenvolvimento do setor da silvicultura de espécies nativas poderá contribuir para o estabelecimento de uma economia verde, gerando bens e serviços ecossistêmicos e, ao mesmo tempo, contribuindo para aumentar a oferta de produtos madeireiros advindos de plantios florestais, o que poderá reduzir a pressão sobre a exploração madeireira em floresta nativas, atualmente caracterizada pela ilegalidade.

As oportunidades de negócios que envolvem o aproveitamento de produtos da floresta são alternativas para restaurar e conservar a vegetação nativa, em contraponto ao modelo predominante de desenvolvimento no qual se tem a mudança do uso do solo por degradação ambiental para as práticas agropecuárias convencionais.

Já projetos agroflorestais utilizados para o cultivo de múltiplas espécies, implementados com base nos preceitos da agroecologia, têm demonstrado performance econômica, social e ambiental positiva nas diferentes regiões e biomas do país e, portanto, devem ser incentivados como método de restauração, especialmente em áreas da agricultura familiar.

Um dos propósitos da implantação dos sistemas agroflorestais é que sejam valorizados saberes e práticas populares para a produção de alimentos saudáveis, integrando o elemento arbóreo, especialmente com espécies nativas e frutíferas da sociobiodiversidade, aos sistemas produtivos da agricultura familiar, com vistas ao fortalecimento da segurança nutricional e da soberania alimentar e, ao mesmo tempo, à adequação ambiental e à promoção de serviços ecossistêmicos.

Em resumo, projetos de recomposição da vegetação não devem ter enfoque apenas ambiental, mas também visão socioeconômica, que possibilite o reordenamento do uso do solo com ações que promovam a conservação dos recursos naturais e favoreçam o desenvolvimento regional. Isso inclui a oportunidade de criação de cadeias produtivas, com a geração de trabalho e renda em atividades potencialmente sustentáveis e

passíveis de replicação nas diferentes regiões do país, podendo contribuir para minimizar a pobreza e as desigualdades sociais⁶.

⁶ Considerando a oportunidade de se congregarem a conservação ambiental com a produção de alimentos em sistemas produtivos saudáveis, foi realizada uma análise específica de estratégias para recuperação da vegetação em assentamentos rurais, disponível no Apêndice 9.

5. Abordagem metodológica

Nesta seção são apresentados os procedimentos utilizados para a realização do presente estudo. Primeiro descreve-se a abordagem adotada para a espacialização das informações referentes aos atributos analisados, a respeito da quantificação de áreas e sua aplicação com relação aos déficits de vegetação nativa nos imóveis rurais, assim como da distribuição espacial do potencial de regeneração natural, tendo como recorte de abrangência nessas análises os biomas e macrorregiões administrativas do país.

Em seguida é feita uma conceituação sobre os métodos de recomposição da vegetação mais comumente divulgados e praticados no país, considerando tanto aqueles com função estritamente ecológica como os de restauração com viés econômico. Para este último caso, há informações sobre a composição dos modelos de sistemas agroflorestais ou de produção madeireira, com estimativas de produção das espécies e potenciais receitas da comercialização de seus produtos.

Concatenando as informações das análises espaciais com as oportunidades de aplicação dos diferentes métodos de recomposição da vegetação, é proposta uma estratégia para a alocação destes métodos de restauração a fim de que se alcance a meta de restauração/reflorestamento da iNDC-Brasil, tendo como premissa o potencial de regeneração natural, as áreas disponíveis em APP e Reserva Legal das diferentes classes de imóveis rurais e os objetivos distintos da recomposição dessas áreas.

Por fim, são mostrados os elementos que compõem os custos da restauração florestal, considerando o empenho com mão de obra, insumos, maquinários e equipamentos necessários para a implementação das ações e tendo como base os rendimentos operacionais e quantidade de insumos demandados para cada hectare.

I. ANÁLISES ESPACIAIS

As análises espaciais consistiram no cruzamento de dados geográficos com a finalidade de responder às seguintes perguntas que deram suporte às análises do estudo:

- Qual a distribuição do déficit de vegetação nativa nos imóveis rurais do Brasil?
- Como os diferentes métodos de restauração florestal podem ser alocados para a recomposição das áreas de déficit de vegetação nativa tendo como premissa o potencial de regeneração natural?

Para responder a estas duas questões, foi utilizada uma série de dados geográficos de fontes secundárias apresentados nas subseções subsequentes. No Apêndice 1 há uma relação das fontes de dados utilizados e uma breve descrição de sua aplicação no estudo.

a. Déficit de vegetação nativa nos imóveis rurais do país

Para a estimativa dos déficits de vegetação nativa dos imóveis rurais foram utilizados dados do estudo realizado por Guidotti et al. (2017). Nele, os autores disponibilizaram dados tabulares sobre esses índices em APP e Reserva Legal com vários recortes geográficos, possibilitando diferentes formas de sumarização. Entre esses recortes contemplam-se as macrorregiões administrativas, os biomas e os tamanhos dos imóveis, que foram utilizados no presente estudo para a alocação dos métodos de recomposição, sejam eles estritamente relacionados à restauração ecológica ou à restauração com viés econômico. Assim, a partir desses déficits de vegetação foi possível fazer a espacialização dos métodos de restauração mais plausíveis de aplicação, o que permitiu regionalizar os custos com mão de obra empregada, maquinários e insumos.

b. Potencial de regeneração natural

A principal base de dados utilizada nesta análise foram os mapas de potencial de regeneração natural dos biomas brasileiros, elaborados no estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pelo World Resources Institute (WRI) Brasil, no

ano de 2017 (BRASIL, 2017a). Esse estudo foi realizado por meio de sensoriamento remoto e demais análises espaciais sobre métricas de estrutura e características da paisagem dos biomas, interpretados por diferentes grupos de especialistas. Para cada bioma, os especialistas selecionaram os principais indicadores, referentes às condições biofísicas e socioeconômicas, considerados relevantes para a estimativa do potencial de regeneração natural. A unidade espacial avaliada em todos os biomas foi a microbacia hidrográfica. A partir das diferentes combinações das condições biofísicas e socioeconômicas, os especialistas puderam classificar as microbacias em classes cujo potencial de regeneração varia de baixo a alto. Na Amazônia, por exemplo, as classes caracterizadas como de baixa cobertura de vegetação florestal, longo histórico de uso de solo consolidado, alta intensidade do uso do solo (agricultura e pastagem) e baixo teor de argila no solo foram consideradas como tendo baixo potencial de regeneração natural. Segundo a interpretação dos especialistas do bioma Amazônia, tais condições são desfavoráveis para a ocorrência dessa restauração – e, seguindo essa lógica, o oposto das condições apresentadas acima caracterizaria as microbacias como de alto potencial de regeneração natural.

Os produtos resultantes consistiram em mapas de potencial de regeneração natural, divididos nas classes baixo, médio e alto, para todos os biomas brasileiros. A exceção se deu para o bioma Cerrado, em que se registraram apenas as classes baixo e médio potencial de regeneração devido à metodologia diferente daquela aplicada para os demais biomas.

As classes de potencial de regeneração natural (baixo, médio e alto) foram utilizadas para a adoção da premissa de alocação dos diferentes métodos de restauração, conforme será apresentado no Quadro 4 a seguir.

Para melhorar a qualidade do dado foi feita a sobreposição da camada “uso antrópico”⁷ da Coleção 7 do Mapbiomas do ano de 2021 à base de potencial de regeneração natural, o que permitiu remover as áreas atualmente ocupadas por vegetação nativa. Com essa modificação, os potenciais de regeneração foram quantificados somente para as áreas de uso antrópico. Por fim, a proporção das classes de potencial de regeneração encontrada dentro de cada bioma e macrorregião foi concatenada aos déficits de vegetação nativa em APP e Reserva Legal de mesmo bioma e macrorregião, extraídos de Guidotti et al. (2017), para auxiliar na distribuição dos diferentes métodos de restauração florestal a serem aplicados.

⁷ Foram utilizadas as classes de uso antrópico (todas as classes exceto aquelas referentes à vegetação nativa) da Coleção 7 do Mapbiomas.

II. RESTAURAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA

A Society for Ecological Restoration International (SER) define a restauração ecológica como o processo e a prática de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, conceituando-a também como uma atividade humana intencional que visa contribuir para iniciar ou acelerar a recuperação de um ecossistema em relação à sua saúde, integridade e sustentabilidade (SER, 2004).

Associada à restauração ecológica tem-se o conceito de restauração do capital natural, que diz respeito a intervenções e investimentos em ampliação do estoque de capital natural para melhoria da sustentabilidade de ecossistemas naturais e manejados pelo ser humano, como contribuição para o bem-estar socioeconômico das pessoas por meio da oferta de bens e serviços dos ecossistemas (ARONSON et al., 2011).

Assim, a restauração ecológica e a restauração do capital natural são fundamentais para preencher as lacunas e proporcionar as ligações necessárias entre a conservação dos ecossistemas e da biodiversidade e o desenvolvimento local sustentável (ARONSON et al., 2006). É relevante, portanto, considerar que o viés ecológico não constitui o único fator determinante nas práticas de restauração, devendo os aspectos socioculturais, que fundamentam as percepções das pessoas com relação à importância da restauração e conservação dos ecossistemas, ser elencados como elementos-chave nesse processo, de modo a aumentar a interação das pessoas com as ações e a própria probabilidade das iniciativas de restauração.

Diferentes métodos de recomposição da vegetação nativa, com efetividade reconhecida, podem ser aplicados nos projetos dessa natureza. A escolha dependerá da finalidade do projeto, dos recursos disponíveis e, principalmente, das condições ambientais da área objeto da ação. Independentemente da técnica a ser empregada, a meta da intervenção é possibilitar o desencadeamento e/ou aceleração do processo de recuperação do ecossistema florestal o mais rápido possível para que a vegetação atinja parâmetros estruturais e de composição e funcionalidade e possa se autossustentar ao longo do tempo.

Na restauração ecológica, um dos principais elementos que orientam a tomada de decisão para desencadear o processo de recuperação da vegetação de um determinado ambiente é a resiliência ecológica, que pode ser compreendida como a capacidade de um ecossistema natural em restabelecer sua estrutura e riqueza, após um distúrbio natural ou antrópico, por meio da autorregeneração (ou regeneração natural) em um período desejável. Portanto, reconhecer o potencial de regeneração natural de uma área é determinante para a escolha mais assertiva do método para a recuperação da

vegetação. A partir dessa definição, pode-se ponderar a necessidade, a intensidade e o tempo das intervenções de recuperação e selecionar as técnicas mais apropriadas.

De modo geral, quanto maior a resiliência de uma área, maiores as chances de a recomposição da vegetação ocorrer por meio da regeneração natural, o que reduz a necessidade de intervenções humanas e, conseqüentemente, minimiza os custos dos projetos de restauração ecológica.

Assim, pode-se considerar como método apenas o processo de regeneração natural, sem que haja intervenções humanas para desencadear o processo de restabelecimento. Essa solução passa também pela possibilidade de aplicação de técnicas que conjuguem o aproveitamento da regeneração natural com o uso de algumas intervenções em menor intensidade, como é o caso da restauração assistida ou da condução da regeneração natural. Por fim, há técnicas que preveem a introdução de propágulos (mudas e sementes) em esquemas de menor intensidade, como nos métodos de adensamento e enriquecimento da vegetação, ou de maior intensidade, como no plantio desses propágulos em área total, com sucessivas práticas operacionais durante o processo até que se assegure o efetivo estabelecimento da vegetação nativa e a perpetuidade do seu processo de substituição.

O potencial da regeneração natural está condicionado ao histórico de uso da área e da paisagem. Alguns dos fatores que influenciam o potencial de regeneração são o tempo decorrido após o distúrbio (quanto menor o tempo, maior o potencial), a intensidade do distúrbio (sucessivas práticas agrícolas, com preparo intensivo do solo e erradicação de plantas invasoras das culturas por meio de controle químico ou mecânico da vegetação espontânea, tendem a minimizar o potencial) e as condições físicas e químicas do solo (que determinam sua fertilidade natural e sua capacidade de suporte do meio para o desenvolvimento da vegetação). Já na escala da paisagem, a menor densidade de remanescentes de vegetação nativa nos arredores e o distanciamento destes em relação à área objeto de recuperação, ou mesmo a menor porosidade da paisagem (derivada do tipo de uso do solo nos arredores), reduzem a probabilidade de que os propágulos cheguem às áreas pelo processo denominado “chuva de sementes”, realizado pelos animais dispersores (zoocoria, cumprida por aves, morcegos e mamíferos em geral), pelo vento (anemocoria) ou pela autodispersão (autocoria), tornando a paisagem menos resiliente.

Os plantios de restauração de florestas baseiam-se em conceitos da dinâmica da sucessão ecológica e na biodiversidade. O entendimento da dinâmica sucessional na ocupação de áreas antropizadas (sucessão primária) e das clareiras de uma floresta (sucessão secundária) tem servido como ferramenta na definição de estratégias de restauração de ambientes florestais (KAGEYAMA E GANDARA, 2000). Com base nas

observações da composição de espécies presentes nos diferentes estágios da sucessão, foi possível classificá-las em grupos com características e funções distintas na restauração florestal. Por isso, estes são chamados de grupos funcionais ou sucessionais. Esses conceitos foram utilizados para o desenvolvimento da tecnologia de plantio de nativas, que aumentaram a probabilidade de sucesso dos projetos de restauração florestal (KAGEYAMA E GANDARA, 2004).

Outro aspecto relevante diz respeito à composição e à estrutura florística da vegetação tropical. As florestas possuem muitas espécies em baixa densidade e poucas em maior densidade, sendo este um dos fatores que permitem a coexistência de tantas espécies em um mesmo local (SCUDELLER et al., 2001). Segundo Kageyama & Gandara (2004), de maneira geral é possível dizer que espécies pioneiras e climácicas são mais comuns, enquanto as secundárias ocorrem em baixas densidades, sendo responsáveis por boa parte da elevada riqueza das florestas tropicais. As interações entre as várias espécies constituintes das matas e a exploração de diferentes nichos por elas é o que possibilita a coexistência, a geração e a manutenção de alta diversidade biológica (BRANCALION et al., 2009).

Para além das soluções tradicionais de recomposição da vegetação nativa associadas à restauração ecológica dos ecossistemas florestais, outros métodos se encontram respaldados nas normas relacionadas e vêm sendo apresentados como alternativa de aplicação. Como exemplo, há os modelos de restauração com viés econômico, sejam sistemas agroflorestais sucessionais, com enfoque na produção de alimento, sejam silviculturais, visando exclusivamente à produção madeireira. Os métodos de restauração ecológica e os modelos com viés econômico são listados abaixo.

Restauração ecológica

- Regeneração natural (ou restauração passiva)
- Condução da regeneração natural (ou restauração assistida)
- Condução da regeneração natural + enriquecimento
- Condução da regeneração natural + adensamento + enriquecimento
- Plantio de mudas arbóreas nativas em área total
- Semeadura direta por meio do plantio de arbóreas nativas em área total

Restauração com viés econômico

- Sistemas agroflorestais – os SAFs foram propostos considerando o uso de espécies da sociobiodiversidade comuns nesses sistemas em diferentes regiões/biomas do país.
- Plantio comercial de espécies nativas – esses modelos foram formulados considerando a possibilidade de integrar aos sistemas as espécies arbóreas nativas com potencial para a exploração madeireira, por meio do manejo florestal sustentável em áreas de Reserva Legal.
- Plantio comercial consorciando espécies nativas (50%) com espécies exóticas (50%) – valendo-se da premissa de que a legislação permite o uso de espécies exóticas no sistema, alguns modelos foram propostos considerando a ocupação de até 50% do sistema com elas, em esquemas silviculturais conhecidos e em plantios de escala ampla em diferentes regiões do país.

Nota: neste estudo, o termo “restauração ecológica” faz referência a todos os métodos possíveis para desencadear o processo sucessional da vegetação em que não haja o uso, de forma direta, da vegetação para algum tipo de aproveitamento econômico. Os benefícios advindos dessa ação são somente os de promoção dos serviços ecossistêmicos providos pela floresta. Por outro lado, a utilização do termo “restauração econômica” neste estudo, como o próprio termo sugere, é utilizado para os modelos de restauração que, além dos benefícios ecológicos, tenham algum viés econômico, ou seja, visem à obtenção de produtos madeireiros ou não madeireiros, especialmente os relacionados à sociobiodiversidade, inclusive a obtenção de produtos agrícolas para a alimentação.

No presente estudo, o termo “restauração florestal” é comumente citado em substituição ao termo “restauração ecológica” devido ao enfoque dado a essa prática para ambientes de ecossistemas com características de floresta, que são as fisionomias de vegetação mais representativas em termos de áreas com déficit de vegetação que deverão ser recompostas.

Já “recuperação e recomposição da vegetação” é o termo legal utilizado nas legislações pertinentes, a exemplo da Lei nº 12.651/2012. O Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa - Planaveg (BRASIL, 2017b), define este termo como sendo a “restituição da cobertura vegetal nativa, abrangendo diferentes abordagens que podem contemplar implantação de sistema agroflorestal, reflorestamento, condução da regeneração natural, reabilitação ecológica, restauração ecológica.”

a. Apresentação dos métodos de restauração ecológica

Aqui são expostos os métodos analisados neste estudo, com as condições ambientais iniciais para as quais normalmente são recomendados. Informa-se a forma de intervenção e fazem-se considerações gerais a respeito de cada método. Esses métodos de restauração apresentam correspondência com aqueles propostos no Planaveg, sendo sua aplicação também respaldada pelos dispositivos legais da Lei Federal nº 12.651/2012.

Regeneração natural (ou restauração passiva)

Recomendação: método indicado para áreas pouco antropizadas, em que ainda há alta resiliência ecológica, ou seja, capacidade de um ecossistema recuperar sua estrutura, processos e funcionamento, apesar dos estresses, distúrbios ou invasão de espécies. As condições naturais existentes dispensam intervenções para que a vegetação nativa se restabeleça. Normalmente as áreas com maior potencial para o desenvolvimento da regeneração natural são: locais de desmatamentos recentes; áreas com baixa intensidade de manejo das atividades agropecuárias; áreas próximas (adjacentes) a fragmentos de vegetação nativa ou em regiões com alta densidade de remanescentes na paisagem, que tornam viáveis as possibilidades de chegada de propágulos por meio da “chuva de sementes”.

Intervenção: não é realizado nenhum tipo de intervenção direta para que o processo de restabelecimento da vegetação nativa ocorra. No entanto, é necessário interromper o uso pelas atividades agropecuárias e cessar a ação de possíveis agentes de degradação, a fim de possibilitar o estabelecimento da regeneração natural, dando condições para o avanço do processo da sucessão ecológica. Em áreas limítrofes a pastagens, com uso pela pecuária, estas são comumente isoladas com a construção de cercas, sendo recomendada a abertura de aceiros para impedir a ocorrência de incêndios advindos de áreas adjacentes.

Considerações: esse método possui custo direto nulo para o restabelecimento da vegetação na área, pois os propágulos são oriundos do próprio local (autóctones) ou de locais contíguos (alóctones), podendo, porém, haver necessidade de investimentos para o cercamento e/ou a abertura de aceiros. Com o aproveitamento dos processos naturais de sucessão ecológica, tem-se uma maior adaptação das espécies presentes no processo de restauração, constituídas por genótipos da própria região. Uma das dificuldades da execução do método é o controle das espécies presentes no sistema e,

assim, a incerteza sobre a trajetória do processo sucessional. Por esse motivo é importante fazer o monitoramento contínuo da área a fim de verificar se a adoção do método está sendo eficaz para a recomposição da estrutura da vegetação nativa. Caso seja observada ineficácia, devem-se adotar métodos complementares, como a condução e o manejo da regeneração natural ou a realização de plantios de adensamento e enriquecimento com vistas a acelerar o alcance de parâmetros mínimos de estrutura e funcionalidade da vegetação.

Condução da regeneração natural (ou restauração assistida)

Recomendação: a regeneração natural engloba todos os tipos de espécies vegetais nativas (ervas, arbustos, árvores) que surgem e se desenvolvem espontaneamente nas áreas dos projetos de restauração florestal. Para a restauração é importante que a regeneração natural seja diversificada com outras formas de vida vegetal, como arbustos e ervas nativas, além das árvores. As espécies não arbóreas desempenham o papel de atração da fauna silvestre, que, por sua vez, pode trazer propágulos de outras áreas de vegetação natural presentes na paisagem, enriquecendo o local. Elas também são importantes no processo de cobertura e sombreamento do solo, inibindo o desenvolvimento de espécies exóticas indesejáveis, tais como as gramíneas exóticas. Além destas, as espécies invasoras de outros grupos, como a leucena (*Leucaena leucocephala*), o ipê-de-jardim (*Tecoma stans*) e o pinus (*Pinus sp.*), também devem ser controladas.

Intervenção: conduzir a regeneração natural significa eliminar ou controlar o desenvolvimento de espécies vegetais indesejadas, ao mesmo tempo que se favorece o desenvolvimento de espécies nativas de interesse na restauração florestal. A condução é feita pelo controle das gramíneas em toda a área, incluindo o coroamento periódico dos indivíduos regenerantes (capina de plântulas e indivíduos jovens ao redor das mudas). Outra ação recomendável para estimular o desenvolvimento da regeneração natural é a adubação dos indivíduos regenerantes, para propiciar melhor desenvolvimento dos indivíduos arbóreos ou acelerar a velocidade de recobrimento do terreno pela cobertura vegetal. O número de repetições dessas operações pode variar em função do grau de resiliência da área, da densidade de indivíduos regenerantes e do nível de infestação de invasoras.

Associadas a esse método, há ainda duas técnicas complementares para ajudar na germinação e no estabelecimento da regeneração:

- A.** indução do banco de semente autóctone – realizada por meio do revolvimento da camada superior do solo para expor o banco de sementes às condições ambientais (luz, umidade e temperatura) mais propícias à germinação. Essa ação pode ser feita por meio da gradagem normal do solo, sendo as áreas adjacentes aos remanescentes de vegetação, que recebem grande quantidade de propágulos pela “chuva de sementes”, propícias para a sua implementação;
- B.** técnicas nucleadoras – são atividades de criação de nichos ecológicos que possam contribuir para a chegada de propágulos na área. Essa técnica é trabalhada dentro do conceito da conectividade da paisagem com o restabelecimento do fluxo gênico. A proposta é que, a partir de pequenos núcleos de atração da vegetação, como poleiros naturais ou artificiais ou implantação de vegetação agrupada que sirva de abrigo ou fonte de alimentação para fauna, se aumentem as probabilidades de chegada e estabelecimento de sementes, de modo que as áreas desses núcleos possam se expandir com o tempo. No início dos anos 2000, a técnica foi muito difundida pelo professor Ademir Reis, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o qual publicou inúmeros trabalhos com essa abordagem.

Considerações: uma das vantagens do método da condução da regeneração é o aproveitamento dos indivíduos jovens já estabelecidos na área a ser restaurada, dispensando a aquisição de mudas ou sementes e todas as atividades relacionadas aos seus plantios. Dessa forma, a condução da regeneração é um método de baixo custo e, ao mesmo tempo, contribui para a conservação do patrimônio genético regional e para o incremento da diversidade de espécies nativas com diferentes hábitos de crescimento (ervas, arbustos, árvores). O resultado final desse método é uma floresta restaurada com alta similaridade florística às matas existentes na região, o que favorece o restabelecimento de processos ecológicos e o provimento de serviços ecossistêmicos. Contudo, o método é mais apropriado para locais com alta densidade e diversidade de espécies na regeneração natural, o que não é comum em áreas com histórico antigo de usos alternativos do solo. Em sua aplicação, não é possível estimar a densidade e a composição de espécies e, por conseguinte, ter previsibilidade quanto ao sucesso da intervenção. Por isso, a aplicação dessa técnica demanda monitoramento periódico para avaliar sua efetividade. Quando se observa que a vegetação não está avançando para uma trajetória sucessional desejável, podem ser necessárias intervenções de retificação (manejo adaptativo), por exemplo, via plantios de enriquecimento e/ou adensamento.

Condução da regeneração natural + enriquecimento

Recomendação: o método de restauração que combina a condução da regeneração natural e o enriquecimento é indicado para áreas que apresentam alta densidade de indivíduos regenerantes, presença de árvores pioneiras e cobertura de copa em pelo menos 50% do terreno. Normalmente essas áreas apresentam baixa riqueza florística e são dominadas por poucas espécies pioneiras. Assim, o enriquecimento tem por finalidade aumentar a diversidade e melhorar a estrutura e a composição da vegetação local, com vistas a aumentar a sustentabilidade ecológica do sistema.

Intervenção: normalmente, o método considera a introdução de espécies dos grupos finais da sucessão secundária da floresta tropical. Para a incorporação daquelas em estágios mais avançados e com vida mais longa, podem ser plantadas mudas em meio à vegetação arbórea já estabelecida, como forma de enriquecimento. Além dos indivíduos plantados, as operações de manutenção também podem incluir aqueles já presentes na área, possibilitando acelerar o desenvolvimento da estrutura da vegetação.

Considerações: a definição legal de enriquecimento aparece na Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006, art. 3º, inc. VI) como uma atividade técnica e cientificamente fundamentada que vise à recuperação da diversidade biológica em áreas de vegetação nativa, por meio da reintrodução de espécies nativas via plantio de mudas ou sementes. O enriquecimento busca aumentar a diversidade de espécies nas áreas em restauração, ou equilibrar melhor a proporção entre elas. A introdução de novas espécies aumenta a probabilidade das interações interespecíficas e a ocorrência de processos ecológicos, proporcionando melhores condições à sustentabilidade dos novos ecossistemas.

O método considera o aproveitamento da presença das espécies pioneiras que atuam como sombreadoras e tutoras do desenvolvimento das espécies finais da sucessão. Assim, parte-se de uma etapa mais avançada do processo sucessional da restauração, em comparação aos métodos do plantio em área total, o que significa menores custos de implantação e manutenção de plantio devido ao menor número de plantas que receberão as práticas silviculturais.

Considerando que nos plantios convencionais em área total a maior mortalidade é comumente observada no grupo das espécies finais da sucessão, esse método pode ser então aplicado de modo complementar a fim de retificar falhas de plantios para que se assegure maior diversidade florística e se contribua para a sustentabilidade do sistema. Nas retificações dos plantios em área total, estes devem ocupar os espaços vazios deixados pelas mudas plantadas que não se estabeleceram. Nesses plantios, o enriquecimento pode ser também uma ação previamente planejada, na qual as espécies dos grupos finais da sucessão, conhecidas como grupo das “não pioneiras” ou “grupo

de diversidade”, são introduzidas apenas após o recobrimento parcial da área pelas espécies iniciais da sucessão, as “pioneiras” ou “de recobrimento”, e quando as condições microclimáticas estejam mais favoráveis ao seu estabelecimento. Nesse caso, as espécies pioneiras são plantadas na fase inicial em um arranjo espacial com menor densidade de plantas, para que depois os espaços vazios sejam ocupados pelas espécies finais da sucessão.

As mudas são plantadas de forma agrupadas em pequenas clareiras ou em linhas de plantio, o que traz dificuldades para identificar e distingui-las das plantas já presentes em regeneração. Não existindo um ordenamento espacial do plantio, a mecanização das operações de implantação e manutenção são dificultadas. As plantas da regeneração natural podem exercer competição por luz, água e nutrientes, inibindo ou retardando o crescimento das plantas introduzidas.

Condução da regeneração + adensamento + enriquecimento

Recomendação: a aplicação conjunta do adensamento e do enriquecimento é recomendada para locais que já apresentam regeneração natural com densidade de árvores que propiciem cobertura de dossel entre 25% e 50%. Esse método pode ser aplicado também nas bordas de remanescentes florestais e no interior destes, onde há clareiras de grandes dimensões com alta infestação de invasoras ou espécies hiperabundantes como cipós (lianas), ou mesmo em áreas já reflorestadas que apresentem manchas com falhas de plantio.

Intervenção: consiste na combinação das técnicas de adensamento e plantio de espécies de rápido crescimento para o breve recobrimento do solo (grupo das “pioneiras” ou de “recobrimento”), concomitante ao plantio de espécies de estágios sucessionais mais avançados tolerantes ao sombreamento parcial (enriquecimento com espécies do grupo das “não pioneiras” ou de “diversidade”). Devido à preexistência de plantas em regeneração, é recomendado que as operações também englobem as plantas espontâneas. O plantio é feito de forma agrupada em clareiras ou linhas em espaçamentos predeterminados em função da densidade recomendada após o diagnóstico feito na área.

Considerações: nesse método há uma demanda intermediária da quantidade de propágulos (mudas e/ou sementes) e insumos, quando comparada às técnicas de plantio convencional em área total, o que reduz os custos de implantação. No entanto, a mecanização das operações é dificultada devido à presença das árvores

preexistentes. De modo geral, para todos os métodos que têm como princípio a condução da regeneração natural, normalmente as operações de controle de matocompetição são feitas de modo não mecanizado e seletivo, já que a mecanização implicaria danificação ou mortalidade das plantas. Essa condição, por sua vez, afeta os custos operacionais devido à maior intensidade de mão de obra nas operações não mecanizadas.

Nesse aspecto, uma importante observação é que tanto o método de enriquecimento como o de adensamento da vegetação têm como premissa que a área já possui regeneração natural em diferentes estágios e que as intervenções ocorrem em pontos específicos com déficit de indivíduos da regeneração. Assim, ao se considerarem esses métodos, automaticamente se cogita a prática conjunta de condução da regeneração natural de toda a área. Do contrário, os métodos devem ser vistos simplesmente como de plantio em área total.

Plantio de mudas arbóreas nativas em área total

Recomendação: o plantio em área total consorciando múltiplas espécies arbóreas é o método mais difundido e aplicado para a restauração florestal no Brasil. Esses plantios conceitualmente têm como base os modelos da sucessão ecológica das florestas tropicais. Recomenda-se que o conjunto de espécies utilizado contenha alta riqueza e seja representado pelos diversos grupos funcionais, os quais são utilizados em proporções e arranjos espaciais predefinidos nos plantios.

Intervenção: o plantio de mudas segue uma lógica operacional similar àquela aplicada na silvicultura convencional, que considera uma sequência de atividades na fase de implantação e manutenção da área segundo técnicas já amplamente utilizadas pelo setor florestal.

Considerações: esse tipo de intervenção permite o arranjo espacial adequado para cada grupo de espécies e o melhor ordenamento das operações silviculturais. É recomendado para áreas onde não é observada a regeneração natural, e comumente executado por meio de operações mecanizadas que facilitam a logística e reduzem os custos de implantação e manutenção. Contudo, é o método que apresenta os custos mais elevados de restauração. Por isso, para projetos de grande escala, também é preciso existir uma cadeia econômica florestal bem estabelecida na região, pois há grande demanda por mudas, insumos agrícolas, máquinas e mão de obra qualificada.

Semeadura direta em área total

Recomendação: esse método é indicado preferencialmente para áreas com facilidade para a mecanização, e onde existe boa disponibilidade de sementes de espécies nativas, que preferencialmente devem ter custo acessível. Da mesma forma que o plantio de mudas, é recomendado para áreas com baixa resiliência ecológica, onde o potencial de regeneração natural é pequeno e pouco provável.

Intervenção: normalmente é realizado com o uso espécies arbóreas e arbustivas nativas consorciadas com espécies leguminosas agrícolas (adubação verde). Estas últimas são utilizadas para favorecer o recobrimento da superfície do solo, melhorar sua fertilidade e ajudar no controle das plantas invasoras. O método permite também o uso combinado com outras técnicas, com o escalonamento do plantio em mais de uma etapa. Nesse caso, inicialmente se utilizam as espécies pioneiras ou as espécies com sementes maiores, as quais apresentam melhor capacidade de germinação e de sobrevivência inicial; após a melhoria nas condições ambientais locais (microsítios), pode ser realizado o plantio de sementes ou mudas das espécies de interesse (enriquecimento).

Considerações: esse método tem apresentado alto rendimento operacional e custo de implantação relativamente baixo quando comparado ao plantio de mudas. Apesar de atualmente o conhecimento do método estar bem avançado, a ponto de se poder planejar com boa segurança a densidade e a diversidade das sementes das espécies a serem plantadas, a intensidade de germinação das plantas dos diferentes grupos funcionais não é controlada, podendo haver a necessidade de intervenções (manejo adaptativo) para a adequação do sistema. Em plantio de semeadura direta realizado sem os devidos alinhamentos, tem-se a dificuldade de manutenção. Por isso, normalmente recomendam-se plantios em linhas das sementes de espécies nativas, com o plantio de leguminosas nas entrelinhas. Por fim, um dos gargalos do método é a grande demanda por sementes nativas, ainda pouco disponíveis e com alto preço no mercado atual. Esse aspecto tenderá a melhorar com a divulgação da técnica e o aumento do número e da estruturação de redes de coleta e comercialização de sementes pelo país.

b. Modelos de restauração econômica

Sistemas agroflorestais (SAFs)

Recomendação: os SAFs constituem uma forma de uso da terra segundo a qual árvores e/ou arbustos são cultivados em consórcio com culturas agrícolas numa mesma área. Em um SAF o plantio das espécies é escalonado no tempo, de acordo com as características e exigências delas e com o papel funcional que exercem no sistema. A integração do elemento arbóreo ao sistema de produção da propriedade rural contribui para a diversificação da paisagem, amplia a biodiversidade e a conectividade de ecossistemas naturais e, ao mesmo tempo, aumenta a produção de alimentos. Os SAFs são sistemas complexos que requerem constante interação de manejo, sendo indicados especialmente para a agricultura familiar, pois possibilitam a produção de alimentos e a obtenção de renda durante o processo de formação das florestas.

Intervenção: o método de plantio em área total pode ser adaptado, com a ampliação dos espaços nas entrelinhas de plantio, que podem ser utilizadas para a produção de espécies agrícolas. Com isso, as áreas que nos plantios convencionais demandariam intensas atividades para controle de matocompetição, nos SAFs são aproveitadas para o manejo produtivo de plantas anuais ou semiperenes, gerando receitas em curto prazo que contribuem para cobrir o custo dos projetos. A densidade de plantas de porte arbóreo e o espaçamento utilizado entre elas no plantio são definidos em função do desenho e do tipo de SAF planejado.

Considerações: os sistemas agroflorestais sucessionais são permitidos pela legislação para a recomposição vegetal de Áreas de Preservação Permanente (APPs) de pequenas posses ou propriedades rurais, ou das áreas de Reserva Legal dos imóveis rurais independentemente de sua classificação. A utilização de sistemas agroflorestais traz uma série de benefícios adicionais com relação aos esquemas tradicionais de restauração ecológica. Do ponto de vista socioeconômico, os produtos obtidos por esses sistemas podem gerar receitas periódicas. Essa condição também favorece a otimização do uso do solo e da área em restauração, já que os custos inerentes à manutenção e ao manejo das áreas passam a ser diretamente vinculados ao manejo da produção agroflorestal e não especificamente apenas à condução da restauração florestal. No entanto, tem-se uma maior demanda de repetições e periodicidade das atividades operacionais de manejo agroflorestal, o que faz aumentar a demanda por mão de obra para a condução dos sistemas. De todo modo, sistemas agroflorestais são vistos como um dos principais métodos para viabilizar a produção consubstanciada nas

bases agroecológicas para a produção de alimentos saudáveis e a promoção de serviços ecossistêmicos nas unidades agrícolas.

Uma abordagem conceitual de como esses sistemas devem ser conduzidos dentro das áreas de proteção (APPs e RLs) é apresentada na norma de PRA do estado de Minas Gerais (Decreto Estadual nº 48.127/2021), como segue:

“Sistemas Agroflorestais Sucessionais (SAFs) – sistema de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, culturas agrícolas e forrageiras em uma mesma unidade de manejo, com interações entre estes componentes e algum grau de diversidade de espécies nativas, o qual é conduzido de forma a reproduzir os processos ecológicos, a estrutura e as funções ambientais da vegetação nativa originalmente presente naquele ecossistema”.

Condicionantes

Para que as funções produtiva e ecológica do SAF se cumpram de modo simultâneo, o arranjo entre as espécies deve ser bem definido, levando em consideração a interação entre elas e as premissas de manejo agroflorestal dispostas na legislação. Diante disso, optou-se por separar as espécies utilizadas nos SAFs em cinco grupos, a fim de facilitar a composição dos sistemas, conforme abaixo:

- Adubação verde: grupo de espécies utilizadas na fase inicial de implantação dos sistemas, em especial para o fornecimento de matéria orgânica e melhoria das condições do solo. São representadas normalmente por espécies de ciclo curto ou semiperenes, sendo de preferência empregadas as que fazem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, espécies leguminosas como a crotalária, o feijão-de-porco e o feijão-guandu. Apesar de importantes para a cobertura do solo e a produção de biomassa, deve-se evitar o uso de gramíneas, como as braquiárias, ou de leguminosas de hábito escandente (trepadoras), como a mucuna e o labe-labe, devido ao risco de infestação na área e de competição com as espécies de produção.
- Culturas de ciclo curto: grupo formado por grande parte das espécies anuais e semiperenes, a exemplo de mandioca, milho, feijão, banana, abóbora, abacaxi, banana, hortaliças em geral etc. No SAF, esse grupo necessita da radiação solar direta para a manutenção da produção. São essas espécies as primeiras fontes de renda dentro do sistema SAF.

- Culturas carro-chefe: são espécies perenes com início de produção a curto prazo (terceiro ano de plantio), manejadas no sistema com práticas operacionais que favoreçam a boa produção ao longo dos anos. Algumas culturas foram selecionadas para exemplificar modelos de SAFs com base em experiências prévias já consolidadas, tais como: cacau, cupuaçu, açaí, pupunha, café e cítricos.
- Produtos extrativistas: grupo de espécies representadas pelas arbóreas frutíferas. Podem ser incluídas espécies exóticas, mas a preferência deve ser dada às nativas de cada bioma, a exemplo daquelas associadas à sociobiodiversidade regional.
- Árvores adubadeiras: são as espécies de árvores nativas utilizadas para incorporar alta biomassa ao sistema e acelerar o processo de ciclagem de nutrientes. Nesse grupo, são muito utilizadas as espécies leguminosas, assim como toda a diversidade de árvores da vegetação regional, especialmente as que apresentam velocidade de crescimento rápido a moderado.

Nos primeiros anos do sistema, as receitas são provenientes das culturas agrícolas (espécies anuais e semiperenes), sendo que as semiperenes podem produzir até o terceiro ano. A produtividade das culturas agrícolas diminui com o tempo devido ao aumento do sombreamento e da competição com as demais espécies.

De modo geral, por volta do terceiro ano as espécies carro-chefe iniciam a fase produtiva, atingindo produção estável no decorrer dos anos. Depois, entram em produção, também de forma progressiva, as espécies frutíferas arbóreas implementadas no sistema, que serão colhidas periodicamente, de modo similar ao que se verifica no manejo extrativista e por um longo período.

O Quadro 1 traz uma lista de espécies potenciais para emprego nesses sistemas. São apresentados os usos, o período previsto de início de produção, o volume de produção e o valor dos produtos gerados pelas espécies desses modelos, indicando-se também os preços médios pagos ao produtor, que flutuam em função, principalmente, da oferta e da demanda do produto no mercado.

Os valores de comercialização foram, em sua maioria, baseados nos valores apresentados pela Política Nacional de Preços Mínimos (PGPM) da Companhia

Nacional de Abastecimento (Conab⁸). Produtos da sociobiodiversidade tiveram os valores consultados por meio da Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade (PGPM-Bio) da Conab. Para a análise financeira desses modelos, de modo conservador, adotou-se o preço mínimo informado pela Conab. A produtividade estimada das espécies provém daquela consultada em literatura, especialmente de boletins técnicos e manuais disponíveis para os diferentes produtos e culturas.

Cabe ressaltar que a lista contempla uma pequena fração dos potenciais produtos que podem ser inseridos nesses sistemas produtivos. Esses produtos foram utilizados neste estudo para possibilitar algumas análises econômicas de modelos de SAFs, podendo ser substituídos por uma ampla diversidade de outras espécies com potencial aproveitamento pelos agroflorestadores em diferentes arranjos produtivos.

⁸ Informações disponíveis em: <https://www.conab.gov.br/precos-minimos> Acesso em: abr. 2023.

Quadro 1. Lista das espécies com potencial para uso em sistemas agroflorestais e suas respectivas características

Fonte: Elaborado pelos autores com base na PGPM e PGPM-Bio da Conab, dados de 2023.

Bioma	Nome comum	Espécie	Produto comercial avaliado	Idade de produção inicial (e potencial)	Produção anual (kg/un.)*	Percentual de aproveitamento (%)	Estimativa de aproveitamento por planta (kg/planta)	Preço mínimo Conab (R\$/kg)	Preço médio Conab (R\$/kg)	Custo de coleta e beneficiamento em relação ao preço de venda (%)	Receita anual por planta (R\$)
Amazônia	Açaí	Euterpe oleracea	frutos	4 (7)	15,0	70%	10,50	R\$ 1,81	R\$ 2,86	carro-chefe	R\$ 19,01
	Açaí	Euterpe oleracea	palmito (haste)	7	1,1	90%	0,99	R\$ 3,00	R\$ 3,00	carro-chefe	R\$ 2,97
	Andiroba	Carapa guianensis	sementes	10 (14)	15,0	50%	7,50	R\$ 2,36	R\$ 2,36	30%	R\$ 12,39
	Babaçu	Orbignya phalerata / Attalea	fruto (amêndoa)	5 (15)	10,0	90%	9,00	R\$ 5,34	R\$ 5,34	70%	R\$ 14,42
	Bacaba	Oenocarpus bacaba	frutos	7	20,0	70%	14,00	R\$ 1,81	R\$ 2,86	30%	R\$ 17,74
	Bacuri	Platonia insignis	frutos (polpa)	10 (14)	2,3	90%	2,07	R\$ 10,00	R\$ 20,00	30%	R\$ 14,49
	Cacau	Theobroma cacao	nibis (amendôas)	3 (7)	1,0	100%	1,01	R\$ 12,99	R\$ 15,00	carro-chefe	R\$ 13,10
	Castanheira	Bertholletia excelsa	amêndoa	12 (20)	12,0	70%	8,40	R\$ 1,21	R\$ 5,00	40%	R\$ 6,10
	Cumarú	Dipteryx spp	amêndoa	10 (20)	3,6	90%	3,24	R\$ 35,00	R\$ 35,00	30%	R\$ 79,38
	Cupuaçu	Theobroma grandiflorum	frutos (polpa)	3 (6)	5,9	70%	4,10	R\$ 7,00	R\$ 12,00	carro-chefe	R\$ 28,67
	Murumuru	Astrocaryum murumuru	frutos	5 (12)	100,0	80%	80,00	R\$ 2,69	R\$ 2,69	30%	R\$ 150,64
	Piquiá	Caryocar villosum	frutos	10 (15)	15,0	50%	7,50	R\$ 1,20	R\$ 1,20	20%	R\$ 7,20
	Seringueira	Hevea brasiliensis	látex	7 (10)	4,0	95%	3,80	R\$ 7,18	R\$ 7,18	70%	R\$ 8,19
	Tapereba	Spondias mombin	fruto/polpa	6 (15)	15,0	70%	10,50	R\$ 2,50	R\$ 2,50	25%	R\$ 19,69

Bioma	Nome comum	Espécie	Produto comercial avaliado	Idade de produção inicial (e potencial)	Produção anual (kg/un.)*	Percentual de aproveitamento (%)	Estimativa de aproveitamento por planta (kg/planta)	Preço mínimo Conab (R\$/kg)	Preço médio Conab (R\$/kg)	Custo de coleta e beneficiamento em relação ao preço de venda (%)	Receita anual por planta (R\$)
	Tucumã	<i>Astrocaryum vulgare</i>	frutos	7 (15)	12,0	90%	10,80	R\$ 2,00	R\$ 3,00	20%	R\$ 17,28
	Uchi-amarelo	<i>Endopleura uchi</i>	frutos	7 (12)	34,8	50%	17,40	R\$ 2,69	R\$ 2,69	20%	R\$ 37,44
Cerrado	Araticum-marolo	<i>Annona classiflora</i>	frutos	5 (10)	8,0	70%	5,60	R\$ 2,48	R\$ 4,50	30%	R\$ 9,72
	Baru	<i>Dipteryx alata</i>	amêndoa	7 (15)	2,0	80%	1,60	R\$ 40,52	R\$ 50,00	60%	R\$ 25,93
	Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i>	frutos	12 (20)	100,0	50%	50,00	R\$ 1,92	R\$ 1,08	50%	R\$ 48,00
	Cagaita	<i>Eugenia dysenterica</i>	fruto	5 (10)	5,0	90%	4,50	R\$ 7,00	R\$ 10,00	30%	R\$ 22,05
	Caju	<i>Anacardium occidentale</i>	castanha	4 (10)	20,4	80%	16,33	R\$ 2,20	R\$ 5,00	50%	R\$ 17,96
	Guariroba	<i>Syagrus oleracea</i>	palmito	7 a 10	2,0	80%	1,60	R\$ 7,26	R\$ 7,26	25%	R\$ 8,71
	Macaúba	<i>Acrocomia aculeata</i>	fruto/polpa	6 (10)	62,5	30%	18,75	R\$ 0,56	R\$ 0,56	35%	R\$ 6,83
	Mangaba	<i>Hancornia speciosa</i>	fruto	5 (10)	10,0	50%	5,00	R\$ 2,48	R\$ 5,00	30%	R\$ 8,68
	Murici	<i>Byrsonima crassifolia</i>	fruto/polpa	5 (10)	5,0	80%	4,00	R\$ 4,36	R\$ 4,38	40%	R\$ 10,46
	Pequi-anão	<i>Caryocar brasiliensis</i>	frutos	6 (10)	12,0	80%	9,60	R\$ 0,46	R\$ 1,74	30%	R\$ 3,09
Mata Atlântica	Abiu	<i>Pouteria caimito</i>	frutos	8 (15)	15,0	50%	7,50	R\$ 2,50	R\$ 4,00	25%	R\$ 14,06
	Caja-manga	<i>Spodias spp</i>	fruto (polpa)	6 (15)	30,0	70%	21,00	R\$ 1,42	R\$ 1,42	40%	R\$ 17,89
	Cambuci	<i>Campomanesia phaea</i>	frutos	5 (10)	37,5	80%	30,00	R\$ 2,50	R\$ 5,00	40%	R\$ 45,00
	Erva-mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	folhas	5	7,5	100%	7,50	R\$ 1,33	R\$ 3,30	40%	R\$ 6,00

Bioma	Nome comum	Espécie	Produto comercial avaliado	Idade de produção inicial (e potencial)	Produção anual (kg/un.)*	Percentual de aproveitamento (%)	Estimativa de aproveitamento por planta (kg/planta)	Preço mínimo Conab (R\$/kg)	Preço médio Conab (R\$/kg)	Custo de coleta e beneficiamento em relação ao preço de venda (%)	Receita anual por planta (R\$)
	Espinheira-santa	Maytenus ilicifolia	folhas	10	3,0	100%	3,00	R\$ 12,00	R\$ 12,00	40%	R\$ 21,60
	Goiaba-serrana	Acca sellowiana	frutos	4 (8)	12,5	70%	8,75	R\$ 4,00	R\$ 5,00	20%	R\$ 28,00
	Jaboticaba	Plinia peruviana	frutos	5 (15)	8,0	60%	4,80	R\$ 5,00	R\$ 5,00	25%	R\$ 18,00
	Juçara(f)	Euterpe edulis	frutos	7 (10)	3,9	70%	2,72	R\$ 3,09	R\$ 3,70	50%	R\$ 4,20
	Pimenta-rosa	Schinus terebinthifolius	frutos	3 (7)	5,0	70%	3,50	R\$ 15,00	R\$ 15,00	20%	R\$ 42,00
	Pinheiro-do-paraná	Araucaria angustifolia	pinhão	15 (25)	30,0	90%	27,00	R\$ 4,05	R\$ 4,05	20%	R\$ 87,48
	Uvaia	Eugenia pyriformes	frutos	4 (10)	7,5	60%	4,50	R\$ 8,00	R\$ 8,00	25%	R\$ 27,00
Outras – frutíferas	Graviola	Annona muricata	fruto	5 (8)	12	70%	8,40	R\$ 6,20	R\$ 6,70	40%	R\$ 31,25
	Mamão	Carica papaya	fruto	1 a 2	30	70%	21	R\$ 5,00	R\$ 7,00	70%	R\$ 31,50
	Noz-pecã	Carya illinoensis	castanha	6 (15)	12,0	70%	8,40	R\$ 10,00	R\$ 10,00	20%	R\$ 84,00
	Macadâmia	M. integrifolia / M. tetraphylla	nozes	5 (12)	15,0	90%	13,50	R\$ 12,00	R\$ 15,00	50%	R\$ 81,00
Outros – cultivos	Pupunha	Bactris gasipaes	palmito (haste)	2,5	1,0	100%	1,00	R\$ 4,00	R\$ 5,00	carro-chefe	R\$ 4,00
	Café	Coffea sp	grãos	3 (5)	0,52	100%	0,52	R\$ 10,11	R\$ 18,20	carro-chefe	R\$ 5,28
	Cítricos – limão	Citrus x latifolia	fruto	3 (7)	45,0	80%	36,04	R\$ 1,25	R\$ 1,75	carro-chefe	R\$ 45,05
	Banana-nanica	Musa sp	fruto	2 a 4	7,2	90%	6,48	R\$ 2,80	R\$ 2,80	carro-chefe	R\$ 18,14

Bioma	Nome comum	Espécie	Produto comercial avaliado	Idade de produção inicial (e potencial)	Produção anual (kg/un.)*	Percentual de aproveitamento (%)	Estimativa de aproveitamento por planta (kg/planta)	Preço mínimo Conab (R\$/kg)	Preço médio Conab (R\$/kg)	Custo de coleta e beneficiamento em relação ao preço de venda (%)	Receita anual por planta (R\$)
	Banana-prata	Musa sp	fruto	2 a 4	7,2	90%	6,48	R\$ 2,80	R\$ 2,80	carro-chefe	R\$ 18,14
	Banana-da-terra	Musa sp	fruto	2 a 4	15,0	90%	13,50	R\$ 3,00	R\$ 3,00	carro-chefe	R\$ 40,50
Agrícolas - entrelinhas	Mandioca	Manihot esculenta	raiz	1	1,8	100%	1,80	R\$ 0,33	R\$ 0,88	carro-chefe	R\$ 0,59
	Milho – grãos secos	Zea mays	grãos (hectare)	0,3	4.200,0	100%	4.200,0	R\$ 1,08	R\$ 1,41	carro-chefe	R\$ 4.550,00
	Milho verde	Zea mays	espiga	0,3	1	100%	1	R\$ 0,25	R\$ 0,25	carro-chefe	R\$ 0,50
	Feijão – variedades	Phaseolus vulgaris	grãos (hectare)	0,3	2.400,0	100%	2.400,0	R\$ 3,46	R\$ 5,67	carro-chefe	R\$ 8.320,00

* A produção anual foi observada por kg/planta, com exceção do milho (grãos secos) e do feijão (variedades), plantadas em entrelinhas nos SAFs, que foi considerada por kg/hectare.

Sistema de produção madeireira (SPM)

O sistema de produção madeireira compreende o plantio de espécies florestais cujo manejo é conduzido para a produção madeireira em diferentes ciclos de corte. Além de favorecer a restauração do ecossistema e permitir ganho de renda pelo uso sustentável dos produtos madeireiros, esse modelo também atua na conservação das florestas naturais de forma indireta, por aumentar a oferta de madeira no mercado e diminuir a pressão da exploração ilegal. Nesse sentido, os plantios comerciais de espécies madeireiras têm dupla atuação, na restauração de novos ecossistemas e na conservação das florestas naturais remanescentes.

Alguns sistemas de produção madeireira foram propostos considerando o uso de espécies tropicais exóticas, ocupando até 50% do plantio, incluindo eucalipto, mogno-africano, acácia-mangium e teca. Para as regiões Sul e Sudeste considerou-se também o plantio com até 50% de araucária, e para a região Norte um dos modelos estabelece o uso de 50% de paricá. Essas são espécies nativas com sistemas silviculturais de cultivo reconhecidos e já amplamente utilizados. Nenhum modelo construído inclui as espécies exóticas de pinus, já que elas não são recomendadas para plantios em áreas destinadas à conservação, como é o caso das RLs, devido ao alto potencial como espécies invasoras.

Composição dos modelos de plantio

Com relação ao arranjo espacial desse modelo, as espécies nativas foram distribuídas de acordo com seu ritmo de crescimento (rápido, médio e lento), análogo às funções dos grupos de espécies da sucessão secundária dos modelos ecológicos, conforme segue:

Espécies nativas de ritmo de crescimento rápido: possuem como principal função ecológica ocupar rapidamente os espaços da floresta e fornecer condições adequadas para as demais espécies de ciclo tardio se desenvolverem, papel semelhante àquele realizado pelas espécies pioneiras na sucessão secundária das florestas tropicais. Por conta de sua densidade, considerada baixa, a madeira dessas espécies tem usos menos nobres, como caixotaria, lenha, carvão, pequenas peças de artesanato, celulose, entre outros. A característica primordial das espécies é o rápido crescimento em pleno sol e o rápido retorno econômico. A idade de colheita vai variar conforme a espécie, na média

não ultrapassando os dez anos. A fim de fixar uma idade de plantio, considerou-se o corte desse grupo aos sete anos de idade.

Espécies nativas de ritmo de crescimento moderado: são as madeiras de ciclo médio representadas por espécies intermediárias na sucessão secundária das florestas tropicais. Seu desenvolvimento é beneficiado quando as espécies se desenvolvem à meia-luz, o que realça o importante papel do consórcio com as espécies de ciclo rápido. A densidade da madeira é variável, mas o valor econômico supera o do grupo de crescimento rápido, uma vez que o uso é mais nobre (por exemplo, em movelaria, carpintaria, construção civil e outros). Seu ciclo de exploração é previsto em dois momentos, aos 14 e aos 21 anos após o plantio. Com a maior maturação no segundo ciclo desse grupo, tem-se toras mais grossas (maior diâmetro do tronco), o que aumenta o valor do produto na comercialização.

Espécies nativas de ritmo de crescimento lento: são as madeiras de ciclo longo, grande parte das madeiras de lei, representadas pelas espécies típicas de finais de sucessão ecológica, cujo desenvolvimento se dá em ambientes sombreados durante boa parte do tempo. Possuem madeiras de alta qualidade e resistência a ataques de inseto, e por esse motivo são utilizadas na produção de instrumentos musicais, na construção naval, na confecção de móveis de luxo, entre outros, conferindo às espécies alto valor econômico. Seu ciclo de exploração é previsto a partir de 30 anos após o plantio, podendo ser conduzido por mais tempo para que as árvores alcancem as dimensões maiores requeridas para alguns usos.

Espécies exóticas tropicais: são espécies utilizadas em sistema de produção silvicultural no país, com material genético, forma de manejo e produtividade reconhecidas e com mercado estabelecido. Os ciclos de corte são variados para as diferentes espécies em função do tipo de aproveitamento do produto final.

Para fazer as estimativas de produção das espécies madeireiras, foram usadas informações sobre produtividade disponíveis em diversas literaturas técnica do setor, dentre as quais os trabalhos de: Rolim; Piotto (2018); Gusson (2014); Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010, 2014); Nunes (2014), Coradin; Siminski; Reis (2011); Ré (2011); Hess (2007); Arco-Verde; Schwengber (2003); Brienza Júnior et al. (2008); Souza et al. (2008), Tonini et al. (2005). Para as espécies exóticas as informações provêm principalmente dos dados presentes de softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantios florestais desenvolvidos pela Embrapa Floresta (EMBRAPA, 2022).

Devido à pouca disponibilidade de dados sobre volumetria de espécies nativas em sistemas de produção de madeira em outros biomas e regiões fitogeográficas, optou-se por adotar um fator para a extrapolação do valor da produtividade para essas regiões, a partir da estimativa de produção determinada para as regiões onde se tem mais

informações sobre o desenvolvimento em sistemas silviculturais de nativas. Esse fator tem como base as condições climáticas locais e de solo, associadas às características de solo, determinantes para o potencial de produtividade líquida dos ecossistemas (Tabela 1), a exemplo da proposta realizada por Flores et al. (2016) na determinação da produtividade de eucalipto. Considera também a produtividade potencial em biomassa nas fitofisionomias dos biomas, a partir de dados observados por Englund et al. (2017).

Tabela 1. Fator de expansão de produtividade para os biomas (e fitofisionomias) a partir dos valores observados nas regiões da Mata Atlântica e da Amazônia

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Região (bioma/fitosionomia)	Fator de produtividade (unidimensional)
Amazônia – Ombrófila (CO, NO)	1,10
Amazônia – Estacional (CO, NO)	0,95
Amazônia – Savana (NO)	0,72
Caatinga (NE)	0,40
Cerrado (CO, NE)	0,60
Cerrado (SE)	0,50
Mata Atlântica – Ombrófila (NE)	1,00
Mata Atlântica – Ombrófila (S, SE)	0,89
Mata Atlântica – Estacional (S, SE, NE)	0,75
Mata Atlântica – Mista (S, SE)	0,78
Pampas	0,44
Pantanal	0,78

Os Quadros 2(a), 2(b) e 2(c) apresentam as estimativas de produção de madeira adotadas neste estudo para os diferentes ciclos de corte das espécies madeireiras, considerando os distintos espaçamentos empregados. Já o Quadro 3 mostra o percentual de árvores cortadas em cada ciclo e o valor de venda da madeira em pé estimado em função da destinação do produto final (caixotaria, energia, processo, serraria).

Diferentemente dos modelos de SAF, cujos principais produtos têm produção contínua e viável numa pequena escala, os modelos madeireiros são de prazo de retorno mais longo e necessitam de amplas áreas para que a volumetria da madeira seja comercialmente atrativa, principalmente quando se trata das operações de colheita e

transporte, de alto custo de execução. Assim, partiu-se do princípio de que as médias e grandes propriedades rurais possuem maior vocação para esse tipo de empreendimento.

Quadro 2(a). Estimativa de produtividade das árvores das espécies nativas nos diferentes biomas e fitofisionomias (Incremento Médio Anual - IMA em m³/árvore/ano)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), baseado em referências que consideram os diferentes biomas, como por exemplo Rolim; Piotto (2018); Gusson (2014); Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010, 2014); Nunes (2014), Coradin; Siminski; Reis (2011); Ré (2011); Hess (2007); Arco-Verde; Schwengber (2003); Brienza Júnior et al. (2008); Souza et al. (2008), Tonini et al. (2005) e Embrapa (2022).

Grupo de ritmo de crescimento Espaçamento Idade de colheita (anos)	RÁPIDO	MODERADO		LENTO	RÁPIDO	MODERADO		LENTO	RÁPIDO	MODERADO		LENTO	
		3 x 2				3 x 3				3 x 4			
	7	14	21	30	7	14	21	30	7	14	21	30	
Região (bioma/fitosionomia)	IMA (m ³ /árvore/ano)												
Amazônia – Ombrófila (CO, NO)	0,0165	0,0120	0,0180	0,0204	0,0203	0,0180	0,0270	0,0306	0,0270	0,0240	0,0360	0,0408	
Amazônia – Estacional (CO, NO)	0,0143	0,0114	0,0171	0,0194	0,0192	0,0171	0,0257	0,0291	0,0257	0,0228	0,0342	0,0388	
Amazônia – Savana (NO)	0,0108	0,0086	0,0130	0,0147	0,0146	0,0130	0,0194	0,0220	0,0194	0,0173	0,0259	0,0294	
Caatinga (NE)	0,0060	0,0048	0,0072	0,0082	0,0081	0,0072	0,0108	0,0122	0,0108	0,0096	0,0144	0,0163	
Cerrado (CO, NE)	0,0090	0,0072	0,0108	0,0122	0,0122	0,0108	0,0162	0,0184	0,0162	0,0144	0,0216	0,0245	
Cerrado (SE)	0,0075	0,0060	0,0090	0,0102	0,0101	0,0090	0,0135	0,0153	0,0135	0,0120	0,0180	0,0204	
Mata Atlântica – Ombrófila (NE)	0,0150	0,0120	0,0120	0,0067	0,0225	0,0180	0,0180	0,0100	0,0300	0,0000	0,0240	0,0134	
Mata Atlântica – Ombrófila (S, SE)	0,0134	0,0107	0,0107	0,0060	0,0200	0,0160	0,0160	0,0089	0,0267	0,0000	0,0214	0,0119	
Mata Atlântica – Estacional (S, SE, NE)	0,0113	0,0090	0,0090	0,0050	0,0169	0,0135	0,0135	0,0075	0,0225	0,0000	0,0180	0,0101	
Mata Atlântica – Mista (S, SE)	0,0117	0,0094	0,0094	0,0052	0,0176	0,0140	0,0140	0,0078	0,0234	0,0000	0,0187	0,0105	
Pampas	0,0066	0,0053	0,0053	0,0029	0,0099	0,0079	0,0079	0,0044	0,0132	0,0000	0,0106	0,0059	
Pantanal	0,0117	0,0094	0,0094	0,0052	0,0176	0,0140	0,0140	0,0078	0,0234	0,0000	0,0187	0,0105	

Quadro 2(b). Estimativa de produtividade de eucalipto nos diferentes biomas e fitofisionomias (Incremento Médio Anual - IMA em m³/árvore/ano)

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em referências que consideram os diferentes biomas, como por exemplo Rolim; Piotto (2018); Gusson (2014); Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010, 2014); Nunes (2014), Coradin; Siminski; Reis (2011); Ré (2011); Hess (2007); Arco-Verde; Schwengber (2003); Brienza Júnior et al. (2008); Souza et al. (2008), Tonini et al. (2005) e Embrapa (2022).

Espécie	Eucalipto Urograndis		Eucalipto Urograndis		Eucalipto Lento		
	3 x 2		3 x 3		3 x 2		
	7	14	7	14	6	9	15
Idade de colheita (anos)	IMA (m ³ /árvore/ano)						
Região (bioma/fitosionomia)	IMA (m ³ /árvore/ano)						
Amazônia – Ombrófila (CO, NO)	0,0300	0,0480	0,0450	0,0720	0,0210	0,0350	0,0500
Amazônia – Estacional (CO, NO)	0,0285	0,0456	0,0428	0,0684	0,0200	0,0333	0,0475
Amazônia – Savana (NO)	0,0225	0,0360	0,0338	0,0540	0,0158	0,0263	0,0375
Caatinga (NE)	0,0135	0,0192	0,0180	0,0288	0,0084	0,0140	0,0200
Cerrado (CO, NE)	0,0210	0,0336	0,0315	0,0504	0,0147	0,0245	0,0350
Cerrado (SE)	0,0210	0,0336	0,0315	0,0504	0,0147	0,0245	0,0350
Mata Atlântica – Ombrófila (NE)	0,0300	0,0480	0,0450	0,0720	0,0210	0,0350	0,0500
Mata Atlântica – Ombrófila (S, SE)	0,0267	0,0427	0,0401	0,0641	0,0187	0,0312	0,0445
Mata Atlântica – Estacional (S, SE, NE)	0,0234	0,0374	0,0351	0,0562	0,0164	0,0273	0,0390
Mata Atlântica – Mista (S, SE)	0,0234	0,0374	0,0351	0,0562	0,0164	0,0273	0,0390
Pampas	0,0180	0,0288	0,0270	0,0432	0,0126	0,0210	0,0300
Pantanal	0,0234	0,0374	0,0351	0,0562	0,0164	0,0273	0,0390

Quadro 2(c). Estimativa de produtividade de madeiras auxiliares nos diferentes biomas e fitofisionomias (Incremento Médio Anual - IMA em m³/árvore/ano)

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em referências que consideram os diferentes biomas, como por exemplo Rolim; Piotto (2018); Gusson (2014); Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010, 2014); Nunes (2014), Coradin; Siminski; Reis (2011); Ré (2011); Hess (2007); Arco-Verde; Schwengber (2003); Brienza Júnior et al. (2008); Souza et al. (2008), Tonini et al. (2005) e Embrapa (2022).

Espécie	Mogno-africano		Acácia-mangium			Teca			Paricá	Araucária
	3 x 4		3 x 2			3 x 4			3 x 2	3 x 4
	10	15	3	6	10	7	14	21	6	30
Região (bioma/fitosionomia)	IMA (m ³ /árvore/ano)									
Amazônia – Ombrófila (CO, NO)	0,0360	0,0601	0,0180	0,0257	0,0468	0,0240	0,0320	0,0534	0,0180	--
Amazônia – Estacional (CO, NO)	0,0342	0,0571	0,0171	0,0244	0,0444	0,0228	0,0304	0,0507	0,0171	--
Amazônia – Savana (NO)	0,0270	0,0451	0,0135	0,0193	0,0351	0,0180	0,0240	0,0401	0,0135	--
Caatinga (NE)	0,0144	0,0240	0,0072	0,0103	0,0187	0,0096	0,0128	0,0214	--	--
Cerrado (CO, NE)	0,0252	0,0421	0,0126	0,0180	0,0327	0,0168	0,0224	0,0374	--	--
Cerrado (SE)	0,0252	0,0421	0,0126	0,0180	0,0327	0,0168	0,0224	0,0374	--	--
Mata Atlântica – Ombrófila (NE)	0,0360	0,0601	0,0180	0,0257	0,0468	0,0240	0,0320	0,0534	0,0180	--
Mata Atlântica – Ombrófila (S, SE)	0,0320	0,0535	0,0160	0,0229	0,0416	0,0214	0,0285	0,0475	--	0,0205
Mata Atlântica – Estacional (S, SE, NE)	0,0281	0,0469	0,0140	0,0201	0,0365	0,0187	0,0250	0,0417	--	0,0185
Mata Atlântica – Mista (S, SE)	0,0281	0,0469	0,0140	0,0201	0,0365	--	--	--	--	0,0185
Pampas	0,0216	0,0361	0,0108	0,0154	0,0281	--	--	--	--	0,0165
Pantanal	0,0281	0,0469	0,0140	0,0201	0,0365	0,0187	0,0250	0,0417	--	--

Quadro 3. Ciclos de corte e valores da venda da madeira para os diferentes sistemas de produção das espécies (Aprov. – aproveitamento; Espaç. – espaçamento do plantio)

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em referências que consideram os diferentes biomas, como por exemplo Rolim; Piotto (2018); Gusson (2014); Carvalho (2003, 2006, 2008, 2010, 2014); Nunes (2014), Coradin; Siminski; Reis (2011); Ré (2011); Hess (2007); Arco-Verde; Schwengber (2003); Brienza Júnior et al. (2008); Souza et al. (2008), Tonini et al. (2005) e Embrapa (2022).

Espécie	Idade de colheita (anos)	Espaç. do plantio (m)	Densidade do plantio (árvores/ha)	Percentual de plantas no corte (%)	Árvores cortadas no ciclo (árv.)	Uso principal descrição	Aprov. da madeira (%)	Valor unitário (R\$/m³)	Uso secundário descrição	Aprov. da madeira (%)	Valor unitário (R\$/m³)
Nativa – Rápido	7			25%		caixotaria	50%	R\$ 200,00	energia	50%	R\$ 40,00
Nativa – Moderado	14	3 x 2	416	25%	416	serraria	60%	R\$ 400,00	energia	40%	R\$ 40,00
Nativa – Moderado	21	3 x 3	275		275						
Nativa – Moderado	21	3 x 4	208	25%	208	serraria	70%	R\$ 600,00	energia	30%	R\$ 40,00
Nativa – Lento	30			25%		serraria	80%	R\$ 1.200,00	energia	20%	R\$ 50,00
Eucalipto urograndis	7	3 x 2	833	50%	416	processo	90%	R\$ 60,00	energia	10%	R\$ 40,00
	14	3 x 3	555	50%	227	serraria	70%	R\$ 140,00	energia	30%	R\$ 40,00
Eucalipto – Lento	6		833	40%	333	tratamento	50%	R\$ 100,00	energia	50%	R\$ 50,00
	9	3 x 2	500	30%	250	tratamento	60%	R\$ 150,00	energia	40%	R\$ 50,00
	15		250	30%	250	serraria	70%	R\$ 220,00	energia	30%	R\$ 50,00
Mogno-africano	10		416	50%	208	serraria	40%	R\$ 600,00	energia	60%	R\$ 50,00
	15	3 x 4	208	50%	208	serraria	70%	R\$ 1.200,00	energia	30%	R\$ 50,00
Acácia-mangium	3		416	30%	187	serraria	0%	R\$ 100,00	energia	100%	R\$ 40,00
	6	3 x 2	229	45%	125	serraria	30%	R\$ 200,00	energia	70%	R\$ 40,00

Teca	10		104	25%	104	serraria	50%	R\$ 400,00	energia	50%	R\$ 40,00
	7	3 x 4	416	25%	104	mourão	50%	R\$ 200,00	energia	50%	R\$ 40,00
	14	3 x 4	312	30%	42	serraria	60%	R\$ 600,00	energia	40%	R\$ 40,00
	21	3 x 4	270	45%	270	serraria	70%	R\$ 1.200,00	energia	30%	R\$ 40,00
Paricá	6 (7)	3 x 2	833	100%	833	Laminação	90%	R\$ 200,00	energia	10%	R\$ 40,00
Araucária	30	3 x 4	416	100%	416	serraria	90%	R\$ 600,00	energia	10%	R\$ 40,00

Modelos de sistemas agroflorestais (SAFs)

Aqui são apresentados exemplos de sistemas agroflorestais analisados neste estudo. A proposta é que eles sejam conduzidos de modo a favorecer o estabelecimento da vegetação, com os atributos mínimos que reproduzam características da flora nativa, em termos de estrutura e funcionalidade.

Para cada região, buscou-se a inserção de plantas da flora local, com ênfase em produtos associados à sociobiodiversidade. A proposta é que esses sistemas sejam implantados e manejados continuamente. A composição e a quantidade das espécies foram pensadas sempre para uma área de 1 hectare. As plantas são manejadas de modo a nunca haver a remoção dos indivíduos arbóreos do sistema, os quais podem receber podas de galhos, finos e grossos, e até mesmo o desbaste, como prática de manejo da biomassa e produção de cobertura vegetação do solo. A definição da densidade de plantas procura seguir os espaçamentos normalmente utilizados para as diferentes espécies em sistemas de produção consorciados. Consideram-se também o ciclo de vida (curto, semiperene e perene) e a ocupação da espécie no vertical do sistema (plantas de estrato inferior, médio e superior).

Para a grande maioria dos sistemas, foi adotada a ocupação das entrelinhas de plantio, inicialmente com espécies de leguminosas de adubação verde e a produção de culturas agrícolas de ciclo curto (anuais). As agrícolas inseridas foram apenas a mandioca, o feijão e o milho (grão seco e milho verde), culturas comuns em praticamente todo o país, mas deve-se ressaltar que o uso dessas entrelinhas pode receber imensa diversidade de outras espécies com função de cobertura do solo, produção e geração de receita em ciclo curto.

Os modelos propostos são direcionados à agricultura familiar e podem ser utilizados na recomposição de áreas de APP, conforme respaldado na legislação vigente, mas também replicados em outras áreas, seja na própria unidade agrícola desses agricultores, seja em áreas de Reserva Legal dos médios e grandes imóveis rurais.

Na análise econômica dos sistemas agroflorestais aqui apresentados, considerou-se a mão de obra própria do agricultor, executada em sistemas de mutirão com envolvimento de equipe de profissionais em extensão rural e gestores de projetos na mobilização das atividades.

A seguir são apresentados resumos dos modelos propostos para as diferentes regiões, sendo importante destacar que, para além desse conjunto, há inúmeras possibilidades de arranjos produtivos de SAFs praticados no país.

Região Norte

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
<p align="center">SAF I</p> <p align="center">Açaí – cupuaçu - banana – cacau</p>	<p>25% açaí (12 x 4 = 208 plantas)</p> <p>+ 25% cupuaçu (12 x 4 = 208 plantas)</p> <p>+ 25% cacau (12 x 3 = 226 plantas)</p> <p>+ 20% banana-da-terra (12 x 3 = 226 - 40 = 186 plantas)</p> <p>+ 40 arbóreas nativas “adubadeiras” intercalando as bananas nas linhas de consórcio do cacau</p> <p>Observação: adubação verde no início do plantio. As bananeiras saem do sistema após 3 anos.</p>
<p align="center">SAF II</p> <p align="center">Pupunha – cacau – taperebá – adubadeiras</p>	<p>33,33% pupunha (9 x 1 = 1.666 plantas)</p> <p>+ 58,5% cacau (6 x 3 = 740 - 90 = 466 plantas)</p> <p>+ 8,1% de arbóreas nativas (90 plantas), sendo: 45 taperebá (18 x 12 = 45 plantas) e arbóreas nativas “adubadeiras” (18 x 12 = 45 plantas)</p> <p>Observação: adubação verde no início do plantio. As arvores nativas entram intercalando o cacau a cada 3 plantas.</p>
<p align="center">SAF III</p> <p align="center">Cacau – cupuaçu – bacuri – mandioca + adubadeiras</p>	<p>+ 50% cacau (6 x 3 = 556 plantas)</p> <p>+ 25% cupuaçu (12 x 4 = 208 plantas)</p> <p>+ 25% bacuri (12 x 12 = 70 plantas)</p> <p>+ nativas adubadeiras [12 x (3 + 3 + 3) = 208 plantas]</p> <p>Plantio de mandioca em todas as entrelinhas (3 safras)</p> <p>Observação: adubação verde no início do plantio, posteriormente entrada da cultura da mandioca na entrelinha.</p>
<p align="center">SAF IV</p> <p align="center">Cacau – banana – frutíferas</p>	<p>66,66% cacau [2 linhas 6 x (3 x 3) = 740 plantas]</p> <p>+ 22,22% banana (1 linha 9 x 3 = 246 plantas)</p>

	<p>+ 11,11% frutíferas (125 plantas, sendo 25 de cada – tapereba, andiroba, castanheira, cumaru e pequiá)</p> <p>Observação: o modelo considera o plantio de 2 linhas de cacau intercaladas com 1 linha de bananeiras. Árvores frutíferas são inseridas no sistema. É feita a adubação verde no início da implantação. As bananeiras saem do sistema após 3 anos, sendo plantadas a cada 10 m as linhas ocupadas pelas arbóreas nativas produtivas.</p>
<p>SAF V</p> <p>Café – banana – adubadeiras</p>	<p>66,6% café [2 linhas 6 x (3 x 3) = 2.222 plantas] + 22,22% banana-da-terra (9 x 3 = 123 plantas) + 11,11% frutíferas (125 plantas, sendo 25 de cada – tapereba, andiroba, castanheira, cumaru e pequiá)</p> <p>Observação: adubação verde de início nas entrelinhas. Linhas de nativas adubadeiras plantadas entre as bananeiras, que saem do sistema após 3 anos. Alteração do SAF IV apenas pela troca do cacau pelo café.</p>

Região Centro-Oeste

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
<p>SAF I</p> <p>Pequi – baru</p> <p>(modelo de enriquecimento de cerrado)</p>	<p>Plantio (6 x 4) = total de 416 plantas</p> <p>50% pequi (208 plantas)</p> <p>50% baru (208 plantas)</p> <p>Observação: plantio intercalado das plantas em linhas a cada 6 metros em áreas de cerrado para o manejo agroextrativista</p>
<p>SAF II</p> <p>Pomar biodiverso para cerrado com uso de entrelinhas</p>	<p>Plantio de árvores em espaçamento 6 x 4 = total de 416 plantas, sendo: 10 espécies do cerrado com 42 indivíduos cada (araticum-marolo, baru, buriti, cagaita, caju, guariroba, macaúba, mangaba, murici, pequi-anão)</p> <p>Observação: plantio nas entrelinhas de adubação verde, seguido de plantio de agrícolas (mandioca, milho e feijão)</p>

SAF III Café com uso de entrelinhas e nativas adubadeiras	<p>Café 3 x 3 x 1 (linhas duplas) = 2.222 plantas</p> <p>Nativas adubadeiras (9 x 3) = 370 plantas</p> <p>Observação: plantio nas entrelinhas de adubação verde, seguido de plantio de agrícolas (50% feijão e 50% mandioca) durante os 3 primeiros anos</p>
--	--

Região Nordeste

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
SAF I Cacau “adensado” + bananas + nativas	<p>50% cacau (3 x 3 = 1.111 plantas)</p> <p>45% banana (3 x 3 = 1.000 plantas) (30% de cada variedade)</p> <p>+ outras = 111 plantas (51 cajá-manga + 60 adubadeiras)</p> <p>Observação: modelo tradicional aplicado na região Nordeste, onde o cacau plantado no espaçamento regular de 3 x 3 é intercalado com as bananas com mesmo adensamento do espaçamento, 3 x 3. Substituindo as bananas, entram frutíferas e nativas adubadeiras. Adubação verde de início nas entrelinhas.</p>
SAF II Cacau “raleado” + banana + nativas	<p>66,66% cacau [3 x (3 x 3) = 740 plantas]</p> <p>+ 27% banana (9 x 3 = 370 - 70 = 300 plantas, sendo 9% para cada variedade)</p> <p>+ 6,3% nativas produtivas e adubadeiras intercaladas com bananas = 70 plantas (50 cajá-manga + 20 adubadeiras sombreadoras)</p> <p>Observação: adaptação do modelo anterior. As bananas saem do sistema após 3 anos. É feita a adubação verde de início nas entrelinhas, seguida do plantio de mandioca por 3 anos (ciclos).</p>
SAF III Pupunha – cacau – tapereba – adubadeiras	<p>33,33% pupunha-palmito (9 x 1 = 1.666)</p> <p>+ 58,5% cacau (6 x 3) = 740 - 90 = 650 plantas</p> <p>+ 8,1% de nativas, sendo: cajá-manga (18 x 12 = 45 plantas) e nativas adubadeiras (18 x 12 = 45 plantas) (intercalando o cacau a cada 3 plantas)</p> <p>+ adubação verde no início</p> <p>Observação: 1 linha de pupunha com 2 linhas de cacau. Cajá-manga e nativas intercaladas com o cacau a cada 12 metros. Adubação verde de início na entrelinha. Modelo similar ao SAF II proposto para o Norte.</p>

SAF VI Café + banana + adubadeiras	<p>66,66% café 3 x 3 x 1 (2.222 plantas) + 22,22% nativas adubadeiras [9 x (3 + 3) = 370 - 123 = 247 plantas] + 11,11% bananada-terra (9 x 9 = 123 plantas)</p> <p>+ adubação verde inicial e agrícolas até 3º ano (milho, feijão, mandioca) nas entrelinhas</p> <p>Observação: 2 linhas de café intercaladas por 1 linha de nativas adubadeiras e bananeiras. Adubação verde de início na entrelinha. Posteriormente, nas entrelinhas, são realizados cultivos de culturas agrícolas por 3 anos (ciclos), com milho, feijão e mandioca (33,3% de cada espécie).</p>
---	--

Região Sudeste

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
SAF I Café + banana + adubadeiras	<p>66,66% café (3 x 3 x 1 = 2.222 plantas) + 22,22% banana-nanica [9 x (3 + 3) = 247 plantas] + 11,11% nativas adubadeiras (9 x 9 = 123 plantas)</p> <p>+ adubação verde e agrícolas na entrelinha</p> <p>Observação: plantio de 2 linhas de café, intercaladas com 1 linha de banana e adubadeiras. Adubação verde de início na entrelinha. Posteriormente, nas entrelinhas, são realizados cultivos de culturas agrícolas por 3 anos (ciclos), com milho, feijão e mandioca (33,3% de cada espécie). Similar ao SAF IV Nordeste).</p>
SAF II Pupunha com banana	<p>66,66% pupunha-palmito (3 x 3 x 1 = 3.333 plantas) + 22,22% banana-nanica [9 x (3 + 3) = 247 plantas] + 11,11% nativas adubadeiras (9 x 9 = 123 plantas)</p> <p>+ adubação verde e agrícolas entrelinhas</p> <p>Observação: 2 linhas de pupunhas intercaladas com 1 linha da banana e nativas adubadeiras. Adubação verde de início na entrelinha. Posteriormente, nas entrelinhas, são realizados cultivos de culturas agrícolas por 3 anos (ciclos), com milho, feijão e mandioca (33,3% de cada espécie).</p>

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
<p align="center">SAF III Cítrico com noz-pecã</p>	<p>50% cítricos (6 x 4 = 416 plantas) + 12,5% noz-pecã (18 x 4 = 104 plantas) + 37,5% adubadeiras (9 x 4 = 312 plantas)</p> <p>Observação: o cítrico (limão taiti) é plantado no espaçamento 6 x 4. Espécies arbóreas são plantadas no mesmo espaçamento, sendo 1/3 do plantio destinado a uma espécie econômica, a noz-pecã, e 2/3 a nativas adubadeiras. Adubação verde é realizada no início, seguida do plantio de agrícolas nas entrelinhas (50% milho e 50% feijão) durante 3 anos.</p>
<p align="center">SAF IV "Quintal florestal"</p>	<p>100% de plantas frutíferas no espaçamento 6 x 4 m 416 plantas (20 espécies de produção frutífera da Mata Atlântica e Cerrado e outras): araticum-marolo, baru, buriti, cagaita, caju, guariroba, mangaba, murici, pequi-anão, abiu, cajá-manga, cambuci, goiaba-serrana, jabuticaba, juçara(i), pimenta-rosa, uvaia, graviola, mamão, noz-pecã.</p> <p>Observação: conhecido como "quintal florestal" ou "quintal produtivo", esse modelo tem como proposta formar uma área de pomar para a colheita de produtos ao longo de todo o ano. Adubação verde no início da implantação seguida da produção de agrícolas (33,33% cada – feijão, milho e mandioca) por 3 anos.</p>

Região Sul

Identificação do modelo	Composição do SAF (proporções e quantidades de plantas por hectare)
<p align="center">SAF I "Chimarrão com pinhão"</p>	<p>81% Erva-mate (3 x 3 m = 1.111 – 211 = 900 plantas), + 10% de plantas por adubadeiras (111 plantas) + 9% Araucárias (100 plantas)</p> <p>Espaçamento: 3 x 3 m Com adubação verde Produção de agrícolas (100% milho)</p> <p>Observação: plantio de erva-mate no espaçamento 3 x 3, intercalado com 100 plantas de araucária, além de 111 árvores adubadeiras. É realizada a adubação verde no início do plantio, seguida de 3 safras de milho nas entrelinhas.</p>

SAF II Pupunha com banana	<p>66,66% pupunha (3 x 3 x 1 = 3.333 plantas) + 22,22% banana-nanica [9 x (3 + 3) = 246 plantas], intercaladas com 1 adubadeira a cada 2 bananeiras (9 x 9 = 123 plantas)</p> <p>Espaçamento: 3 x 3 m Com adubação verde Produção de agrícolas (100% milho)</p> <p>Observação: plantio de 2 linhas de pupunha intercaladas com 1 linha de banana-nanica com plantas adubadeiras plantadas nas linhas das bananeiras a cada 9 m.</p>
--	--

Modelos de sistemas de produção madeireira (SPM)

Os sistemas de produção madeireira (SPMs) preveem o plantio de árvores nativas de diferentes ritmos de crescimento e ciclos de corte. Valendo-se da possibilidade de ocupação de até 50% de exóticas, são propostos também modelos consorciando as nativas com outras exóticas tropicais madeireiras como eucalipto, mogno-africano, teca e acácia-mangium, além das nativas araucária e paricá, também plantadas de modo adensado em 50% dos sistemas. Esses modelos foram pensados para áreas de Reserva Legal de médias e grandes propriedades, considerando o plantio executado com mão de obra contratada para a execução das atividades, que fazem uso de maquinários e implementos (tratores), irrigação de plantio e práticas operacionais de desramas na condução do fuste. Na análise econômica, os valores de comercialização consideram os preços de venda da madeira em pé.

Modelo	Composição
100% nativa Espaçamento: 3 x 3 ou 3 x 2	100% nativa Espaçamento: 3 x 3 (1.111 plantas/ha) ou 3 x 2 (1.666 plantas/ha) 25% rápido (7 anos) + 25% moderado (14 anos) + 25% moderado (21 anos) + 25% lento

<p>100% nativa</p> <p>Espaçamento: 3 x 3 ou 3 x 2</p> <p>Apenas com espécies de ritmo de crescimento moderado e lento</p>	<p>Espaçamento: 3 x 3 (1.111 plantas/ha) ou 3 x 2 (1.666 plantas)</p> <p>37,5% moderado (14 anos) + 37,5% moderado (21 anos) + 25% lento</p>
<p>50% nativa + 50% eucalipto (rápido crescimento)⁹</p> <p>Espaçamento: 3 x 3 ou 3 x 2</p>	<p>25% nativa de crescimento moderado (21 anos) + 25% nativa de crescimento lento (30 anos) + 25% eucalipto (7 anos) + 25% eucalipto (14 anos)</p>
<p>50% nativa + 50% eucalipto (lento)¹⁰</p> <p>Espaçamento: 3 x 3 ou 3 x 2</p>	<p>50% eucalipto lento (com corte de 40% aos 6 anos, 30% aos 9 anos e 30% aos 15 anos) + 25% nativa de crescimento moderado (21 anos) + 25% nativa de crescimento lento (30 anos)</p>
<p>50% nativa</p> <p>(espaçamento: 3 x 3)</p> <p>+ 50% teca</p> <p>(espaçamento: 3 x 4)</p>	<p>50% teca (com corte de 25% aos 7 anos, 30% aos 14 anos e 45% aos 21 anos) + 50% de nativas, sendo:</p> <p>12,5% rápido (7 anos) 12,5% moderado (14 anos) 12,5% moderado (21 anos) 12,5% lento (30 anos)</p>
<p>50% nativa</p> <p>(espaçamento: 3 x 3)</p> <p>+ 50% mogno-africano</p> <p>(espaçamento: 3 x 4)</p>	<p>50% mogno-africano (com corte de 50% aos 10 anos e de 50% aos 15 anos) + 25% nativa de crescimento moderado (21 anos) + 25% nativa de crescimento lento (30 anos)</p>
<p>50% nativa + 50% paricá</p> <p>Espaçamento: 3 x 2</p>	<p>50% paricá (6 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (14 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (21 anos) + 25% nativa de crescimento lento (30 anos)</p>
<p>50% nativa</p> <p>(espaçamento: 3 x 3)</p> <p>+ 50% araucária</p> <p>(espaçamento: 3 x 4)</p>	<p>50% araucária + 25% rápido (7 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (14 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (21 anos)</p>

⁹ Eucalipto de rápido crescimento: são espécies com alta performance de crescimento e incremento médio anual em volume, como o híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, conhecido como Urograndis, com madeira mais leve e normalmente destinada a processos como a fabricação de papel e celulose. É a variedade mais plantada no país.

¹⁰ Espécies de eucalipto com menor performance de crescimento, mas de madeira mais densa, usada em serraria para fabricação de peças estruturais. Por exemplo, *Eucalyptus citriodora*, *E. cloeziana*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* e *E. globulus*, entre outros utilizados no Brasil para múltiplos usos.

50% nativa + 50% acácia-mangium Espaçamento: 3 x 2	50% acácia-mangium (com corte de 30% aos 3 anos, 45% aos 6 anos e 25% aos 10 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (14 anos) + 12,5% nativa de crescimento moderado (21 anos) + 25% nativa de crescimento lento (30 anos)
---	--

III. DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA A RESTAURAÇÃO EM AMPLA ESCALA NO PAÍS

A partir da distribuição dos déficits de vegetação nativa dentro de cada região e bioma, das classes de potencial de regeneração e das categorias de imóvel rural, foi feita uma proposta de alocação dos diferentes métodos de restauração ecológica (florestal) e econômica, descritos nas Seções “Apresentação dos métodos de restauração ecológica” e “Modelos de restauração econômica”, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Alocação dos diferentes métodos de restauração florestal e modelos econômicos com base na classe da área protegida, nas categorias de imóveis rurais e nas classes de potencial de regeneração natural

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

* O art. 67 da Lei nº 12.651/2012 dispensa o pequeno imóvel da necessidade de promover a recomposição, compensação ou regeneração da RL para os percentuais mínimos exigidos no art. 12 da lei.

Classe da área protegida	Categoria de imóvel rural	Classes de potencial de regeneração natural	Método de restauração ou modelo econômico adotado
APP	Pequeno	Baixo Médio	Sistemas agroflorestais (SAFs)
		Alto	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração natural 1/3 condução + enriquecimento
	Médio e grande	Baixo	1/2 plantio de mudas 1/2 semeadura direta
		Médio	Adensamento + enriquecimento
		Alto	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração natural 1/3 condução + enriquecimento
		Pequeno	Não se aplica

Reserva Legal	Médio e grande	Baixo	Sistemas de produção madeireira (SPMs)
		Médio	Adensamento + enriquecimento
		Alto	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração natural 1/3 condução + enriquecimento

As premissas adotadas para a alocação dos seis métodos de restauração florestal e dos modelos econômicos (sistemas agroflorestais e sistemas de produção madeireira) foram relacionadas aos seguintes pontos: aspectos legais, no que tange às possibilidades e restrições de uso dentro de APPs e RLs para as diferentes categorias de imóveis rurais (pequeno, médio e grande); aspectos ecológicos relacionados ao grau de resiliência das áreas, interpretado por meio das classes de potencial de regeneração natural; aptidão dos diferentes perfis dos imóveis rurais (pequeno, médio e grande) para a escolha dos modelos econômicos; e, por fim, região e bioma, para a escolha dos arranjos produtivos com modelos econômicos (SAF e SPM) baseada na maior vocação de produção regional.

Foi necessária uma adaptação dos valores de déficits de vegetação nativa do Brasil do estudo de Guidotti et al. (2017), de 18,7 milhões de hectares, para os valores da meta iNDC-Brasil, de 12 milhões de hectares. Essa adaptação tem por objetivo calcular os custos, receitas e demais benefícios com o alcance dessa meta. Para isso, foi realizada uma simples abordagem, contabilizando 100% do déficit de vegetação dentro de APPs (7,9 milhões de hectares) mais 4,1 milhões de hectares do déficit em RLs para completar os 12 milhões requeridos. As áreas de déficit de Reserva Legal contabilizadas foram alocadas proporcionalmente dentro de cada região, bioma e tamanho de imóvel.

Os déficits em APP foram privilegiados pelo fato de essas áreas serem ambientalmente mais importantes na promoção de serviços ecossistêmicos e pela obrigação legal de serem efetivamente recompostas. As áreas de Reserva Legal, por outro lado, receberam tratamento secundário nessa abordagem, pois, segundo os próprios dados gerados por Guidotti et al. (2017), os excedentes de vegetação estimados (103 milhões de hectares) ultrapassam os déficits totais de vegetação nativa (18,7 milhões de hectares), o que traz a possibilidade de adoção dos mecanismos da compensação nas RLs, em vez da recomposição.

IV. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PROJETOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

São aqui apresentados os elementos associados aos custos da restauração florestal, abrangendo os diferentes métodos e práticas operacionais, a intensidade e as repetições das operações, bem como o dimensionamento das equipes, dos maquinários e equipamentos e dos materiais e insumos.

Assim, esses custos foram separados em:

- A. Salário da mão de obra empenhada nas atividades de recuperação, incluindo desde os trabalhadores das equipes que efetivamente executam as práticas operacionais em campo até os profissionais envolvidos na coordenação e gestão de projetos;
- B. Insumos e/ou materiais de consumo inerentes às atividades operacionais empregadas nos projetos;
- C. Valores de maquinários e implementos agrícolas utilizados na execução das operações (tratores e implementos), bem como dos equipamentos semimanuais (roçadeiras costais e perfuradores de solo).

a. Mão de obra – dimensionamento de equipe

Na previsão de custos com mão de obra foram consideradas seis classes de profissionais envolvidos diretamente na execução dos projetos de restauração florestal:

- A. Auxiliares de campo (trabalhadores rurais): responsáveis pela realização de atividades com ferramentas manuais ou equipamentos semimecanizados (motorroçadeiras, motoperfuradoras de solo, motosserras);

- B. Tratoristas:** pessoas habilitadas à condução de tratores, maquinários e implementos agrícolas;
- C. Encarregado de campo (supervisor):** responsável pela supervisão de uma equipe de campo, delegando atribuições e distribuição de tarefas relacionadas às atividades operacionais;
- D. Técnico agroflorestal:** profissional responsável pelas orientações técnicas dadas aos encarregados sobre a forma de condução e execução das atividades operacionais das diferentes etapas do projeto; também faz monitoramentos e elabora relatórios das atividades;
- E. Engenheiro florestal:** profissional responsável técnico pelo projeto, com a função de definir os métodos e operações, elaborar e acompanhar o cronograma físico-financeiro, instruir sobre as práticas operacionais, coordenar a equipe técnica e cuidar da logística de execução e da otimização dos recursos empenhados;
- F. Auxiliar administrativo:** responsável pela gestão dos recursos humanos e financeiros.

Para o dimensionamento de uma equipe operacional, a composição foi baseada em subordinação de funções de cada profissional, conforme abaixo:

- Uma equipe operacional é composta por 15 funcionários de campo, divididos entre trabalhadores rurais e tratoristas;
- Para cada equipe operacional tem-se 1 encarregado de campo (supervisor de equipe);
- Para cada 4 supervisores, tem-se 1 técnico florestal,
- Para cada 4 técnicos florestais, tem-se um engenheiro florestal e 1 auxiliar administrativo;

A proporção entre o número de tratoristas e de auxiliares de campo apresenta variação em função destes pontos: método de restauração; densidade do plantio, determinado pelo espaçamento entre linhas e entre plantas utilizado; possibilidade de mecanização da área. A amplitude de variação oscila entre 1 tratorista para 6 auxiliares de campo (1:6) para as áreas mecanizadas e 1 tratorista para cerca de 20 funcionários para as não mecanizadas (1:20). Neste segundo caso, tratores e implementos são utilizados basicamente para transporte de insumos e materiais.

Na fase de implantação, a quantidade de operações com maquinários (tratores e implementos) é ampla. Já na de manutenção dos plantios, a demanda por maquinários se reduz, servindo estes basicamente para operações nas quais os tratores podem ter baixa potência. Por isso, devido ao custo da hora-máquina dos tratores se diferenciar em função da quantidade de combustível consumido nas operações que demandam potências distintas, consideraram-se dois tipos de tratores: trator com potencial de 125cv, para o preparo de solo (subsolagem e gradagem) e aceiros, e trator de 80cv, para as demais operações, como roçadas e transporte de insumos.

Os coeficientes dos rendimentos operacionais definidos para as atividades de todas as fases do projeto baseiam-se em estimativas médias apresentadas por empresas do setor da silvicultura e da restauração florestal, em dados secundários disponíveis nas publicações técnicas e em comunicações pessoais com profissionais experientes que atuam na execução desse tipo de serviço.

Os rendimentos operacionais foram estimados em função das seguintes variáveis:

- A. Método de restauração** – em ordem crescente de complexidade da operação, quantidade de insumos e mão de obra empenhada, tem-se: i) restauração passiva; ii) condução da regeneração natural (ou regeneração assistida); iii) condução da regeneração natural e enriquecimento (intervenção de plantio em 25% da área); iv) condução da regeneração natural + adensamento/enriquecimento (intervenção de plantio em 50% da área); v) semeadura direta em área total; e vi) plantio de mudas em área total (que pode estar associado aos modelos econômicos, aumentando a demanda por práticas de manejo e condução dos sistemas de produção);

- B. Espaçamento (densidade) do plantio** – essa variável possui relação direta com o rendimento operacional, visto que espaçamentos mais adensados demandam maior tempo para plantio e operações de manutenção, a exemplo da capina das mudas (coroamento) e da fertilização delas;

- C. Área mecanizável ou não mecanizável** – nas áreas que possibilitam a realização das atividades com o uso de tratores (áreas mecanizáveis), as operações são de mais rápida execução e demandam menor quantidade de mão de obra de auxiliares de campo. Essas tarefas são realizadas em terrenos mais regulares, limpos e de baixa declividade.

Valores da mão de obra

Os salários-base da mão de obra empregada em projetos de restauração florestal foram obtidos a partir de dados divulgados no site eletrônico do salario.com¹¹. Essa plataforma organiza informações coletadas em todo o Brasil em períodos de 12 meses. Os dados disponíveis no site e aqui utilizados se referem ao período entre fevereiro de 2022 e janeiro de 2023. No site, os dados salariais de cada profissão têm como fonte de informações o Novo Caged, o eSocial e o Empregador Web, divulgados pela Secretaria da Previdência e Trabalho do Ministério da Economia, tendo por base as contratações e demissões do mercado de trabalho formal brasileiro, registradas mensalmente por empresas de todo o país. Assim, a média salarial utilizada provém dos salários dos últimos 12 meses da pesquisa, divididos pelo total de trabalhadores na amostragem de determinada Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)¹².

A pesquisa foi feita com base na CBO, sendo considerados os códigos profissionais do Novo Caged apresentados no Quadro 5.

Quadro 5. Códigos CBO das ocupações envolvidas nos projetos de restauração florestal

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base na CBO.

Cargo/função	Classificação Brasileira de Ocupações (CBO)
Trabalhador rural	6231-10
Tratorista	6410-15 e 6420-15
Supervisor (encarregado de campo)	6201-05 e 6301-10
Técnico	3211-05 e 3112-10
Engenheiro	2221-20 e 2221-10
Auxiliar administrativo	4110-05

¹¹ Informações disponíveis em: <https://www.salario.com.br/busca-salarial/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

¹² Informações disponíveis em: <https://www.mtecbo.gov.br/cbsite/pages/home.jsf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

Sobre esse salário-base, foram adicionados os encargos sociais e trabalhistas (13º salário, férias, FGTS), dentre outros exigidos ou necessários, totalizando o equivalente às despesas de cada integrante da equipe com base em seu enquadramento profissional.

Dependendo do enquadramento do contratante da mão de obra, os encargos sociais e trabalhistas possuem diferentes alíquotas. Na análise inicial foram consideradas três modalidades de tributação:

- A. Empresa optante pelo Simples Nacional (Apêndices 1, 2 e 3)** – Folha de pagamento inferior a 28% do faturamento: os encargos trabalhistas com base nas regras atuais ficam em 32,20% sobre o valor bruto do salário.

- B. Empresa optante pelo Simples Nacional (Apêndice 4)** – Folha de pagamento superior a 28% do faturamento: os encargos trabalhistas com base nas regras atuais ficam em 46,53% sobre o valor bruto do salário.

- C. Empresa optante pelo Lucro Presumido** (faturamento superior a R\$ 4,8 milhões nos últimos 12 meses) – os encargos trabalhistas com base nas regras atuais ficam entre 75 e 78% sobre o valor bruto do salário, dependendo da função do profissional.

Despesas obrigatórias relacionadas a transporte, alimentação e EPIs (equipamentos de proteção individual), que não se relacionam proporcionalmente aos salários de cada funcionário e a sua função, foram consideradas à parte. Não se levaram em conta outros benefícios, como plano de saúde, seguros adicionais e auxílio-moradia.

Os custos mensais da mão de obra foram convertidos em hora-homem (HH), considerando um trabalho médio de 44 horas semanais alocadas em 5 dias da semana e a média efetiva de trabalho de 18,6 dias por mês, que reflete a média de dias trabalhados por mês durante o ano (média de 223 dias de trabalho efetivo), descontados os períodos ganhos pelo funcionário, mas não trabalhados, como férias, finais de semana e feriados.

Para possibilitar o dimensionamento dos custos gastos com a mão de obra no projeto, computaram-se proporcionalmente aos salários da equipe operacional (auxiliares de campo e tratoristas) os custos com os salários dos demais funcionários que atuam no apoio (supervisores, técnicos, engenheiros e auxiliares administrativos), aplicando-se aos custos HH da equipe operacional o valor proporcional conforme dimensionamento apresentado no Quadro 6. Já os salários médios pagos aos diferentes profissionais envolvidos na restauração são apresentados no Quadro 7.

Quadro 6. Proporção de salário de uma equipe de projeto em função da subordinação por função

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Cargo	Proporção de profissionais subordinados por cargo	Fator de correção MDO
Auxiliar ou tratorista	1	1
Supervisor (encarregado)	1:15	0,0667
Técnico	1:60	0,0167
Engenheiro	1:120	0,0083
Auxiliar administrativo	1:60	0,0167

Quadro 7. Salários médios recebidos pelos profissionais da restauração florestal (R\$)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base nos dados compilados em salario.com, acesso em 2023.

Macrorregião	Profissional					
	Trabalhador rural	Tratorista	Encarregado de campo	Técnico supervisor	Engenheiro	Auxiliar administrativo
	Código Brasileiro de Ocupação (CBO)					
	6231-10	6410-15 6420-15	6201-05 6301-10	3211-05 3112-10	2221-20 2221-10	4110-05
NORTE	R\$ 1.685,00	R\$ 1.894,50	R\$ 2.273,40	R\$ 2.356,00	R\$ 5.568,50	R\$ 1.534,00
NORDESTE	R\$ 1.350,00	R\$ 1.590,50	R\$ 1.908,60	R\$ 2.205,00	R\$ 6.421,50	R\$ 1.483,00
SUDESTE	R\$ 1.593,00	R\$ 1.825,50	R\$ 2.190,60	R\$ 2.961,00	R\$ 8.441,50	R\$ 1.712,00
SUL	R\$ 1.652,00	R\$ 1.993,50	R\$ 2.392,20	R\$ 3.051,70	R\$ 6.410,50	R\$ 1.770,00
CENTRO-OESTE	R\$ 1.935,00	R\$ 2.062,00	R\$ 2.474,40	R\$ 2.716,70	R\$ 6.435,50	R\$ 1.626,00
BRASIL	R\$ 1.669,70	R\$ 1.907,00	R\$ 2.288,40	R\$ 2.749,40	R\$ 7.202,15	R\$ 1.680,67

Terceirização dos trabalhos

Nos custos dos projetos, consideraram-se três possibilidades distintas de mão de obra das equipes:

- Própria – na qual as atividades operacionais (que se relacionam com auxiliar e tratoristas) são realizadas pelo próprio agricultor, seja com a absorção da disponibilidade de trabalhadores da própria família, seja em mutirões realizados por esses agricultores. Essa situação é mais factível nos casos de implantação de projetos em áreas de imóveis rurais vinculados à agricultura familiar. Considera-se a possibilidade de organização em mutirões para a realização de ações dos projetos (associações/cooperativas, ONGs, organizações públicas) com remuneração por esses serviços. Para os agricultores, que realizarão as ações em suas áreas, prevê-se uma contribuição mínima pela atuação nos mutirões previstos em horas de trabalho (média de R\$ 4,48/hora). Para os demais profissionais envolvidos na orientação e gestão do projeto (encarregado de campo, técnicos, engenheiro e equipe de administração), os encargos trabalhistas pagos pela instituição são similares aos do Simples Nacional. Nessa situação, a figura do encarregado de campo é substituída por uma liderança local da própria comunidade.
- Não terceirizada – utilização da mão de obra de funcionários do próprio imóvel rural onde está sendo realizado o projeto, independentemente se produtor rural pessoa física ou pessoa jurídica. Sobre o valor desses funcionários incidem os encargos sociais e trabalhistas do regime tributário na qual o funcionário se enquadra, sendo mais comum o Simples Nacional.
- Terceirizada – contratação de empresa prestadora de serviços (terceirizada) para a realização das atividades do projeto. Assim, sobre o valor dos custos da mão de obra (HH da equipe operacional), bem como sobre o valor dos custos das operações mecanizadas (HM de tratores e equipamentos seminuais) considerou-se a aplicação de percentual adicional para o serviço das terceirizadas. Com isso, é possível prever uma margem no valor do serviço prestado que leva em conta:

A. os impostos incidentes sobre a emissão de nota fiscal por esse tipo de serviço, que podem variar de 9% a 20%, a depender do CNAE e dos rendimentos auditados (últimos 12 meses) das empresas prestadoras de serviço;

B. os lucros, investimentos e riscos da empresa, que podem variar conforme o mercado de oferta e demanda desse tipo de serviço nas diferentes regiões do país e a escala do serviço assumido, podendo ser menor, por unidade de área, para projetos em grandes áreas (escala ampla).

Na prática, esses serviços terceirizados apresentam variações entre 30% e 50% nos valores dos serviços prestados, sendo assumido o valor de 30% nas análises aqui realizadas.

Ressalta-se que esses percentuais não foram aplicados sobre os insumos, sendo considerado que estes são comprados diretamente pelo contratante dos serviços, para evitar “bitributação” de impostos com a emissão de nota fiscal pelo prestador de serviço.

b. Máquinas e equipamentos

Os custos com o uso de máquinas e equipamentos foram computados com base em estimativas do custo operacional de tratores agrícolas disponibilizado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati), da antiga Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo, atual Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável (CDRS). Para a regionalização desses custos, foram levantados preços do óleo diesel e da gasolina, variáveis relevantes para o custo total com maquinário, além de óleos e graxas.

Na pesquisa do preço do combustível para o consumidor adotaram-se os dados médios de venda, divulgados pelo Sistema de Levantamento de Preços da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com pesquisa feita no período entre 19 e 25 de março de 2023. Consideraram-se dois tipos de tratores nas operações, um trator de menor potência, de 80cv, para atividades leves, e um trator de 125cv, quando se exige maior potência para execução da operação, como no preparo do solo (Quadro 8).

Quadro 8. Preço dos combustíveis e valor de horas-máquina de equipamentos semanais e tratores

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base nos dados de 19 e 25 de março de 2023 do Sistema de Levantamento de Preços da ANP.

Macrorregião	Preço do diesel	Preço da gasolina	Equipamento semimanual	Trator 80cv	Trator 125cv
	(R\$/litro)	(R\$/litro)	Hora-máquina (HM)	Hora-máquina (HM)	Hora-máquina (HM)
CENTRO-OESTE	5,81	5,49	9,34	131,73	187,38
NORDESTE	5,88	5,58	9,49	132,59	188,72
NORTE	6,55	5,87	9,98	140,67	201,34
SUDESTE	5,80	5,46	9,27	131,55	187,09
SUL	5,73	5,55	9,44	130,72	185,80
BRASIL	5,99	5,61	9,53	133,87	190,71

c. Materiais e insumos

Os insumos e materiais de consumo considerados para os projetos de restauração florestal foram os seguintes: insumos de uso direto (mudas e sementes; corretivos e fertilizantes; herbicidas e formicidas; hidrogel; matérias de cerca como mourões, estacas, arames farpados, grampos); e insumos de uso indireto (combustíveis e lubrificantes como óleos e graxas).

Os custos desses insumos foram considerados da seguinte forma:

- Insumos de uso direto: valor por hectare com base na quantidade média recomendada por especialistas do setor;
- Insumos de uso indireto: valor médio por rendimento operacional diluído nos custos da hora-máquina (HM), seja nas operações mecanizadas (tratores + implementos), seja nas operações semimecanizadas (equipamentos semimanuais como perfurador de solo e roçadeira costal).

Para o preço do cercamento das áreas, fez-se uso de valores médios dos insumos considerando o cercamento de 1 quilômetro (observação: valor da cerca não computado no valor do hectare).

Os preços dos insumos foram extraídos da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (Insumos Agropecuários), do Instituto de Economia Agrícola, do Cepea-Esalq/USP e de sites especializados na comercialização de produtos agrícolas (por exemplo, MFRural). Fizeram-se também cotações diretas com fornecedores, como cooperativas e representantes comerciais de produtores de insumos (em especial, fertilizantes, calcário e mudas).

Na análise, optou-se por apresentar preços médios dos materiais e insumos para as macrorregiões administrativas do país. A respeito disso, pode-se observar alta variação de preços apresentados por fornecedores dentro de uma mesma região. No Quadro 9 é mostrado o preço médio dos materiais e insumos utilizados nos cálculos dos custos por hectare dos diferentes sistemas.

Quadro 9. Preços médios de referência (no país) dos materiais e insumos utilizados nos projetos de restauração florestal

Fonte: Elaborado pelos autores (2023) com base em dados da Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros.

Operações	Material / insumo	R\$
Cercamento	arame farpado 1,6 mm, carga 350 kg, rolo de 500 (unidade)	400,00
	Arame liso 1,2 mm (amarração) (kg)	20,00
	Balancim 3,2 mm (1 a cada 5 m) (unidade)	2,50
	Escoras (mourão de 8 cm x 1,5 m) (unidade)	16,00
	Grampos (kg)	17,00
	Mourão intermediário – simples 08-10 cm x 2,2 m (a cada 5 m) (unidade)	20,00
	Mourão palanque 15 cm x 2,5 m a cada 50 m (unidade)	45,00
	<i>Total - materiais para cercamento (5 x 5 c/ 5 fios)</i>	<i>9.765,00</i>
Controle de formiga	Formicida Fipronil (kg)	480,00
	Isca formicida (Sulfuramida) (kg)	26,00
Controle matocompetição	Herbicida pós-emergente (Glifosate) (litro)	55,00
	Herbicida pós-emergente (Seletivo) (litro)	80,00
	Herbicida pré-emergente (Isoxaflutole) (kg)	810,00
Correção/fertilização de solo	Calcário-dolomítico (t)	258,00
	Fertilizante (KCl) cloreto de potássio	4,50
	Fertilizante supersimples (kg)	3,30
	Fertilizante super triplo (kg)	3,90
	Composto orgânico – 2% de NPK (kg)	0,45
	Fertilizante ureia – kg	4,80
	Fertilizante NPK 04-28-10 (kg)	4,30
	Fertilizante NPK 06-30-06 (kg)	4,30
	Fertilizante NPK 10-28-20 (kg)	5,00
	Fertilizante NPK 20-05-20 + Micro (kg)	3,60
	Fertilizante NPK 10-10-10 (kg)	2,70
Fertilizante NPK 20-00-20 (kg)	3,80	

Operações	Material / insumo	R\$
	Fertilizante NPK 20-00-10 (kg)	2,70
	Fertilizante NPK 20-10-10 (kg)	3,00
Irrigação	Hidrogel – cobertura (kg)	150,00
	Hidrogel – plantio (kg)	65,00
Plantios	Muda eucalipto – unidade	0,90
	Muda saquinho nativas – unidade	4,00
	Muda tubete médio (140 ml) médio nativas	2,50
	Muda tubete grande (280-290 ml) nativas	3,50
	Mudas açaí – unidade	2,25
	Mudas acácia-mangium – unidade	3,00
	Mudas banana – unidade	4,50
	Mudas café – unidade	2,30
	Mudas cítricos – unidade	15,00
	Mudas cupuaçu/cacau – unidade	5,50
	Mudas frutíferas – grande porte	10,00
	Mudas mogno-africano/cedro-australiano – unidade	5,50
	Mudas pupunha – unidade	3,00
	Mudas teca – unidade	4,50
	Sementes (leguminosas – adubação verde) (kg)	30,00
Sementes (arbóreas para semeadura direta) (kg)	130,00	

Demanda por mudas florestais

Visando reconhecer a demanda de mudas para atender à recomposição da vegetação nativa nos 12 milhões de hectares, fez-se a quantificação do total necessário desse insumo considerando os diferentes métodos de restauração propostos. Foi estimada, para cada macrorregião, a quantidade média de mudas por hectare para os métodos de restauração ecológica e para os modelos econômicos de restauração (sistemas de produção madeireira e sistemas agroflorestais). Ao todo foram propostos 38 modelos de sistemas de produção madeireira (SPMs), 17 modelos de sistemas agroflorestais (SAFs) e 6 métodos de restauração ecológica de déficit de vegetação (Ver Apêndice 5).

Para a restauração ecológica, a quantidade de mudas por hectare foi estipulada considerando o espaçamento mais convencional, 3 x 2 m, que requer 1.667 mudas/ha para o método de plantio de mudas em área total, 833 mudas/ha para o de adensamento + enriquecimento e 416 mudas/ha para o de condução + enriquecimento. Os métodos de restauração passiva, condução da regeneração e semeadura direta não fazem uso de mudas, e por essa razão não participam dessa contabilização.

Para os SPMs, a quantidade de mudas por hectare foi calculada a partir dos 38 modelos propostos. Cada modelo de SPM possui a exata quantidade de mudas por hectare, com o valor médio estimado por macrorregião, uma vez que tais modelos foram propostos pensando nas condições ambientais e nas cadeias de produção já estabelecidas em cada uma delas. O mesmo procedimento foi realizado para os 17 modelos de SAF.

Com essa quantidade média foi possível extrapolar a demanda desse insumo para a área proporcional destinada ao uso de cada um desses métodos, considerando as premissas de alocação dos métodos de restauração propostos neste estudo (ver Quadro 4). Com isso, pode-se estimar a quantidade total de mudas florestais para a recomposição dos 12 milhões de hectares da meta iNDC-Brasil.

V. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DA VEGETAÇÃO

Computou-se o custo total de cada método proposto a partir dos valores da mão de obra dos trabalhadores que compõem as equipes operacionais; dos rendimentos operacionais para a execução das atividades em cada etapa do projeto; dos preços para a aquisição dos materiais e insumos utilizados nas operações; e do número de repetições previstas para cada operação nos diferentes métodos.

Variações nesses custos podem ocorrer em função dos seguintes pontos:

- A. Região do projeto – as diferentes regiões do Brasil apresentam variações nos salários e preços de combustíveis, o que impacta no valor da mão de obra e dos maquinários e equipamentos semimanuais.
- B. Insumos – os insumos também sofrem variação de preço; por exemplo, os preços de fertilizantes e corretivos estão atrelados à distância da área do projeto para o

ponto de origem de comercialização dos produtos. Outra variação comum se refere às mudas florestais, sendo menor o preço delas nas regiões onde há maior demanda ou mercado voltado à restauração mais consolidado, com um setor de produção em escala ampla de alta tecnologia, como é o caso da região Sudeste. Contudo, dada a necessidade de se ter uma produção alta e contínua em todo o território nacional, o preço de mudas e sementes foi considerado igual em todas as macrorregiões.

- C. Espaçamento do plantio** – o espaçamento define a densidade do plantio (número de plantas por unidade de área) e, por conseguinte, a quantidade de insumos necessários. Quanto mais adensados os plantios (menor espaçamento), maiores as quantidades necessárias de insumos e de mão de obra nas operações, tanto de implantação como de manutenção. Em contrapartida, plantios mais adensados devem produzir um fechamento de copa em menor tempo, tendendo a demandar menor número de repetições de controle de matocompetição (roçadas e capinas) para o estabelecimento da vegetação no sistema em restauração, o que antecipa o final da etapa de manutenção. Todos esses fatores foram considerados na determinação dos rendimentos das operações por área e do número de repetições das operações estimadas;
- D. Mecanização das operações** – a mecanização, com o uso mais intensivo de tratores na fase de implantação e manutenção da área, aumenta o rendimento operacional das atividades e reduz a quantidade de operações manuais ou semimanuais, diminuindo a necessidade de mão de obra dos auxiliares de campo.
- E. Embalagem das mudas em tubete ou saquinhos** – os gastos com transporte e a logística de plantio de mudas em saquinhos apresentam sempre menor rendimento se comparados com os de mudas em tubetes. As mudas em saquinhos são mais caras que as mudas em tubetes porque estas, normalmente produzidas em escala ampla, com maior tecnificação e menor tempo de produção, têm seu preço unitário final reduzido.
- F. Irrigações do sistema de plantio** – as irrigações são atividades operacionais que asseguram o bom “pegamento” das plantas introduzidas na fase inicial dos projetos. Em todos os métodos e modelos propostos, foram consideradas operações de irrigação no plantio e complementares após a implantação. Contudo, essa operação pode ser dispensada, a depender das condições climáticas locais na época de plantio e nos meses subsequentes.

- G.** Isolamento de fatores de degradação – especialmente o cercamento das áreas é uma benfeitoria que encarece os projetos. Da mesma forma são os aceiros implantados para minimizar os riscos de sinistros com incêndio. Assim, o ideal é que essas medidas não sejam necessárias, para que o projeto fique livre desses custos adicionais. Aqui, é importante ressaltar que o cercamento não deveria ser uma operação fim da atividade de restauração, mas sim da atividade pecuária desenvolvida nas áreas adjacentes aos locais do restauro.
- H.** Terceirização da mão de obra – serviços executados por empresas terceiras especializadas nesse tipo de atividade implicam aumento dos valores dos projetos, que variam conforme o percentual de lucro almejado pela empresa contratada. Na prática, a escala dos projetos tende a impactar esse percentual: quanto maior a área contratada para a execução dos serviços, menor a margem de lucro por área.
- I.** Tipo de regime tributário da empresa executora – a constituição e o enquadramento fiscal das empresas executoras dos serviços também influenciam o preço; neste estudo consideramos três diferentes situações para comparação;
- J.** Modelos econômicos – a recomposição utilizando modelos econômicos requer maior investimento, seja pela quantidade e qualidade dos insumos utilizados, seja pelas constantes operações de manutenção e manejo florestais e agroflorestais necessários ao longo do tempo de vigência do projeto.

VI. QUANTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS GERADOS PELA RESTAURAÇÃO EM AMPLA ESCALA NO PAÍS

- a. Avaliação financeira dos modelos de restauração com viés econômico**

Para estimar a viabilidade financeira dos modelos de sistemas de produção madeireira (SPMs) e dos sistemas agroflorestais (SAFs) usamos na análise alguns indicadores econômicos de simples compreensão.

Partimos da elaboração do fluxo de caixa, inserindo anualmente os custos e as receitas oriundas da venda dos produtos obtidos pelos diferentes modelos propostos e a cada período. A análise foi realizada considerando um horizonte de 30 anos.

Esse intervalo de tempo foi escolhido para que se pudessem comparar todos os modelos, uma vez que nos sistemas de produção madeireira a última receita ocorre na colheita da madeira de espécies nativas de crescimento lento, as quais demandam longo período de maturação, de cerca de 30 anos ou mais. Estas são consideradas madeiras mais nobres, muitas reconhecidas como “madeira de lei”. Aqui, é importante ressaltar que a produção nesses sistemas continua mesmo após esse período, com a colheita futura das árvores introduzidas no sistema, seja por sua indução por meio de novos plantios, seja pela condução da regeneração natural das espécies de interesse.

O valor de venda da madeira (R\$/m³) para os diferentes usos dela são apresentados no Quadro 3. Para o total da receita em cada ciclo, esse valor foi multiplicado pela estimativa de produtividade das diferentes espécies, dado pelo incremento médio anual em volume por indivíduo (IMA em m³/árvore/ano), apresentado nos Quadros 2(a), 2(b) e 2(c), multiplicado pela idade do plantio (anos) e pela quantidade de árvores presentes no modelo de plantio que são colhidas em determinado ciclo de corte, conforme informado no Quadro 3.

Para os produtos oriundos dos modelos de SAFs, a receita foi contabilizada a cada ano pelo somatório dos valores obtidos com a venda dos diferentes produtos colhidos no sistema. A receita anual por planta, presente no Quadro 1, foi estimada em função da produtividade média de cada espécie componente. Essa receita por planta foi multiplicada pela quantidade de indivíduos presentes no modelo.

Nessa análise econômica foram utilizados o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o payback para os modelos propostos, conforme apresentado a seguir.

Valor presente líquido (VPL)

O VPL representa a diferença entre as receitas e os custos atualizados para uma determinada taxa de desconto considerada, que no caso deste estudo foi fixada em 10%. Essa taxa de atratividade é também definida como a taxa mínima de atratividade do projeto, ou seja, o quanto se espera obter de capital financeiro para além do valor da taxa estipulada. Nesta análise, há situações em que se utiliza a taxa de juros como referência.

O valor do VPL positivo indica que o projeto é financeiramente viável, ou seja, que os investimentos monetários realizados devem retornar uma remuneração adicional ao produtor, sendo esta superior à taxa de desconto considerada. De forma oposta, valores de VPL negativo indicam que o projeto é economicamente inviável. O cálculo do VPL é feito conforme abaixo:

$$VPL = \sum_{t=0}^n R_j (1 + i)^{-t} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-t}$$

Onde:

R_j = receitas no período j ;

C_j = custos no período j ;

i = taxa de desconto, no caso, 10% a.a.;

t = período de ocorrência de receita (R_j) e custo (C_j);

n = tempo de análise do projeto em anos, no caso, 30 anos.

Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é um indicador de avaliação e seleção de investimentos. Ele possibilita comparar diferentes opções de negócio com características distintas. A TIR representa a taxa de juros compostos que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, tornando nulo o VPL do fluxo de caixa da atividade econômica. Para ser viável, a TIR deve ser superior à taxa de desconto considerada. Em termos matemáticos esse indicador pode ser expresso por:

$$\sum_{t=0}^n R_j (1 + i)^{-t} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-t} = 0$$

Payback

Payback é um termo utilizado para demonstrar o momento no qual o retorno financeiro com a receita supera os gastos realizados, ou seja, o tempo necessário para que o projeto retorne o valor do investimento realizado até aquele momento e comece a dar lucro efetivamente. Essa análise pode ser feita de forma simples, considerando o valor atual do investimento, ou considerando o VPL com a taxa de desconto (no caso, 10% a.a.).

No presente estudo, a análise econômica geral dos modelos com viés econômico para cada macrorregião foi realizada considerando que estes são utilizados na mesma proporção para a recomposição dos déficits de Reserva Legal e de APP que os

receberam. Assim, os resultados apresentados representam a média dos valores obtidos para os modelos considerados na análise de cada macrorregião, que incluem: o VPL; a TIR; os custos e receitas (com e sem a taxa de desconto do VPL) ao longo dos 30 anos; e o saldo médio anual para os modelos, que nada mais é que a diferença entre a receita e o custo total do projeto ao longo de sua vigência, dividido por esse período.

b. Potencial de estoque de carbono nos sistemas de restauração

Foram feitas estimativas do estoque de carbono promovido pelos diferentes modelos de restauração, tanto para os de restauração ecológicos (restauração passiva, condução da regeneração, condução + enriquecimento, enriquecimento + adensamento, plantio de mudas e semeadura direta) como para os de restauração econômica (modelos madeireiros e sistemas agroflorestais). Essas estimativas foram realizadas por hectare e, posteriormente, extrapoladas para a área total de 12 milhões de hectares considerando a distribuição de aplicação dos diferentes métodos de restauração propostos (ver Tabelas 8 e 9 deste documento).

Para a restauração ecológica, a premissa adotada foi que todos os métodos possuem o mesmo potencial de estoque de carbono, assumindo que, independentemente das intervenções realizadas, eles seguem a mesma trajetória de incremento de carbono no decorrer do tempo.

O mapa de carbono acima do solo para a vegetação no Brasil, proposto por Englund et al. (2017), foi utilizado como referência para a estimativa dos valores potenciais médios de carbono em florestas para cada bioma do Brasil, através do cruzamento desta base de dados geográficos com a base das fisionomias dos biomas brasileiros (IBGE, 2019).

O primeiro dado gerado a partir desse cruzamento foi o potencial médio de carbono na biomassa acima do solo das fisionomias florestais de cada bioma. Posteriormente foi estimado o carbono da biomassa abaixo do solo, por meio da relação raiz/parte aérea, considerando que esta última é de 24% (IPCC, 2003; GOF-C-GOLD, 2016). A somatória do carbono acima e abaixo do solo resultou no carbono total na biomassa das árvores das florestas por hectare, que, por sua vez, foi transformado em CO₂ por meio da multiplicação da razão entre o peso molecular do CO₂ e o do carbono ($44/12 = 3,667$).

Para os modelos econômicos madeireiros, adotou-se a premissa de que nenhuma emissão de carbono foi gerada a partir das colheitas realizadas no decorrer dos projetos. As estimativas de estoque potencial de carbono foram realizadas a partir das volumetrias de madeira modeladas para cada um dos 38 modelos madeireiros propostos. Para isso, a primeira etapa consistiu no cálculo da biomassa acima do solo a partir do volume de madeira produzido e da densidade básica da madeira de cada espécie arbórea utilizada nos modelos. Para o teor de carbono na biomassa fixou-se o

valor de 47% (IPCC, 2003). A partir do carbono da biomassa acima do solo realizaram-se as devidas transformações para estimar o carbono nas raízes e seu equivalente em CO₂, considerando os mesmos procedimentos informados anteriormente. Para cada macrorregião calculou-se uma média de remoção de CO₂ pelos modelos sugeridos (Tabela 22).

Devido à maior complexidade para fazer a previsão (estimativa ex ante) do potencial de estoque de carbono dos diferentes modelos de SAFs, dada a variação na composição das espécies e do manejo agroecológico de cada sistema, considerou-se um valor médio do estoque potencial para os sistemas agroflorestais em cada bioma, variando de 120 tCO₂/ha para Caatinga, 150 tCO₂/ha para Cerrado e Pampa, 150 tCO₂/ha para Mata Atlântica e 240 tCO₂/ha para Amazônia. Estes valores médios foram adotados pelas dificuldades de se ter estimativas precisas para os diferentes modelos, já que estes recebem manejo diferenciado de condução de manejo, especialmente podas e desbastes.

Por meio da multiplicação dos valores de CO₂ totais (tCO₂/ha) de cada modelo por suas respectivas áreas (ha), nos diferentes biomas (modelos ecológicos) e macrorregiões (modelos madeireiros e SAFs), foram estimados o estoque total de CO₂eq¹³ para todos os 12 milhões de hectares, considerando o período de 30 anos.

c. Produção dos sistemas de restauração com viés econômico

Produção de madeira

Fez-se a estimativa de produção de madeira com a implantação de modelos de produção nas áreas com déficits de vegetação das Reservas Legais das médias e grandes propriedades rurais, onde o potencial de regeneração natural é baixo. A volumetria de produção foi calculada conforme a projeção de volume estimada em cada modelo para cada espécie nos diferentes ciclos de corte. Considerou-se que os diferentes modelos propostos para cada região serão implantados em percentuais iguais. A partir dessa estimativa, as médias de volume em hectares (m³/ha) dos modelos madeireiros dentro de cada macrorregião foram extrapoladas pelas respectivas áreas destinadas à recomposição por esses métodos de restauração. Os valores da volumetria correspondem à madeira em pé, ou seja, sem a contabilização das eventuais perdas de volume ocorridas durante o processo de colheita e seu processamento.

¹³ CO₂e – carbono equivalente: medida que equivale a 1 tonelada de gases do efeito estufa removida da atmosfera.

Produção de alimentos

A produção potencial de alimentos foi calculada conforme a projeção da produção estimada em cada modelo de SAF proposto. A partir desses dados, obteve-se a média de produção (toneladas) dos modelos SAF dentro de cada macrorregião, considerando que cada um deles seja implantado na mesma proporção de áreas disponíveis, no caso, os déficits de vegetação nativa das áreas de preservação permanentes (APPs) dos pequenos imóveis rurais com baixo e médio potencial de regeneração natural. Os valores médios de produção de alimento (t/ha) de cada macrorregião foram então extrapolados para a área total de déficit em Reserva Legal nessas condições, para que se pudesse totalizar a produção ao longo dos 30 anos de avaliação desses sistemas. Para fazer uma estimativa média da produção potencial anual (t/ano) dos diferentes produtos alimentícios, a produção total foi dividida pelo período do ciclo produtivo de cada espécie dentro dos modelos propostos.

6.

Resultados do estudo

I. STATUS QUO DA RECUPERAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA NO BRASIL

O reconhecimento do status quo da recuperação da vegetação nativa, no que se refere à quantificação das áreas restauradas, é influenciado pela divulgação/publicidade das ações realizadas e pela integração/sincronização dos dados espaciais de localização geográfica das áreas divulgados por seus executores.

Nesse aspecto, pode-se dizer que a recuperação da vegetação nativa no Brasil vem sendo feita, basicamente, de duas formas: em iniciativas isoladas ou institucionais. A forma isolada remete aos proprietários ou possuidores rurais, pessoas físicas ou jurídicas, que se regularizam por meio da recuperação das APPs e RLs, sem nenhum vínculo com iniciativas de programas governamentais ou do terceiro setor. Geralmente ela se dá em pequena escala e de forma descontinuada. A segunda forma são iniciativas governamentais ou do terceiro setor, projetos ou programas que promovem ações articuladas voltadas à restauração ecológica, com objetivos específicos, envolvimento de diferentes atores e formas de arranjos institucionais. Essas iniciativas tendem a atuar em maior escala e de forma mais organizada, a fim de viabilizar a recuperação da vegetação nativa de forma continuada.

Quando a recuperação é feita de forma isolada, os dados geográficos tendem a não ser divulgados, integrados ou sincronizados em bases de dados espaciais oficiais, ficando sua publicidade restrita, e essas ações acabam não sendo contabilizadas. Por outro lado, quando a área recuperada tem amparo institucional, os dados geográficos são comumente coletados e divulgados por questões de compliance ou para marketing de atingimento de metas, e eles passam a ser de conhecimento público, tendo assim maiores chances de que as iniciativas sejam contabilizadas.

A sistematização e a integração de dados referentes à recuperação da vegetação nativa são um dos principais objetivos do monitoramento do Programa de Regularização Ambiental (PRA), que deverá ser realizado pelo Serviço Florestal Brasileiro, por meio do Módulo de Regularização Ambiental do SiCAR (MRA-SiCAR, substituto do PRA-SiCAR), para acompanhar o cumprimento das obrigações de recomposição da vegetação nos imóveis rurais de todo o país. Esse módulo também permitirá a inserção de propostas de recomposição de áreas antropizadas não consolidadas (desmatadas após 22 de julho de 2008) e de registros no Cadastro Ambiental Rural (CAR) que não aderirem ao PRA, ampliando sua abrangência no monitoramento da recuperação.

Por ora, algumas iniciativas têm buscado meios de reunir informações sobre ações de recuperação da vegetação no país. Um exemplo é a plataforma do Observatório da Restauração e Reflorestamento¹⁴, desenvolvida pela Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura, que contabiliza as áreas recuperadas ou em processo de recuperação. Os dados disponibilizados mostram que há no Brasil cerca de 79 mil hectares restaurados ou em processo de restauração, 11 milhões de hectares de áreas de vegetação secundária regeneradas naturalmente, além de mais 9,35 milhões de hectares de reflorestamentos. Essa plataforma agrega dados de diferentes fontes: para restauração, são compiladas bases geográficas oriundas de instituições governamentais, do terceiro setor e de empresas; para vegetação secundária em processo de regeneração natural, os dados são obtidos do Mapbiomas e da Plataforma FloreSer, do Imazon; já os dados de restauração florestal são cedidos por diferentes instituições parceiras, como o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica¹⁵, que abrange 17 estados do bioma, e o Sistema de Apoio à Restauração Ecológica (Sare)¹⁶, do estado de São Paulo.

A área referente aos reflorestamentos apresentada na plataforma é um pouco inferior à área considerada no relatório anual elaborado pela Indústria Brasileira da Árvore (IBÁ, 2022), o qual aponta uma ocupação de 9,9 milhões de hectares por reflorestamentos no país em 2021, dos quais 75,8% são plantios de eucaliptos; 19,4% de pinus, predominantemente no Sul do país; e nos 4,8% restantes há também alguma participação de plantios da teca, da seringueira e da acácia.

Entre as madeiras tropicais, outras duas espécies exóticas têm se destacado em termos de área de produção: o mogno-africano e o cedro-australiano, com potencial de expansão nos próximos anos. Contudo, a silvicultura tropical com reflorestamentos de madeiras brasileiras é ainda tímida – cenário que tem tudo para se alterar com o desenvolvimento de pesquisas e investimentos no setor, conforme proposto pelo Programa de Pesquisa & Desenvolvimento em Silvicultura de Espécies Nativas, detalhado em Rolim (2020). Esses plantios florestais com espécies nativas para a produção madeireira, adequados às premissas da Lei nº 12.651/2012, podem ser uma alternativa para a recomposição de áreas de Reserva Legal.

Outra atividade que escapa do radar dos grandes números estatísticos desses levantamentos são as iniciativas existentes com sistemas agroflorestais. São inúmeras experiências pulverizadas por todo o país, normalmente realizadas em pequena escala por produtores da agricultura familiar, como também são inúmeros os modelos de SAFs praticados, com diferentes graus de complexidade e com especificidades conforme a aptidão dos agricultores e a vocação de produção da região onde se encontram. Estes sistemas representam uma alternativa ao modelo hegemônico de produção postulado até então pelo agronegócio brasileiro. Alicerçado nas bases agroecológicas de

¹⁴ Disponível em: <https://observatoriodarestauracao.org.br>. Acesso em: 24 ago. 2023.

¹⁵ Disponível em: <https://pactomataatlantica.org.br>. Acesso em: 24 ago. 2023.

¹⁶ A base de dados do Sare está disponível no [DataGEO](#) – Sistema Ambiental Paulista.



produção na terra, são uns dos principais elos efetivos de relação com as chamadas propostas de soluções baseadas na natureza ou agricultura regenerativa e devem ser a tônica da sustentabilidade da agricultura no futuro.

II. ESTIMATIVA DE DÉFICIT DE VEGETAÇÃO NATIVA NOS IMÓVEIS RURAIS DO PAÍS

Vários estudos vêm sendo realizados para quantificar o déficit de vegetação nativa dos imóveis rurais, tendo como base o exigido pela Lei nº 12.651/2012, com o propósito de auxiliar o desenvolvimento de políticas públicas que possam dar suporte ao processo de regularização ambiental. Alguns deles possuem a escala de espacialização em âmbito nacional (GUIDOTTI et al., 2017; SOARES-FILHO et al., 2014; SPAROVEK et al., 2010; SPAROVEK et al., 2012; CSR/UFMG E LAGESA/UFMG, 2022), havendo outros com enfoque mais restrito, que consideram biomas específicos (GUIDOTTI et al., 2021; RAJÃO et al., 2020). Esses estudos permitem uma compreensão mais completa dos padrões espaciais dos atributos avaliados e, por conseguinte, a proposição de soluções mais adaptadas à realidade local das diferentes regiões ou biomas do país.

Tais estudos apresentaram uma aproximação dos valores globais de déficit de vegetação para o país, mas com diferenças com relação ao déficit total em APP e em Reserva Legal. Segundo Guidotti et al. (2017), o déficit atual de vegetação nativa é de aproximadamente 18,7 milhões de hectares, sendo 8 milhões em APP e 10,7 milhões em Reserva Legal. Como comparação, no estudo realizado por CSR/UFMG & LAGESA/UFMG (2022), o déficit de vegetação nativa total foi estimado em 19,3 milhões de hectares, porém aponta 3 milhões para as APPs e 16,3 milhões para as áreas de Reserva Legal.

Essas diferenças por tipo de área de proteção legal são expressivas e ocorrem devido às diferentes bases de dados espaciais utilizadas e às premissas da Lei nº 12.651/2012 aplicadas. No caso, com relação aos dados, o estudo realizado por CSR/UFMG & LAGESA/UFMG (2022) utiliza apenas os imóveis rurais privados da base de dados do CAR do ano de 2022, não incluindo na análise, por exemplo, os assentamentos rurais e as áreas quilombolas. Também a malha fundiária disponibilizada pelo CAR 2022 não teve o tratamento para eliminar as sobreposições dos cadastros, que tem se demonstrado bastante amplas. Já o estudo de Guidotti et al. (2017) considera uma malha fundiária disponível no CAR no ano de 2017, sem as sobreposições de cadastros e incluindo na análise os assentamentos rurais e as áreas quilombolas como imóveis pequenos, independentemente do tamanho do módulo fiscal.

Com relação à aplicação dos dispositivos da Lei nº 12.651/2012, as principais diferenças na abordagem das análises realizadas por esses autores são devidas ao fato de o estudo de CSR/UFMG & LAGESA/UFMG (2022) ter inserido: i) o abatimento de até 50% da RL para município com mais de 50% da área ocupada por Unidade de Conservação de domínio público e por Terras Indígenas homologadas (§ 4º do inciso II); ii) a recomposição em APP limitada a 10% da área total do imóvel para imóveis de até dois módulos fiscais, e a 20% para imóveis de dois a quatro módulos (art. 61-B); iii) a dispensa para imóveis rurais que realizaram supressão de vegetação nativa respeitando os percentuais de Reserva Legal previstos pela legislação em vigor à época de promover sua recomposição, compensação ou regeneração (art. 68).

Nesse aspecto, Lopes et al. (2022) comentam que, mesmo após o julgamento das ações de (in)constitucionalidade de dispositivos da Lei nº 12.651/2012 pelo Supremo Tribunal Federal (STF), em 2018, com a publicação do acórdão das decisões em 12 de agosto de 2019, há ainda muitas controvérsias jurídicas a serem elucidadas na aplicação da lei. Tal fato dificulta a interpretação legal e a sua aplicação nas análises espaciais para o reconhecimento dos déficits gerais de vegetação nativa nas áreas rurais do território nacional.

Por exemplo, um recente parecer da Advocacia Geral da União (AGU), aprovado em junho de 2023¹⁷, trata sobre a aplicação de dispositivos de duas das leis federais de mesma hierarquia jurídica – a Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) e a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012). Nele, foi dada orientação no sentido de se ter um regime mais protetivo à Mata Atlântica, devendo prevalecer os dispositivos presentes na lei específica para o bioma (a primeira lei), não a regra geral da segunda. Isso implica em interpretações e aplicações diferenciadas sobre áreas rurais consolidadas em áreas de proteção definidas pela Lei nº 12.651/2012, alterando a forma de se analisar déficits de vegetação em APP de imóveis dentro do domínio desse bioma.

Apesar das dificuldades, os estudos com a finalidade de apontar os déficits de vegetação são fundamentais e demonstram a magnitude dos desafios a serem superados para a regularização ambiental dos imóveis rurais nas diferentes regiões do país.

¹⁷ Disponível em: <https://www.gov.br/agu/pt-br/comunicacao/noticias/agu-altera-entendimento-para-reforçar-proteção-da-mata-atlantica>. Acesso em: 10 jul. 2023.

a. Distribuição dos déficits de vegetação nativa por biomas, estados e regiões

Considerando os dados do estudo realizado por Guidotti et al. (2017), observa-se que os déficits de vegetação nativa estão distribuídos de forma heterogênea dentro dos biomas, estados e regiões do Brasil (Apêndice 2). A Tabela 2 apresenta as somas e as percentagens das áreas de déficit de vegetação nativa de cada bioma. O bioma que apresenta o maior déficit de vegetação nativa é a Mata Atlântica, com 6,78 milhões de hectares, correspondendo a 36,3% do total de déficit do Brasil. O maior déficit da Mata Atlântica, por sua vez, encontra-se dentro das APPs, com cerca de 4,05 milhões de hectares, o que corresponde a 60% do seu déficit total.

O Cerrado é o bioma que apresenta o maior déficit dentro de Reserva Legal, com 4,21 milhões de hectares (ou 69%) do déficit total de 6,05 milhões estimado para o bioma. O Pampa e o Pantanal são os biomas com a menor participação nos déficits totais de vegetação do país, com apenas 4,0% e 0,3%, respectivamente.

Tabela 2. Quadro de áreas (em milhões de hectares – Mi ha) de déficit de vegetação nativa em APPs e RLs para cada bioma

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al., 2017.

Bioma	Déficit em APPs	Déficit em RLs	Déficit total	Déficit total
	(Mi ha)	(Mi ha)	(Mi ha)	(%)
Amazônia	0,97	3,09	4,06	21,7
Caatinga	0,74	0,24	0,98	5,2
Cerrado	1,84	4,21	6,05	32,4
Mata Atlântica	4,05	2,74	6,78	36,3
Pampa	0,30	0,45	0,75	4,0
Pantanal	0,03	0,03	0,06	0,3
Total	7,93	10,75	18,69	100,0

Com relação aos déficits dentro dos estados, a Tabela 3 mostra que os três maiores déficits estão em Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo. Juntos, eles detêm 36,9% do déficit do Brasil, o equivalente a 6,9 milhões de hectares. Se forem adicionados os estados da Bahia e do Paraná, o quarto e quinto com mais déficits, esses cinco estados ultrapassam os 50% de participação do déficit total, com área equivalente a 10,2 milhões de hectares.

Tabela 3. Áreas (ha) de déficits de vegetação nativa em APPs e RLs dentro dos estados

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al., 2017.

Estados	Déficit em APPs (ha)	Déficit em RLs (ha)	Déficit total (ha)	Déficit total (%)
Acre	27.668	40.814	68.482	0,37
Alagoas	56.241	74.429	130.670	0,70
Amapá	983	51	1.034	0,01
Amazonas	20.292	15.253	35.545	0,19
Bahia	775.778	887.826	1.663.603	8,90
Ceará	135.079	12.661	147.740	0,79
Distrito Federal	4.073	3.035	7.108	0,04
Espírito Santo	218.093	77.154	295.247	1,58
Goiás	435.425	1.110.843	1.546.268	8,28
Maranhão	131.373	531.649	663.022	3,55
Mato Grosso	480.733	2.370.452	2.851.185	15,26
Mato Grosso do Sul	185.530	744.412	929.942	4,98
Minas Gerais	1.523.513	834.221	2.357.735	12,62
Pará	426.207	898.852	1.325.059	7,09
Paraíba	66.310	42.648	108.959	0,58
Paraná	1.249.178	425.374	1.674.551	8,96
Pernambuco	102.608	68.577	171.185	0,92
Piauí	84.249	56.923	141.171	0,76
Rio de Janeiro	111.887	75.485	187.372	1,00
Rio Grande do Norte	93.758	32.457	126.215	0,68
Rio Grande do Sul	510.101	655.169	1.165.270	6,24
Rondônia	71.652	354.748	426.400	2,28
Roraima	8.634	2.371	11.005	0,06
Santa Catarina	169.516	87.985	257.501	1,38
São Paulo	797.815	892.768	1.690.583	9,05
Sergipe	63.409	37.731	101.140	0,54
Tocantins	183.302	418.514	601.816	3,22
Total	7.933.408	10.752.400	18.685.808	100

b. Distribuição dos déficits de vegetação em função da estrutura fundiária

A Tabela 4 apresenta a distribuição dos déficits de vegetação em função do tamanho dos imóveis rurais, definido pelo número de Módulos Fiscais (pequeno: até 4 Módulos Fiscais; médio: entre 4 e 15 Módulos Fiscais; e grande: maior que 15 Módulos Fiscais).

Tabela 4. Relação da área com déficit de vegetação nativa em APPs e RLs dos imóveis rurais em todas as regiões do país, divididos conforme sua classificação (pequeno, médio e grande)

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al., 2017.

Tamanho do imóvel rural	Região	Nº de imóveis	Déficit em RLs (ha)	Déficit em APPs (ha)	Nº de imóveis com déficit	Área total dos imóveis com déficit (ha)
Pequeno (até 4 MF)	Centro-Oeste	282.818	-	47.710	50.034	2.750.320
	Nordeste	1.593.786	-	195.256	272.741	8.614.663
	Norte	345.082	-	46.801	39.534	2.899.596
	Sudeste	1.622.754	-	497.028	643.009	15.270.413
	Sul	1.726.976	-	379.782	608.285	9.646.077
	Total	5.571.416	-	1.166.577	1.613.603	39.181.068
Médio (entre 4 e 15 MF)	Centro-Oeste	51.999	1.496.684	201.499	35.624	15.838.769
	Nordeste	80.854	801.638	370.182	44.185	15.860.818
	Norte	29.491	711.189	137.765	13.349	8.516.950
	Sudeste	111.642	898.735	833.452	97.626	19.187.444
	Sul	70.440	544.468	493.474	56.769	8.316.206
	Total	344.426	4.452.714	2.036.373	247.553	67.720.187
Grande (maior que 15 MF)	Centro-Oeste	35.195	2.732.057	856.553	30.869	82.741.672
	Nordeste	28.528	943.263	943.366	23.119	59.239.663
	Norte	13.166	1.019.415	554.172	9.892	59.892.248
	Sudeste	30.148	980.892	1.320.830	29.650	32.008.516
	Sul	23.041	624.060	1.055.538	21.159	17.984.616
	Total	130.078	6.299.687	4.730.458	114.689	251.866.715
Total Pequeno, médio e grande		6.045.920	10.752.401	7.933.408	1.975.845	358.767.970

Quando os dados de déficit de vegetação nativa são distribuídos de acordo com essas classes de tamanho de imóveis rurais, percebe-se que há um padrão, independente da região onde se encontra.

Embora o número de pequenos imóveis (n=1.613.603) com déficit de vegetação nas áreas de proteção seja maior que os demais imóveis médios (n=247.553) e grandes (n=114.689), a porcentagem de imóveis com déficit, o déficit médio por imóvel (ha) e a participação no déficit total (%) dos pequenos imóveis são menores que as demais classes de imóveis rurais (Tabela 5).

Tabela 5. Distribuição do déficit de vegetação para as diferentes classes de imóveis no país, calculada a partir dos valores da Tabela 4

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al., 2017.

Tamanho do imóvel	Porcentagem de imóvel com déficit (%)	Déficit médio por imóvel (ha)	Participação no déficit total (%)
Pequeno	29	0,7	6
Médio	72	26,2	35
Grande	88	96,2	59
	-	-	100

O padrão observado foi que, em todas as regiões do país, o grande imóvel rural foi o que apresentou a maior porcentagem de imóveis com déficit de vegetação (88%), a maior média de déficit por imóvel (96,2 ha por imóvel) e a maior participação do déficit total de vegetação nativa (59% do total).

III. POTENCIAL DE REGENERAÇÃO NATURAL NOS BIOMAS E MACRORREGIÕES DO BRASIL

O cruzamento dos dados dos mapas de potencial de regeneração natural do MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a) com os demais recortes geográficos (áreas antropizadas, região e bioma) resultou nas proporções do potencial de regeneração natural nos biomas e nas macrorregiões do Brasil, apresentadas nas Tabelas 6 e 7. Estas são referentes às percentagens de áreas antropizadas dentro de cada classe de potencial de regeneração, conforme análise descrita na Subseção “Análises espaciais”.

Na média de todas as regiões, as áreas antropizadas em situação de baixo potencial de regeneração compõem 62% das áreas que deverão receber intervenções de restauração, sendo as áreas de médio potencial representadas por 26%, e as de alto potencial por apenas 12% das áreas. Na região Norte, os valores da classe de alto potencial mostraram-se superiores aos das demais regiões, devido às altas taxas dessa classe no bioma amazônico (Tabela 6).

Com relação aos biomas, a Mata Atlântica apresentou apenas 9% de alto potencial de regeneração, contrapondo com 61% das áreas antrópicas, nas quais o potencial de regeneração natural é baixo (Tabela 7), sendo o bioma que mais demandará intervenções intensivas de restauração para a recomposição da vegetação. O Cerrado, que não inclui alto potencial na classificação realizada pelos especialistas do bioma, também apresenta uma situação desfavorável, com 92% das áreas com baixo potencial de regeneração natural. Os biomas Pantanal e Amazônia são os que apresentam mais áreas com alto potencial de regeneração, respectivamente, 52% e 47% – porém, no Pantanal, que teve a análise do potencial de regeneração natural distribuída em apenas duas classes (baixo e alto), os 42% restantes das áreas estão em localidades consideradas de baixo potencial. O Pampa e a Caatinga apresentam uma certa equidade nos percentuais das classes de potencial de regeneração natural, sem que nenhuma delas se destacasse das demais.

Tabela 6. Quadro com as percentagens de áreas antrópicas nas três classes de potencial de regeneração natural (baixo, médio e alto), distribuídas por bioma para as macrorregiões do Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a).

Macrorregião	Bioma	Proporções de potencial de regeneração natural (%)		
		Baixo	Médio	Alto
Centro-Oeste	Amazônia	38,7	30,9	30,3
	Cerrado	93,1	6,9	--
	Mata Atlântica	96,3	0,2	3,5
	Pantanal	48,4	--	51,6
Nordeste	Amazônia	74,9	1,0	24,1
	Caatinga	41,5	28,2	30,3
	Cerrado	72,4	27,6	--
	Mata Atlântica	68,0	26,4	5,5
Norte	Amazônia	33,2	7,9	58,9
	Cerrado	90,7	9,3	--

Sudeste	Caatinga	40,7	42,9	16,4
	Cerrado	94,9	5,1	--
	Mata Atlântica	46,4	42,8	10,8
Sul	Cerrado	86,8	13,2	--
	Mata Atlântica	75,2	16,8	8,0
	Pampa	33,0	40,2	26,8
Brasil	Todos os biomas	62	26	12

Tabela 7. Percentagens do potencial de regeneração natural das áreas antrópicas dos biomas brasileiros

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a).

Bioma	Baixo	Médio	Alto
Amazônia	38	14	47
Caatinga	42	28	30
Cerrado	92	8	--
Mata Atlântica	61	30	9
Pampa	33	40	27
Pantanal	48	--	52
	62	26	12

Para definir as áreas de déficit de vegetação pertencente a cada classe de potencial de regeneração natural, foi realizado o cruzamento dos dados presentes na Tabela 4 e na Tabela 6, com os mesmos recortes geográficos (região e bioma) disponibilizado por Guidotti et al. (2017). A partir da multiplicação das proporções dos potenciais pelas áreas de déficits foi possível elaborar a Tabela 8. Estes valores dos potenciais de regeneração natural foram divididos em função do tamanho dos imóveis rurais (pequenos, médios e grandes) para possibilitar maior detalhamento na alocação dos métodos de restauração ecológica e dos modelos econômicos de restauração (Apêndices 3, 4 e 5).

Dos 18,7 milhões de hectares de déficit de vegetação nativa apontados por Guidotti et al. (2017), cerca de 12 milhões (64,5%) estão em áreas com baixo potencial de regeneração, 3,7 milhões de hectares (19,9%) em médio potencial e 2,9 milhões (15,6%) em alto potencial (Tabela 8).

Um aspecto importante a ser observado com relação aos percentuais do potencial de regeneração, advindos das análises realizadas por especialistas nos biomas e

compilados no estudo do MMA & WRI-Brasil (2017), é que eles podem orientar de modo mais assertivo quanto aos métodos de restauração mais adequados e prováveis de serem utilizados.

Assim, de forma simplificada, esses números apontam para uma situação na qual o aproveitamento da regeneração natural como ferramenta para contribuir com a restauração ecológica, no presente momento, é incipiente para cerca de dois terços das áreas com déficit de vegetação nativa no país, indicando uma maior demanda por intervenções de restauração mais intensivas para o alcance de atributos da vegetação que atestem a restauração da vegetação em curto prazo.

Tabela 8. Distribuição dos déficits de vegetação nativa em APPs e RLs. em suas respectivas classes de potencial de regeneração natural

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al. (2017) e MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a).

Região	Bioma	Déficit em APPs (ha)	Déficit em RLs (ha)	Déficit total (ha)	Potencial de regeneração das áreas com déficit em APPs (ha)			Potencial de regeneração das áreas com déficit em RLs (ha)		
					Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Centro-Oeste	Amazônia	304.032	1.321.372	1.625.404	117.737	94.035	92.259	511.706	408.692	400.974
	Cerrado	718.234	2.609.470	3.327.704	669.017	49.217	0	2.430.658	178.812	0
	Mata Atlântica	56.343	265.042	321.385	54.259	107	1.976	255.240	504	9.298
	Pantanal	27.153	32.857	60.010	13.147	0	14.006	15.908	0	16.949
Nordeste	Amazônia	50.189	279.579	329.768	37.610	495	12.084	209.508	2.757	67.314
	Caatinga	735.378	219.911	955.290	305.308	207.268	222.803	91.301	61.983	66.628
	Cerrado	172.094	453.102	625.197	124.582	47.512	0	328.009	125.093	0
	Mata Atlântica	551.143	792.307	1.343.450	374.916	145.690	30.538	538.968	209.439	43.900
Norte	Amazônia	615.010	1.488.165	2.103.175	204.117	48.630	362.263	493.911	117.671	876.583
	Cerrado	123.728	242.438	366.166	112.204	11.524	0	219.858	22.580	0
Sudeste	Caatinga	9.383	16.005	25.388	3.820	4.022	1.541	6.515	6.861	2.628
	Cerrado	814.872	899.647	1.714.520	773.181	41.691	0	853.619	46.029	0
	Mata Atlântica	1.827.054	963.975	2.791.029	848.450	782.153	196.450	447.652	412.673	103.650
Sul	Cerrado	14.303	3.625	17.928	12.409	1.893	0	3.145	480	0

	Mata Atlântica	1.612.750	715.361	2.328.111	1.212.505	270.658	129.587	537.826	120.054	57.480
	Pampa	301.742	449.542	751.284	99.668	121.294	80.779	148.488	180.707	120.347
Total		7.933.408	10.752.400	18.685.808	4.962.931	1.826.190	1.144.287	7.092.312	1.894.337	1.765.751



No Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg), do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2017b; p. 30, tabela 2) são apresentados cenários com uma distribuição hipotética dos sistemas (métodos) de restauração. Nestes tem-se uma variação de 20% a 50% da aplicação do método de plantio de mudas em área total, balanceada com a variação de 50% a 20% para a aplicação do método de regeneração natural (restauração passiva com ou sem cercamento, sem nenhuma intervenção de condução da regeneração), já que para os métodos de enriquecimento e adensamento todos os cenários do Planaveg fixam o percentual em 30%. Assim, o cenário menos favorável do Planaveg, em termos de custos seria o Cenário 1, o qual demandaria da maior aplicação do método de plantio em área total (50%) e menor utilização do método de regeneração natural (20%).

Na abordagem utilizada no presente estudo, propõe-se que áreas com baixo potencial de regeneração, representadas por 62% das áreas antropizadas, sejam destinadas à restauração ativa com métodos intensivos de plantio em área total, utilizando modelos de restauração ecológica ou restauração com viés econômico, que são mais onerosos. Para as áreas com médio potencial de regeneração, representadas por 26% das áreas antropizadas, foram atribuídos os métodos de condução com adensamentos e enriquecimentos. Os 12% restantes de áreas antropizadas possuem alto potencial de regeneração natural, sendo a situação na qual as técnicas de favorecimento da regeneração natural podem ser aplicadas com maiores chances de sucesso. Isso tem implicação direta nas estimativas de recursos totais necessários para a recomposição em ampla escala no país, visando alcançar a meta de 12 milhões de hectares da iNDC-Brasil, seja com relação aos altos investimentos monetários necessários, seja pela demanda de empregar mão de obra empenhada.

IV. ESTRATÉGIA DE RESTAURAÇÃO PARA O ALCANCE DA META INDC-BRASIL

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as áreas de alocação dos métodos de restauração (apresentados no Quadro 4) para o alcance da meta de 12 milhões de hectares da iNDC brasileira. As áreas de déficit de vegetação nativa para as pequenas, médias e grandes propriedades foram extraídas das quantificações mostradas nos Apêndices 3, 4 e 5.

Do déficit total em APPs (7,9 milhões hectares), cerca de 1,0 milhão de hectares foi destinado ao uso de modelos econômicos (SAF) em pequenas propriedades onde o potencial de regeneração é baixo ou médio, estando 70% deste déficit associado ao

domínio da Mata Atlântica. Os métodos de restauração menos intensivos (restauração passiva; condução da regeneração natural; condução + enriquecimento; adensamento + enriquecimento) foram alocados em 2,7 milhões de hectares de APPs de todas as classes fundiárias que apresentam médio potencial de regeneração natural. Para as APPs das médias e grandes propriedades que apresentam baixo potencial de regeneração natural – que, juntas, somam 4,2 milhões de hectares –, foram atribuídos os métodos mais intensivos de restauração ecológica, ou seja, o plantio de mudas e a semeadura direta em área total (Tabela 9).

Com relação às áreas de Reserva Legal das médias e grandes propriedades, cerca de 2,7 milhões de hectares apresentam-se como áreas de baixo potencial de regeneração e foram destinados ao uso de sistemas de produção madeireira (SPM), o correspondente a 66% do total de áreas a serem recompostas em RL. Essa área concentra-se principalmente nos biomas Cerrado (54%) e Mata Atlântica (25%). Os demais 34% de áreas de Reserva Legal, com médio e alto potencial de regeneração, foram destinados para serem alvo da restauração ecológica por meio dos métodos de restauração menos intensivos (Tabela 10).

No que se refere aos sistemas de restauração com viés econômico, juntando os sistemas agroflorestais alocados nas pequenas propriedades com os sistemas de produção madeireira propostos para as médias e grandes propriedades, tem-se um total de 3,7 milhões de hectares, ou 30,9% do total da meta iNDC-Brasil, que foram destinados às atividades produtivas.

Tabela 9. Alocação dos diferentes métodos de restauração para a recomposição das áreas com déficit de vegetação nativa em APPs para o cumprimento da meta iNDC-Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al. (2017) e MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a).

Região	Bioma	Pequeno imóvel rural		Médio e grande imóvel rural		
		Sistemas agroflorestais (SAFs)	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento	1/2 plantio de mudas 1/2 sementeira direta	Adensamento + enriquecimento	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento
		(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Centro-Oeste	Amazônia	12.640	5.506	110.710	88.423	86.753
	Cerrado	26.661	0	644.184	47.390	0
	Mata Atlântica	1.539	56	52.723	104	1.921
	Pantanal	633	675	12.514	0	13.332
Nordeste	Amazônia	3.630	1.151	34.027	448	10.933
	Caatinga	78.245	34.011	258.702	175.629	188.791
	Cerrado	18.954	0	110.861	42.279	0
	Mata Atlântica	55.980	3.284	334.601	130.024	27.254
Norte	Amazônia	14.739	21.126	192.213	45.794	341.137
	Cerrado	10.935	0	102.288	10.505	0
Sudeste	Caatinga	1.324	260	3.175	3.343	1.281

	Cerrado	114.632	0	664.414	35.826	0
	Mata Atlântica	339.866	40.946	671.608	619.129	155.504
Sul	Cerrado	1.034	0	11.512	1.756	0
	Mata Atlântica	323.258	28.244	948.238	211.667	101.343
	Pampa	19.953	7.294	90.668	110.342	73.485

Tabela 10. Alocação dos diferentes métodos de restauração para a recomposição das áreas com déficit de vegetação nativa em RLs para o cumprimento da meta iNDC-Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Guidotti et al. (2017) e MMA & WRI-Brasil (BRASIL, 2017a).

Região	Bioma	Médio e grande imóvel rural		
		Sistemas de produção madeireira (SPM)	Adensamento + enriquecimento	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento
		(ha)	(ha)	(ha)
Centro-Oeste	Amazônia	193.529	154.569	151.650
	Cerrado	919.283	67.627	-
	Mata Atlântica	96.533	191	3.516
	Pantanal	6.017	-	6.410

Nordeste	Amazônia	79.237	1.043	25.458
	Caatinga	34.530	23.442	25.199
	Cerrado	124.054	47.311	-
	Mata Atlântica	203.839	79.211	16.603
Norte	Amazônia	186.799	44.504	331.527
	Cerrado	83.151	8.540	-
Sudeste	Caatinga	2.464	2.595	994
	Cerrado	322.841	17.408	-
	Mata Atlântica	169.304	156.074	39.201
Sul	Cerrado	1.190	181	-
	Mata Atlântica	203.407	45.405	21.739
	Pampa	56.159	68.344	45.516

V. ANÁLISE DOS CUSTOS DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL

a. Custos por método de restauração ecológica

A Tabela 11 apresenta as diferenças de preços da restauração considerando os possíveis espaçamentos a serem adotados e o tipo de empenho de mão de obra no projeto. Observe que não são incluídos valores para a Restauração Passiva (Método 1), por esta não gerar custos diretos.

Tabela 11. Estimativa média custo total da restauração florestal no Brasil (R\$/hectare) para os diferentes métodos, considerando o espaçamento de plantio adotado, a forma de operacionalização e o pagamento da mão de obra

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros).

Espaçamento de plantio (m)	Condução regeneração natural*	Condução + enriquecimento	Condução + adensamento + enriquecimento	Plantio de mudas nativas em área total		Plantio de sementes em área total**	
				Mecanizado	Não mecanizado	Mecanizado	Não mecanizado
Mão de obra própria – agricultor(a)							
2 x 2	2.826	7.325	12.348	22.529	23.225	-	-
3 x 2	2.430	6.096	10.286	18.545	19.591	14.986	14.856
3 x 3	2.162	5.349	9.059	16.379	17.465	-	-
3 x 4	1.994	4.971	8.471	14.842	16.507	11.107	10.778
Mão de obra de funcionários da propriedade – não terceirizada							
2 x 2	4.864	10.825	17.740	28.597	31.797	-	-
3 x 2	4.279	9.338	15.350	24.614	28.479	17.685	19.220
3 x 3	3.877	8.481	14.039	22.640	26.832	-	-
3 x 4	3.574	7.966	13.312	20.680	26.027	14.196	15.333
Mão de obra de empresas contratadas – terceirizada							
2 x 2	6.563	13.828	22.458	35.038	39.610	-	-
3 x 2	5.856	12.196	19.900	31.059	36.582	21.213	23.398
3 x 3	5.367	11.300	18.598	29.381	35.369	-	-
3 x 4	4.977	10.729	17.844	27.153	34.791	17.927	19.546

*Para a prática da condução da regeneração natural não há plantio, assim, os custos para os diferentes espaçamentos devem ser associados à densidade de indivíduos regenerantes que demandariam de intervenções das operações de controle de matocompetição (coroamento) e fertilizações, sendo: 2 x 2 m – 2.500 plantas; 3 x 2 m – 1.666 plantas; 3 x 3 m – 1.111 plantas; e 3 x 4 m – 833 plantas.

**Na sementeira direta, a quantidade de sementes no plantio é definida pelo restaurador, em função da prévia estimativa da taxa de germinação das plantas e da densidade de indivíduos que se espera estabelecer na área. Os custos da restauração apresentam variação em função desse fator, ou seja, quanto maior o adensamento final de plantas, maior a quantidade de insumos e operações de manutenção. Na tabela, o maior adensamento é representado pelos coeficientes determinados para espaçamentos 2 x 2 m e 3 x 2 m (de 1.600 a 2.500 plantas/ha), e o de menor densidade para os espaçamentos de 3 x 3 m e 3 x 4 m (de 800 a 1.600 plantas/ha).

***Linhas em azul destacam os valores do espaçamento 3 x 2 m, comumente utilizado nos projetos de restauração florestal.

Observando os custos apresentados na Tabela 11, nota-se que o preço para a restauração florestal de uma área é inversamente proporcional à resiliência da vegetação, expressa pelo potencial de regeneração natural para o reestabelecimento da vegetação na área. Assim, quanto maior este potencial, menor a demanda por operações e insumos e, portanto, menores os custos para atingir a meta da intervenção de restauro.

Para os métodos de restauração ativa, tomando como exemplo o espaçamento 3 x 2 m e a execução com mão de obra própria, esta variação vai de R\$ 2.430 para a condução da regeneração natural até R\$ 19.591 para os plantios de mudas em área total, considerando áreas não mecanizadas. Ou seja, um dispêndio de recursos 8 vezes maior para este último método. No caso da mão de obra contratada, seja pelo uso ou não de empresa terceirizada, esta diferença gira em torno de 6,5 vezes, passando de R\$ 4.279 para R\$ 28.479 nas atividades realizadas com a mão de obra da propriedade (não terceirizada), e de R\$ 5.856 para R\$ 36.582 no caso da terceirização dos serviços por meio da contratação de prestadoras de serviço no setor.

Os mais altos custos para os métodos de plantio de mudas e sementes em área total ocorrem quando as atividades são desenvolvidas de forma não mecanizada, com maior diferenciação dos custos entre esta forma de operação com relação à mecanizada, se houver contratações de mão de obra ou sua terceirização. A diferença entre os custos dos métodos de plantio em área total, em reais, pode ser observada na Figura 1. Já a Figura 2 apresenta a diferença percentual dos custos da restauração com mão de obra contratada com relação a mão de obra própria do agricultor.

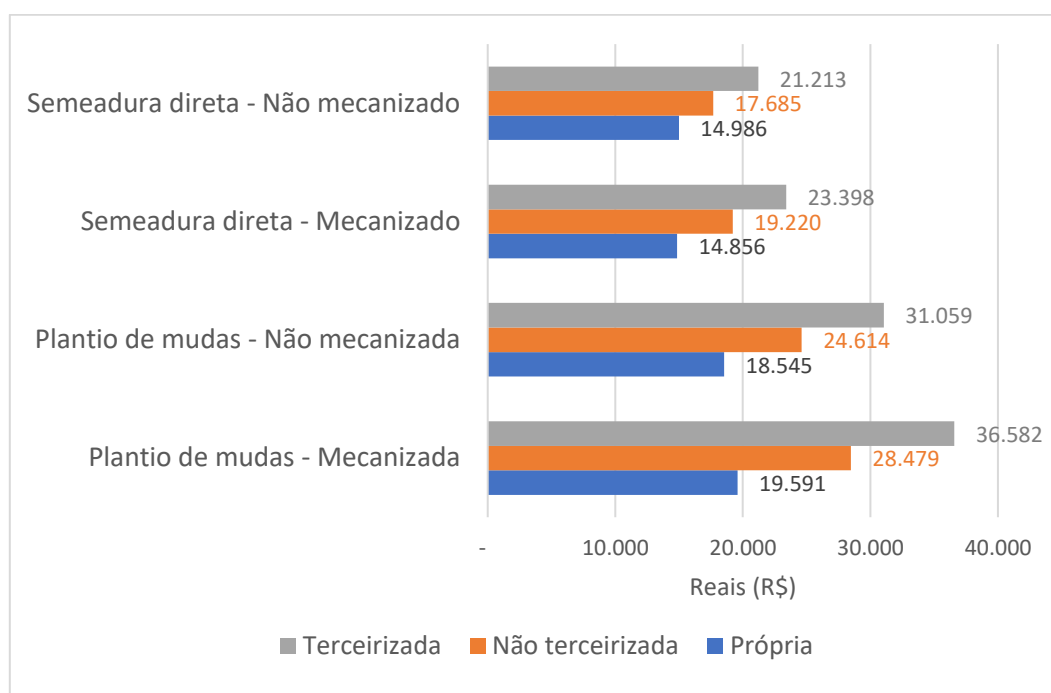


Figura 1. Comparação dos custos da restauração dos plantios em área total

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros).

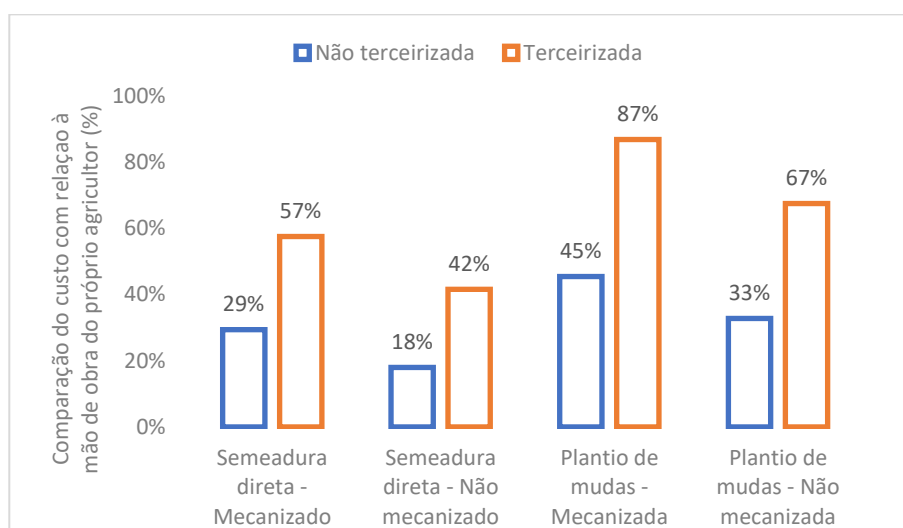


Figura 2. Aumento percentual do custo da restauração de plantios de sementes e mudas, realizada com a contratação de mão de obra, com relação à execução pelo próprio agricultor

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros).

Portanto, a combinação entre fatores como a aplicação de métodos que demandam maior intensidade de intervenções, maior número de trabalhadores (auxiliares de campo e tratoristas) na execução das atividades, emprego de mão de obra vinculada a algum tipo de contratação ou sua terceirização e, também, a implantação com operações não mecanizadas, estão entre os principais componentes relacionados ao aumento dos custos dos projetos de restauração.

Essa expressiva diferença entre os preços relacionadas aos métodos é o motivo pelo qual os processos de favorecimento da regeneração natural têm sido considerados como um dos elementos-chave para o alcance das metas da restauração em ampla escala. Apesar de ser uma decisão dos restauradores, a escolha do método de restauração a ser aplicado a uma área – definido com base no diagnóstico das condições das áreas in loco e das informações do potencial de regeneração no nível de paisagem, como os apresentados no estudo do MMA & WRI-Brasil (Brasil, 2017a) – contribui para o melhor planejamento das ações voltadas à recuperação da vegetação nativa em ampla escala e ao direcionamento dos recursos empenhados.

Influência do espaçamento de plantio nos custos da restauração

Na restauração ecológica, tanto de ecossistemas florestais quanto savânicos, os modelos adotados devem ser elaborados com base na composição de espécies e na densidade da vegetação original. Relativamente às opções de espaçamentos de plantio, são diferentes fatores que irão determinar a opção por plantios mais ou menos adensados.

Nesse sentido, Durigan (2003) enfatiza dois aspectos importantes para as formações savânicas: i) não plantar árvores onde elas nunca existiram, por exemplo, nas fisionomias predominantemente campestres, e; ii) definir o espaçamento com base na densidade da vegetação original.

Alguns projetos de restauração aderem aos espaçamentos mais adensados em situações nas quais se busca promover um rápido fechamento de copa, o que consequentemente contribui para minimizar os efeitos da matocompetição em menor tempo, possibilitando reduzir o número de repetições das operações na fase de manutenção. Assim, estes espaçamentos são comumente adotados quando se busca alcançar os objetivos das ações de restauração em curto prazo.

Em situações nas quais as áreas se encontram mais degradadas, o maior adensamento do plantio é também uma opção para acelerar a reabilitação desses ambientes, com a aceleração da ciclagem de nutrientes e melhoria das condições do solo, bem como das

condições microclimáticas para o avanço no processo sucessional. Por fim, os plantios adensados podem ser uma opção relacionada à logística de um projeto, por exemplo, em áreas de difícil acesso em que o deslocamento de equipes até os locais é dispendioso, sendo preferível utilizar modelos que reduzem a demanda por repetições de operações de manutenção.

Analisando individualmente o valor estimado para cada um dos espaçamentos, é notável o aumento do custo da restauração à medida que se tem o uso de espaçamentos de plantio mais adensados. Observa-se que o maior custo dos plantios de restauração não está atrelado especificamente ao empenho de mão de obra, já que este empenho tende a se igualar ao longo do desenvolvimento dos projetos, pois, apesar da maior necessidade operacional na fase de implantação, a demanda de repetições das operações de manutenção dos sistemas se reduz com os espaçamentos mais adensados. Assim, o aumento do custo ocorre especialmente devido a maior quantidade de insumos necessários na implantação das áreas nos espaçamentos mais adensados, como por exemplo, mudas e fertilizantes, ambos com preços atualmente altos no mercado. Como consequência, em termos absolutos dos custos observados para os espaçamentos analisados, estes são maiores para os métodos que demandam maior quantidade de insumos, aumentando gradativamente entre o método de condução até os de plantio em área total.

Ainda sobre os espaçamentos utilizados, sabe-se que o método de condução da regeneração natural, aplicado de modo isolado, não considera nenhuma introdução de plantas às áreas. Por isso, os diferentes espaçamentos e custos apresentados na Tabela 11 devem ser associados à densidade de indivíduos regenerantes em estabelecimento na área e que deverão receber intervenções na operacionalização das atividades relacionadas a tal método. Ou seja, áreas com maior densidade de plantas, com 2.500 indivíduos (representada no espaçamento 2 x 2 m) devem receber maior intensidade de práticas operacionais como coroamento e fertilização das plantas regenerantes, por isso, seu custo é maior que o de adensamentos menores.

Por outro lado, pode ser feito o seguinte questionamento: áreas com menor densidade de plantas regenerantes não demandariam de mais repetições de operações até o estabelecimento das plantas e, portanto, deveriam apresentar maior custo? A resposta é sim. No entanto, neste caso, fica a cargo do restaurador definir se, de fato, a condução da regeneração é o método mais plausível de ser aplicado, ou se os métodos que consideram a introdução de propágulos associados à condução não seriam mais adequados, por exemplo, com plantios de enriquecimentos e adensamentos.

Do lado oposto, em áreas com alta intensidade de regeneração natural, o questionamento a ser levantado pelo restaurador é se, de fato, há necessidade de

intervenções de condução do sistema em áreas que já se apresentam bastante adensadas, ou se a restauração passiva (sem intervenção) já não seria suficiente para desencadear o estabelecimento e processo sucessional da vegetação.

Influência da mão de obra nos custos da restauração

Dentre as variáveis relacionadas aos custos da mão de obra, a contratação é o fator que mais impacta os preços dos projetos. Com o uso de equipes de empresas terceirizadas contratadas para os serviços de restauração, o preço fica, em média, 29% superior se comparado com o uso de mão de obra dos funcionários próprios da propriedade rural. Já em comparação aos projetos realizados com o empenho da mão de obra do próprio agricultor, como é proposto para as áreas dos pequenos imóveis da agricultura familiar, a terceirização dos serviços apresenta uma média de custo 88% superior.

Esta diferença é mais expressiva para os métodos nos quais o emprego da mão de obra tem maior peso no preço da restauração. Para o método de condução da regeneração natural, a diferença do custo da restauração realizada por empresas terceirizadas é 37% maior quando comparado à realizada por funcionários da propriedade rural e de 142% maior se comparada com a utilização de mão de obra própria do agricultor. Já para os métodos de maior intensidade e repetições de operações, como os plantios em área total, tem-se, em média, um aumento de 26% com a contratação da mão de obra de terceiros e de 69% com relação ao empenho da mão de obra do próprio agricultor.

O uso de mão de obra de empresas terceirizadas é uma realidade plausível para as médias e grandes propriedades, que normalmente preferem arcar com essas diferenças. Isso ocorre pela própria disponibilidade de recursos financeiros, pela maior eficiência de empresa terceira, especializada na execução dos serviços, como também para não impactar na disponibilidade de mão de obra já direcionada para as atividades produtivas de rotina desenvolvidas na propriedade.

Quando analisamos essa diferença com relação à mão de obra do agricultor, observa-se que a viabilidade financeira para projetos de restauração ecológica em áreas das pequenas propriedades é maior, obviamente, se realizada pelos próprios agricultores. Esta possibilidade corrobora com a proposta de incentivos à criação de mutirões de trabalho para ajudar com a restauração em escala nas áreas da agricultura familiar (de pequenas posses e propriedades rurais), incluindo aqui toda a malha fundiária vinculada aos assentamentos rurais do país.

Tal observação demonstra a importância de que, dentro da pequena posse/propriedade rural, em vez de se considerar a contratação de iniciativas que executem projetos com a mão de obra externa para a realização de ações de restauro, a execução dos trabalhos em mutirões com a participação dos próprios agricultores no processo seria um meio de garantir a adequação ambiental da pequena propriedade com custos acessíveis. Soma-se a isso os ganhos com os trabalhos por meio da mobilização popular, tornando a restauração uma realidade exequível para todo e qualquer tipo de imóvel rural.

Iniciativas implementadas nessa perspectiva podem contribuir para o fortalecimento institucional de organizações de bases comunitárias (cooperativas/associações), para que sejam protagonistas nas ações de restauro no país. Uma vez empoderadas e estruturadas para executar esse tipo de atividade, as entidades teriam capacidade não apenas de implementar as ações nas áreas de seus cooperados/associados, mas também de oferecer esse tipo de serviço em suas regiões.

Essa possibilidade abre uma oportunidade para as organizações comunitárias ampliarem sua oferta de produtos, com a disponibilização de tecnologias populares sustentáveis para enfrentar as problemáticas ambientais encontradas em seus territórios. Para além da organização na produção e na venda de alimentos, podem ter participação ativa na promoção das melhorias ambientais e dos serviços ecossistêmicos. Inclui-se nessa oportunidade a produção e a comercialização de produtos demandados pelo mercado da restauração florestal, como mudas, sementes e biocompostos para a fertilização.

Diferenças dos custos para os métodos de plantio em área total

Comparando os dois métodos de restauração florestal em área total, observa-se que a semeadura direta apresenta custos inferiores em relação ao custo do plantio de mudas em área total. Enquanto para a semeadura direta, com o uso de mão de obra própria do agricultor, o preço fica na faixa dos R\$ 15 mil/ha para plantios mais adensados, o plantio de mudas varia na faixa dos R\$ 19 mil/ha (média para áreas mecanizadas e não mecanizadas para o espaçamento 3 x 2 m). Esse valor decai para cerca de R\$ 11 mil/ha para os plantios de semeadura direta menos adensados, que, comparados com os plantios de mudas em adensamentos também menores – como o espaçamento 3 x 4 m, com custo médio na ordem de R\$ 15,7 mil/ha –, tem-se então uma redução de custo de cerca de 43%.

Considerando que o emprego de mão de obra é a variável principal entre os métodos de semeadura direta e de plantio de mudas, para os projetos executados por profissionais

contratados (não terceirizados e terceirizados), a diferença nos valores absolutos dos custos da restauração é ainda mais expressiva com esses tipos de mão de obra. Para a mão de obra da própria fazenda, o plantio de mudas em área total, tendo como referência o espaçamento 3 x 2 m, varia de R\$ 24,6 mil/ha (áreas mecanizadas) a R\$ 28,5 mil/ha (áreas não mecanizadas). Já a sementeira direta em área total varia de R\$ 17,7 mil/ha (mecanizadas) a 19,2 mil/ha (não mecanizadas). Quando se tem a mão de obra terceirizada, os custos estimados da restauração por meio do plantio de mudas em área total vão para R\$ 31,1 mil/ha (mecanizadas) e R\$ 36,5 mil/ha (não mecanizadas); e para R\$ 21,2/ha (mecanizadas) e R\$ 23,4 mil/ha (não mecanizadas) para o caso da sementeira direta.

Na sementeira direta em áreas mecanizadas, estimou-se que são necessários 23 dias de trabalho de um integrante da equipe operacional durante todo o projeto, enquanto para o plantio de mudas este número praticamente dobra para 50,5 dias de trabalho. Para as áreas não mecanizadas, a proporção se mantém, sendo necessários, respectivamente, 37 dias de trabalho na sementeira direta e 76 dias no plantio de mudas.

Ainda, a proporção de mão de obra dos auxiliares de campo (trabalhador rural) e tratoristas estimados para compor as equipes de plantio na sementeira é praticamente a metade da proporção observada para o plantio de mudas. Para áreas mecanizadas, enquanto a sementeira direta necessita, em média, de 6,6 auxiliares de campo para cada tratorista, no plantio de mudas esta relação é de 12,0 auxiliares de campo para cada tratorista. Nas áreas não mecanizadas a proporção na sementeira direta é de 19,5 auxiliares por tratorista, ao passo que no plantio de mudas é de 40,0 auxiliares por tratorista.

Por todo o exposto, a sementeira direta tem se apresentado como um método de grande potencial para minimizar os custos relativos à restauração. Isto se deve especialmente, como visto, pela menor demanda de emprego de mão de obra nas operações associadas ao método, devido à praticidade de suas intervenções, tanto na implantação quanto na manutenção, assim como pela menor necessidade de repetições das intervenções durante a fase de manutenção.

Distribuição dos custos dos diferentes métodos de restauração ecológica

A Tabela 12 apresenta a distribuição percentual do empenho de recursos monetários para os diferentes componentes que compõem os custos dos projetos de restauração. A Figura 3 auxilia na visualização dessas informações. Os percentuais correspondem à média geral de todos os espaçamentos considerados. Quando utilizado o espaçamento 3 x 2 m, os valores observados são similares.

Analisando os dados, nota-se que os percentuais de recursos destinados a mão de obra, maquinários e equipamentos se reduzem à medida que se avança para os métodos de maior complexidade, e isso ocorre independentemente do tipo de mão de obra usada na execução das atividades. De modo inverso, a participação dos custos de materiais e insumos aumentam com a complexidade dos métodos de intervenção, explicado pela maior demanda por insumos utilizados na restauração, em especial, mudas e produtos para a correção e a fertilização do solo.

Na comparação entre a o tipo de mão de obra empregada nos projetos, seguindo a lógica esperada, há um aumento na participação dos recursos destinados ao pagamento da mão de obra contratada, sendo a maior participação quando os serviços são terceirizados. Por exemplo, nos plantios de mudas em área total, estes representam cerca de 50% do custo da restauração, reduzindo a participação quando do plantio por sementes, devido aos custos elevados desse insumo. Dos métodos de plantio em área total, a semeadura direta com maquinários é a situação em que se tem a menor participação da mão de obra nos custos da restauração, variando de 9,6% para mão de obra própria do agricultor; 24,2% para o uso de mão de obra de funcionários da propriedade; e 28,6% para a contratação de serviços de terceiros. Para o plantio de mudas com maquinários, a variação vai de 23,8% com o uso de mão de obra própria do agricultor; a 37,7% para a mão de obra de funcionários da propriedade; e a 42,3% para a mão de obra terceirizada.

Tabela 12. Alocação dos recursos para os diferentes componentes do custo dos projetos de restauração florestal

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salário.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros).

Componente do custo	Condução regeneração natural*	Condução + enriquecimento	Condução + adensamento + enriquecimento	Área total – Plantio de mudas nativas		Área total – Plantio de sementes**	
		Não mecanizado		Mecanizado	Não mecanizado	Mecanizado	Não mecanizado
Mão de obra própria – agricultor(a)							
Mão de obra	38,5%	27,3%	25,4%	16,8%	23,8%	9,6%	15,6%
Máquinas e equipamentos	38,1%	31,0%	30,7%	34,0%	29,8%	29,2%	22,3%
Materiais e insumos	23,4%	41,7%	43,8%	49,3%	46,4%	61,2%	62,1%
Mão de obra de funcionários da propriedade – não terceirizada							
Mão de obra	65,1%	52,9%	50,5%	37,7%	48,3%	24,2%	35,6%
Máquinas e equipamentos	21,6%	20,1%	20,4%	25,4%	20,2%	24,5%	17,1%
Materiais e insumos	13,3%	27,1%	29,1%	36,9%	31,5%	51,3%	47,4%
Mão de obra de empresas contratadas – terceirizada							
Mão de obra	67,8%	57,5%	55,3%	42,3%	53,3%	28,6%	41,5%
Máquinas e equipamentos	22,5%	21,9%	22,4%	28,6%	22,3%	28,9%	19,9%
Materiais e insumos	9,7%	20,6%	22,3%	29,1%	24,3%	42,5%	38,6%

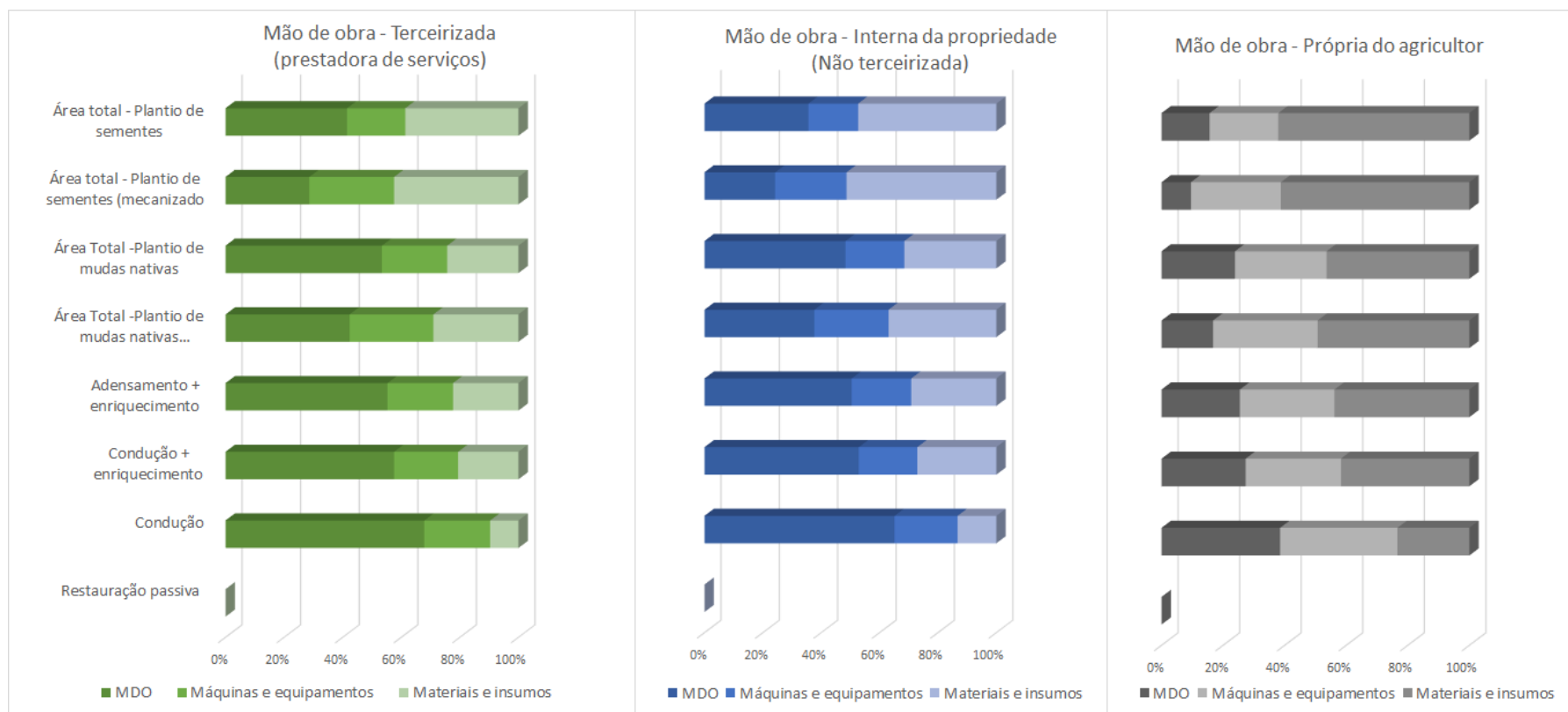


Figura 3. Proporcionalidade da alocação de recursos monetários para os componentes do custo da restauração, de acordo com as diferentes formas de emprego de mão de obra nos projetos

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros).

Outros fatores que impactam na variação dos custos da restauração

Até o momento, apresentamos alguns dos fatores que impactam no valor do custo da restauração florestal, sendo o principal deles, o método adotado em função do potencial de regeneração da área, mas também a forma de pagamento da mão de obra empregada nas atividades e o espaçamento de plantio adotado.

Nas estimativas de custos dos projetos de restauração, considerou-se neste estudo o emprego das melhores técnicas operacionais e todo um conjunto de práticas de implantação e manutenção desses sistemas que assegurem, com boa previsibilidade, o desenvolvimento satisfatório da vegetação em níveis adequados para se considerar a intervenção de restauro bem-sucedida. Neste aspecto, não é incomum se observar projetos de restauração que apresentem insucesso devido ao manejo inadequado ou insuficiente dos sistemas, com intervenções sem os devidos cuidados ou previsibilidade inferior das necessidades de repetições das operações de manutenção. Como resultado, tem-se a baixa efetividade do investimento realizado, já que não se alcançam os objetivos da intervenção – que é o de garantir o estabelecimento da vegetação na área em processo de restauração a ponto de que esta possa avançar com os processos sucessionais e se autossustentar no tempo, apresentando-se, de fato, como uma floresta nativa restaurada.

Contudo, algumas variações, tal como a sequência das atividades e do número de repetições das operações, podem ocorrer em função das condições ambientais locais ou climáticas que podem influenciar os custos dos projetos de restauração, e isso será discutido a seguir.

Necessidade de irrigação

Para todas as ocasiões em que é realizada a introdução de propágulos (mudas ou sementes), foi considerada a irrigação tanto na fase de plantio (uma repetição) como na fase de manutenção (duas irrigações complementares). Com as condições adversas pela qual o sistema climático global tem passado, são cada vez maiores as probabilidades de períodos secos e altas temperaturas, especialmente nas épocas mais utilizadas para plantios, que se correlacionam com o período das estações chuvosas. Portanto, é coerente prever operações de irrigação nos projetos, a fim de assegurar

minimamente a disponibilidade de água às plantas introduzidas no sistema. Entretanto, essas operações podem ser desnecessárias caso não haja eventos de déficit hídrico.

Na irrigação, a aplicação do hidrogel é uma forma de assegurar a disponibilidade de água às plantas por mais tempo, aumentando a efetividade da operação. Com o uso desse produto, a irrigação custa em torno de R\$ 600/ha, com variações para mais ou para menos a depender da densidade de plantio. Mas é possível se optar pela não utilização do hidrogel e, no caso, o custo da operação cai pela metade, em torno de R\$ 300,00.

Em síntese, se não houver necessidade de irrigações, os valores estimados da restauração se reduzem. Por exemplo, para plantios 3 x 2 m em área total, isso representa uma diferença de cerca de R\$ 1.800 com mão de obra própria, e até R\$ 3.000 para os projetos realizados por empresas terceiras.

Controle da matocompetição

Ainda na fase de implantação, considerou a operação de limpeza inicial da área, que consiste no primeiro manejo das plantas indesejáveis no sistema, sendo mais comum a prática para o controle das plantas de gramíneas exóticas. Porém, caso o grau de infestação e o vigor dessas plantas seja baixo, o custo da limpeza pode ser desprezado, considerando a estimativa de R\$ 300/ha a R\$ 500/ha reais nas operações mecanizadas, e de R\$ 700/ha a R\$ 2.000/ha para operações não mecanizadas, respectivamente com o uso de mão de obra própria ou o emprego de terceiros.

Da mesma forma, a densidade de infestação e o vigor das plantas indesejáveis nos sistemas podem se reduzir mais rapidamente do que o previsto, devido ao bom desenvolvimento da vegetação nativa dos indivíduos regenerantes ou introduzidos, acelerando o fechamento de copas. Com isso, se reduz a necessidade do número de repetições das atividades de manutenção associadas ao controle de matocompetição (roçadas e coroamento das mudas). Para cada repetição a menos executada, tem-se uma economia no emprego de recursos similar ao apontado acima para a operação de limpeza inicial. Soma-se a esta economia a redução das atividades de coroamento, que possuem um custo alto, especialmente no uso de mão de obra terceirizada, chegando a atingir até R\$ 1.400/ha para cada repetição da operação.

Uma prática que se tornou comum em projetos de restauração é o uso de herbicidas para o controle de plantas indesejáveis ou invasoras da matocompetição, tanto com a aplicação de herbicidas pós quanto pré-emergentes. A capina química possui rendimento operacional alto e menor custo em relação ao controle feito de forma mecânica.

No entanto, sua aplicação deve ser considerada com ressalvas, devido aos seguintes aspectos: do ponto de vista legal, falta uma regulamentação clara a respeito da permissão de sua utilização em áreas especialmente protegidas, com é o caso das APPs¹⁸; do ponto de vista ecológico, em contraposição às inúmeras informações sobre a baixa toxicidade e efeito praticamente nulo sobre a biota, novos estudos versando sobre a existência de impactos sobre a biota, a contaminação de águas e os impactos sobre a saúde humana têm sido recorrentemente apresentados, demonstrando os perigos de seu uso.

Portanto, especialmente em APPs, o uso indiscriminado dos herbicidas, com a retórica de melhorar o custo-efetividade da restauração, pode até ser apontado como prática possível para minimizar custos dos projetos, mas não deixa de ser um contrassenso sua aplicação para uma ação que busca melhorias à saúde ecossistêmica de ambientes ripários, como são os projetos de restauração e, por isso, seu uso deve ser analisado com excepcional cautela e parcimônia.

Controle de fatores de degradação

Em projetos de restauração da vegetação, o termo “controle de fatores de degradação” é normalmente associado a operações de construção e manutenção de cercas, visando restringir o acesso de gado às áreas, e de aceiros, para evitar incêndios. O cercamento das áreas destinadas à restauração da vegetação é uma benfeitoria necessária quando há atividade pecuária em sua circunvizinhança. O custo para instalação dessa infraestrutura é alto, devido aos preços dos materiais necessários e do valor da mão obra para a sua instalação, sendo estimado em torno de R\$ 12.000 a R\$ 17.000 por quilômetro, dependendo do tipo de mão de obra escolhida.

Da mesma forma, aceiros são benfeitorias importantes para minimizar os riscos acidentais de ocorrência do fogo nas áreas em restauração. Seu custo varia de cerca de R\$ 1.000 a R\$ 2.000 reais por quilômetro construído, dependendo da possibilidade de mecanização ou não da operação.

Esses valores relacionados ao controle de degradação não foram contabilizados nos custos da restauração, com base na premissa de que não é possível se fazer uma associação direta e estimar a quantidade necessária dessas infraestruturas, mensuradas em unidades lineares, com a área da restauração. Na prática, a avaliação dessa demanda ocorre caso a caso para as áreas que serão objeto de restauração. Por

¹⁸ No Rio de Janeiro, a Resolução Inema n° 190/2019 define critérios e procedimentos para o uso de controle químico em projetos de restauração florestal, com algum grau de restrição na aplicação em APPs. No Paraná, legislações municipais trazem proibições ao uso dos agrotóxicos em APPs, como apontado em Piassetta (2021).

exemplo, no estudo realizado pelo Instituto Escolhas em 2016 (KISHINAMI et al., 2016) fez-se uma estimativa hipotética de 200 metros dessas infraestruturas para cada hectare de área a restaurar.

Além disso, a cerca deve ser vista como uma infraestrutura que não é diretamente relacionada à prática da restauração: quando associada à atividade-fim da pecuária, esta deveria internalizar os custos do investimento, e o mesmo racional pode ser considerado para os aceiros.

Consortiação de plantas da adubação verde nos processos de restauração

Na fase inicial da implantação, o plantio de espécies de adubação verde – como o feijão-guandu (*Cajanus cajan*), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e as crotalárias (*Crotalaria juncea* e *C. spectabilis*) – tem demonstrado vantagens nas práticas de restauração florestal, contribuindo para o controle de matocompetição e a melhoria das condições do solo e das condições microclimáticas para o estabelecimento das plantas de interesse.

Em projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), desenvolvido por um núcleo de estudos da Universidade de São Paulo, o NACE-PTECA/Esalq-USP, em parceria com a AES Brasil, observou-se uma redução de até quatro vezes da necessidade de controle de matocompetição nos sistemas que usam adubação verde, passando de quatro a oito operações de manutenção para somente duas, tanto com relação às roçadas das entrelinhas quanto dos coroamentos das plantas. Por isso, surge como alternativa também para reduzir ou mesmo eliminar o uso demasiado dos herbicidas, especialmente das APPs de cursos e corpos d'água.

Devido às melhores condições microclimáticas criadas por esse consórcio com as leguminosas, que proporcionam maior umidade e temperaturas amenas ao sistema, observou-se também a redução da necessidade de irrigações de manutenção, passando de duas a três vezes para no máximo uma vez. Por fim, houve ainda a redução na demanda por fontes de adubo nitrogenados, já que esta é suprida em partes (40%) pelas espécies de adubação verde.

É importante salientar que o uso das leguminosas agrícolas de adubação verde já é algo inerente na definição da composição de sementes do método da semeadura direta, o que deve ser mais um fator do sucesso dessa prática de restauração.

b. Comparação dos custos da restauração ecológica no Brasil

Relativamente aos custos da restauração estimados neste estudo, fez-se uma comparação com os dados apresentados em três outras pesquisas que consolidaram informações sobre o tema. A Tabela 13 apresenta estes resultados. É feita a correção monetária, com o índice IGP-M, para a atualização dos valores do estudo de Kishinami et al. (2016) e Benini et al. (2017), assim como aplicado o valor de R\$ 5,00 para a conversão do dólar em reais para o estudo de Brancalion et al. (2019).

Tabela 13. Estimativa dos custos de restauração (R\$/ha) apresentados por outros estudos

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Estudo avaliado	Tipo de mão de obra	Condução regeneração natural	Condução + adensamento + enriquecimento	Área total – Plantio de mudas	Área total – Plantio de sementes
Presente estudo	Agricultor	2.430	10.286	18.545	14.986
	Própria da fazenda	4.279	15.350	24.614	17.685
	Terceirizada	5.856	19.900	31.059	21.213
Kishinami et al., 2016	Terceirizada	1.095	14.289	33.497	22.570
Benini et al., 2017	Não informado	3.640	17.140	36.676	34.927
Brancalion et al., 2019	Não informado	1.720	3940	11.640	8.770

No primeiro estudo elaborado pelo Instituto Escolhas (KISHINAMI et al., 2016) com o objetivo de quantificar os custos da restauração, os autores apresentam o valor por hectare para a região Amazônica, que variou de R\$610/ha para a restauração passiva com cercamento e aceiro; R\$ 4.165/ha para o método de enriquecimento; R\$ 7.737/ha para o adensamento + enriquecimento; R\$ 12.221/ha para a semeadura direta em área total; até R\$ 18.138/ha para a aplicação da técnica de plantio de mudas em área total. Fazendo a correção dos valores monetários para o presente momento, com base no IGP-M – correspondente a 84,68% no período entre fevereiro de 2016 a abril de 2023 –, esses valores ficam, respectivamente, em R\$ 1.095/ha, R\$ 7.691/ha, R\$ 14.289/ha, R\$ 22.570/ha e R\$ 33.497/ha.

Para computar os custos da restauração, Kishinami et al. (2016) considerou o espaçamento de plantio de 3 x 2 m (1.667 árvores/ha), o uso de operações mecanizadas para o plantio em área total e a terceirização dos serviços, o qual inclui, além dos custos

trabalhistas com a mão de obra, mais 50% de impostos e lucros das empresas executoras.

Se considerado o mesmo espaçamento de plantio, os custos observados no presente estudo são um pouco menores que os custos estimados no levantamento realizado em 2016 para os métodos de plantio em área total com plantio de mudas (-8%) e semeadura direta (-6%), mas são maiores para os métodos de condução da regeneração + enriquecimento (37%) e para condução com enriquecimento + adensamento (28%). Essa diferença maior do custo da restauração, para os dois últimos métodos, ocorre porque, no primeiro estudo, não se considerou operações de condução da regeneração natural, sendo considerado que apenas as plantas introduzidas receberiam as intervenções de manejo para se estabelecerem, sendo que o crescimento dos indivíduos regenerantes presentes no sistema ocorreria sem nenhum tipo de manejo.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e a The Nature Conservancy (TNC) também realizaram estudo como objetivo de levantar os custos envolvidos em projetos de restauração, de modo a subsidiar ações, programas e políticas para dar escala a essas iniciativas. Estes custos são apresentados na publicação intitulada *Economia da Restauração Florestal* (BENINI et al., 2017). Baseado em uma ampla consulta feita com profissionais e iniciativas em todo o Brasil, foram apontados valores médios, para cada bioma, de diferentes métodos de restauração, considerando cenários favoráveis e não favoráveis para a execução dos projetos. Nesse sentido, os autores informam que as situações de cenários favoráveis devem ocorrer apenas para algumas poucas áreas onde o estado de degradação requer investimentos baixos para sua recuperação, sendo mais provável os cenários desfavoráveis. Foi aplicada a correção do IGP-M de 76,52%, referente ao período de junho de 2017 a abril de 2023, para corrigir os valores da média de todos os biomas dos cenários desfavoráveis. Para o plantio de mudas em área total, o custo foi de R\$ 36.676/ha; de R\$ 34.927/ha para a semeadura direta; de R\$ 17.140/ha para o adensamento + enriquecimento; e de R\$ 1.095/ha para a condução da regeneração. Comparando com os valores estimados no presente estudo, os custos da restauração para os métodos de plantio em área total são inferiores para o plantio de mudas (-18%) e para a semeadura direta (-65%), mas um pouco superiores para o método de enriquecimento + adensamento (14%).

A pesquisa de custo da restauração realizada por Brancalion et al. (2019) foi feita por meio de ampla enquete (“survey”) com diferentes atores da restauração no Brasil (profissionais, organizações e empresas que executam projetos), recebendo 56 respostas. A média do custo estimado para o plantio de mudas em área total foi R\$ 11.640/ha (considerando o valor de R\$ 5,00 na conversão do dólar) e, para o plantio por meio da semeadura direta, foi de R\$ 8.770/ha. Para a técnica de enriquecimento, o custo médio foi de R\$ 3.940/ha. Observa-se que os valores dos custos da restauração desta

pesquisa são bastante inferiores aos custos aqui observados e com relação aos outros dois estudos avaliados.

Essa variação pode estar relacionada às variáveis consideradas no cômputo dos custos dos projetos pelas diferentes fontes de informação da pesquisa, como tipo de mão de obra empregada (terceirizada ou não), valor pago pelas horas de maquinários e equipamentos, a inserção ou não dos custos dos insumos e, especialmente, as condições ambientais das áreas objeto da intervenção (menor ou maior estado de degradação, refletindo em áreas mais ou menos favoráveis para a restauração da vegetação).

Além desses fatores, a escala dos projetos também é preponderante na determinação dos custos da restauração por unidade de área, sendo menores os custos à medida que se aumenta a área a ser restaurada em um projeto. Strassburg et al. (2019) apontam para uma economia substancial devido ao aumento da escala dos projetos de restauração, reduzindo em até 58% o custo quando se tem áreas amplas para implementação. Pela projeção de custo por hectare que esses autores fizeram, o preço da restauração por unidade de área passaria de aproximadamente US\$ 4.500/ha (R\$ 22.500/ha), para somente 1 hectare, para apenas US\$ 2.000 (R\$ 10.000/ha) se implantado em 100 hectares. Certamente a escala dos projetos deve influenciar os custos à medida que se tem uma maior otimização da logística de implantação, com menores deslocamentos entre áreas e produção, compra de insumos em maiores quantidades e rendimentos operacionais mais elevados com o emprego de mão de obra qualificada na execução das tarefas.

c. Custos e receitas da Restauração com viés Econômico – SAF e SPM

Foram propostos neste estudo alguns modelos de restauração com viés econômico a fim de se reconhecer quais os custos e as potenciais receitas com a implantação desses sistemas, bem como analisar a viabilidade do uso desses modelos para as situações permitidas pela legislação para a recomposição de APPs e de áreas de Reserva Legal. Um resumo da composição e da forma de manejo dos modelos de restauração econômica aqui propostos se encontra na Seção “Modelos de sistemas agroflorestais - SAF”, para sistemas agroflorestais (SAFs), e na Seção “Modelos de Sistemas de Produção Madeireira - SPM”, para sistemas de produção madeireira (SPMs).

Tais modelos consideraram a possibilidade de métodos de restauração para os pequenos imóveis, que podem se valer do uso de SAFs para a recomposição da vegetação nas APPs. Para os médios e grandes imóveis rurais, foi proposta a implantação de modelos econômicos com SPMs para a recomposição da vegetação da Reserva Legal.

Considerou-se que as atividades produtivas devem ocorrer em áreas com baixo potencial de regeneração, associadas principalmente aos locais onde o uso do solo já foi mais intensamente explorado, por serem mais aptos à produção agropecuária. Essas áreas normalmente estão localizadas em terrenos com possibilidade de mecanização, motivo pelo qual na análise econômica dos sistemas produtivos os custos foram avaliados considerando as atividades operacionais iniciais realizadas com o uso de maquinários (tratores e implementos). Considerou-se também a irrigação de implantação e de manutenção inicial das mudas. Para os sistemas de produção madeireira, a receita com a comercialização do produto foi estimada considerando o preço de venda da madeira em pé.

A Tabela 14 apresenta o resumo dos resultados das análises econômicas, informando os valores médios obtidos, por hectare, para os sistemas de produção madeireira analisados, seguida das Figuras 4 e 5, que contêm a relação entre custo e receita para estes sistemas ao longo de 30 anos, com ou sem taxa de desconto de 10%. Já a Tabela 15 apresenta essas informações para os modelos de SAFs, assim como as Figuras 6 e 7, que mostram a relação entre custo e receita para SAFs no mesmo período, com ou sem taxa de desconto de 10%.

Tabela 14. Resultados das análises econômicas, por hectare, dos sistemas de produção madeireira (SPMs), por região e nacional

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros) e produção e receitas de madeira (PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo, Conab, entre outros).

Parâmetros	Norte	Centro-Oeste	Nordeste	Sudeste	Sul	Brasil
Taxa de desconto	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Anos de projeto	30	30	30	30	30	30
VPL	R\$ 13.709	R\$ 4.225	R\$ 11.436	R\$ 6.951	-R\$ 6.399	R\$ 5.984
TIR	12,54%	10,85%	12,38%	11,34%	8,07%	11,03%
Investimento inicial (até 3 anos)	R\$ 22.109	R\$ 22.581	R\$ 21.049	R\$ 21.001	R\$ 21.645	R\$ 21.677
Custos por hectare presente	R\$ 23.596	R\$ 24.282	R\$ 22.391	R\$ 22.538	R\$ 22.946	R\$ 23.150
Custo por hectare	R\$ 27.271	R\$ 28.143	R\$ 25.932	R\$ 26.198	R\$ 26.392	R\$ 26.787
Custo médio por hectare/ano	R\$ 909	R\$ 938	R\$ 864	R\$ 873	R\$ 880	R\$ 893
Receitas por hectare presente	R\$ 37.305	R\$ 28.507	R\$ 33.826	R\$ 29.489	R\$ 16.547	R\$ 29.135
Receita média por hectare	R\$ 321.035	R\$ 232.460	R\$ 214.563	R\$ 189.682	R\$ 121.708	R\$ 215.890
Receita média por hectare/ano	R\$ 10.701	R\$ 7.749	R\$ 7.152	R\$ 6.323	R\$ 4.057	R\$ 7.196
Saldo médio anual (R\$/ha/ano)	R\$ 9.792	R\$ 6.811	R\$ 6.288	R\$ 5.449	R\$ 3.177	R\$ 6.303

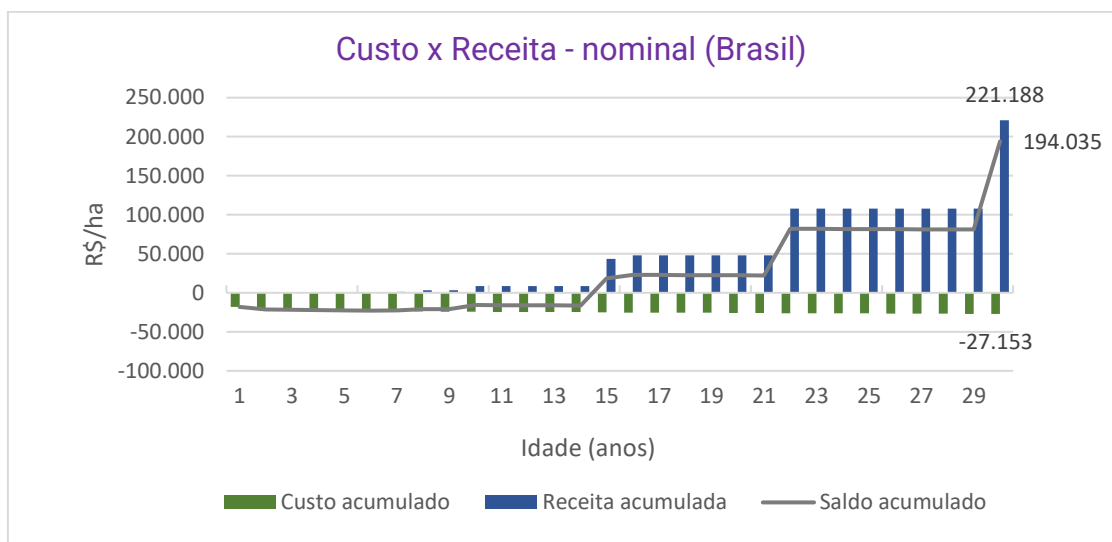


Figura 4. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração com SPM

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros) e produção e receitas de madeira (PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo, Conab, entre outros).

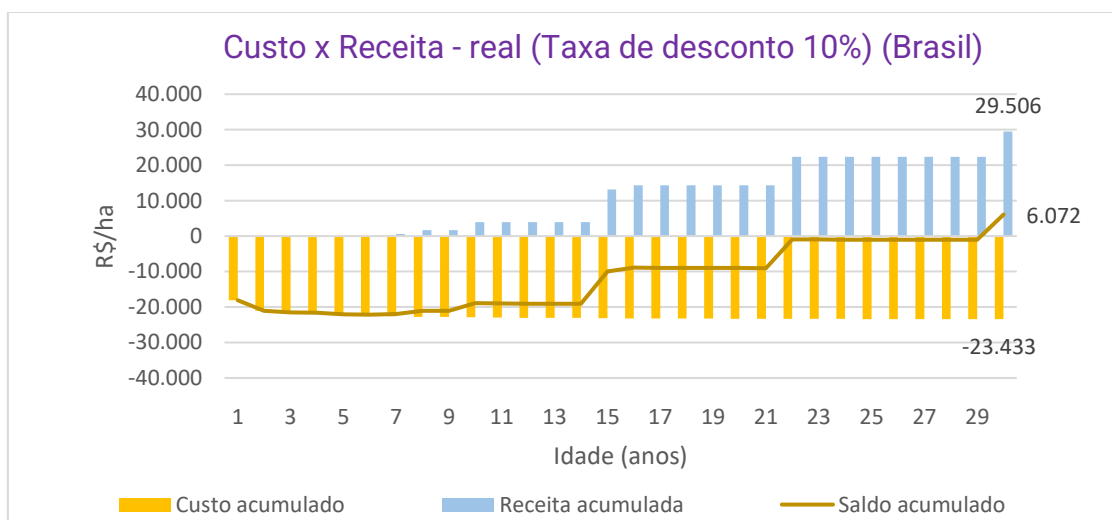


Figura 5. Relação entre custo e receita ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SPM com taxa de desconto de 10%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (como Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas, cotações diretas com fornecedores, entre outros) e produção e receitas de madeira (PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo, Conab, entre outros).

A média para o Brasil do investimento inicial até o terceiro ano da implantação dos SPMs foi de R\$ 21.677/ha, com pequenas variações entre as macrorregiões em função do valor diferenciado de mão de obra e da hora dos maquinários e equipamentos. A média do custo por hectare total ao longo de 30 anos foi de R\$ 26.787/ha, sendo as receitas totais obtidas desse período de 30 anos de R\$ 215.809/ha, ou seja, dez vezes maior que os custos do investimento inicial ou oito vezes com relação aos custos totais de implantação e manejo dos sistemas durante esse período, gerando um saldo médio anual de R\$ 6.303/ha por ano.

Para a composição de modelos utilizados para a região Sul, o VPL apresentou valor negativo, apesar de se observar lucratividade com a implementação desses projetos, mas abaixo da expectativa de inicial arbitrada, já que o retorno é inferior à taxa mínima de atratividade, inferindo em uma TIR inferior ao esperado de 10%. Mas, ainda assim, observa-se um saldo médio anual de R\$ 3.177/ha/ano.

Para os sistemas de produção madeireira é importante compreender que são investimentos com retornos de longo prazo. O retorno dos valores do investimento inicial (payback) para os modelos utilizando espécies nativas ocorrem apenas no corte das madeiras mais nobres, aos 30 anos. Esse retorno dos gastos iniciais é antecipado quando se tem a inserção de outras espécies madeireiras com ciclos mais curtos e com bom valor de mercado, como, por exemplo, o mogno africano (15 anos) e a teca (21 anos). O uso das demais espécies madeireiras exóticas, em até 50% da área, não possibilitou a antecipação do investimento, incluindo o eucalipto, que só apresentou essa antecipação nas regiões onde a cultura apresenta alta produtividade (região das florestas ombrófilas do Norte e do Nordeste).

Tabela 15. Resultados das análises econômicas, por hectare, dos sistemas agroflorestais (SAFs), por região e nacional

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas e cotações com fornecedores), produção e receitas (Conab, PAM/IBGE de 2021 para lavouras, PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo).

Parâmetros	Norte	Centro-Oeste	Nordeste	Sudeste	Sul	Brasil
Taxa de desconto	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Anos de projeto	30	30	30	30	30	30
VPL	R\$ 53.174	R\$ 22.506	R\$ 50.888	R\$ 68.498	R\$ 52.692	R\$ 49.552
TIR	31,25%	21,16%	39,34%	58,81%	31,66%	36,45%
Investimento inicial (até 3 anos)	R\$ 28.231	R\$ 24.848	R\$ 34.447	R\$ 33.493	R\$ 31.137	R\$ 30.431
Custos por hectare presente	R\$ 56.898	R\$ 36.980	R\$ 65.687	R\$ 52.983	R\$ 40.608	R\$ 50.631
Custo por hectare	R\$ 131.769	R\$ 72.261	R\$ 147.943	R\$ 106.058	R\$ 66.982	R\$ 105.003
Custo por hectare/ano	R\$ 4.392	R\$ 2.409	R\$ 4.931	R\$ 3.535	R\$ 2.233	R\$ 3.500
Receitas por hectare presente	R\$ 110.072	R\$ 59.486	R\$ 116.575	R\$ 121.480	R\$ 93.301	R\$ 100.183
Receitas por hectare	R\$ 379.802	R\$ 208.002	R\$ 363.714	R\$ 384.293	R\$ 320.267	R\$ 331.215
Receitas por hectare/ano	R\$ 12.660	R\$ 6.933	R\$ 12.124	R\$ 12.810	R\$ 10.676	R\$ 11.041
Saldo médio anual (R\$/ha/ano)	R\$ 8.268	R\$ 4.525	R\$ 7.192	R\$ 9.274	R\$ 8.443	R\$ 7.540

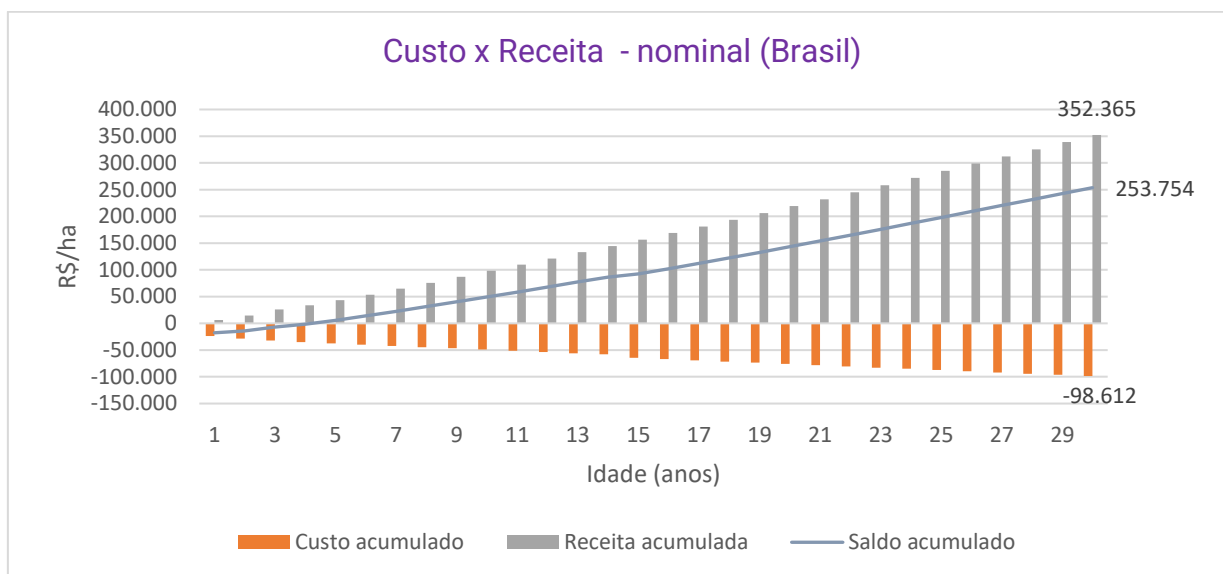


Figura 6. Relação entre custo e receita acumulada ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SAF

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas e cotações com fornecedores), produção e receitas (Conab, PAM - IBGE, 2021b - para lavouras, PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo).

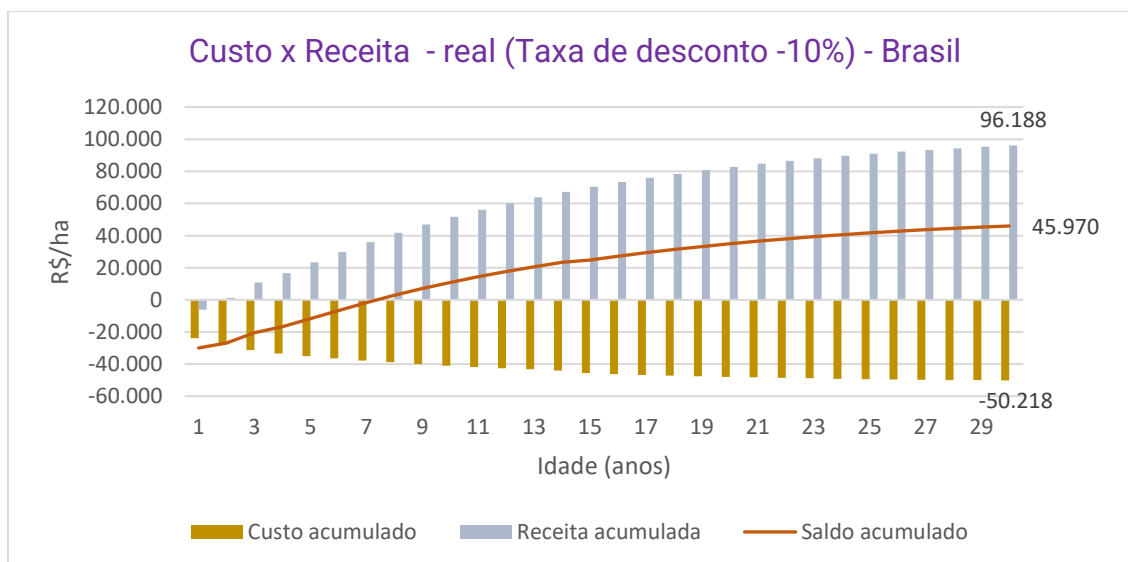


Figura 7. Relação entre custo e receita acumulada ao longo de 30 anos de projeto de restauração em SAF com taxa de desconto de 10%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em amplo levantamento, que incluiu custo da mão de obra (site salario.com acrescidos de encargos sociais e trabalhistas), máquinas e equipamentos (dados do CATI/ CDRS), materiais e insumos (Conab Insumos Agropecuários, Cepea-ESALQ/USP, sites de comercialização de produtos agrícolas e cotações com fornecedores), produção e receitas (Conab, PAM/IBGE de 2021 para lavouras, PEVS - IBGE, 2021a - para extrativismo).

Para os SAFs propostos, a média do investimento inicial até o terceiro ano da implantação foi de R\$ 30.431/ha. Os menores valores médios de implantação observados no Centro-Oeste ocorrem em virtude do uso de modelos de enriquecimento do Cerrado, que utiliza o plantio de baixa densidade de árvores (416 árvores/ha) e sem a utilização de entrelinhas com culturas de ciclo curto, por se considerar que são modelos destinados a locais com prévia existência da regeneração natural na área. Se comparada aos SPMs, a média do custo por hectare total dos SAFs ao longo de 30 anos é alta (R\$ 105 mil/ha) – e mais expressiva nos sistemas que tem o cacau ou o café como carro-chefe da produção. Isso ocorre em função da contínua atividade do manejo agroflorestral, que envolve práticas de condução do sistema, colheitas e beneficiamento dos produtos. As receitas totais por hectare obtidas ao final de 30 anos são bastante significativas (média de R\$ 331 mil/ha). Descontados os custos de implantação e manutenção desse valor, tem-se um saldo médio ao longo dos 30 anos de R\$ 7.540/ha/ano. Contudo, há grande variação em função dos modelos adotados. O retorno dos investimentos (*payback*) ocorre a curto ou a médio prazo devido às culturas anuais implantadas nas entrelinhas até o terceiro ano, assim como o início da produção das espécies carros-chefes logo nos primeiros anos. Quando se considera, por exemplo, a inserção de bananas, o retorno é ainda mais rápido. De modo geral, os investimentos são pagos entre o terceiro e sexto ano após a implantação.

d. Qual o investimento necessário para o alcance da meta da iNDC-Brasil 2015 (12 milhões de hectares)?

Considerando as premissas adotadas neste estudo, de alocação de diferentes métodos de restauração ecológica e econômica das áreas de proteção (APPs e Reservas Legais), bem como os valores dos custos individuais para cada método, foi feita uma estimativa dos investimentos necessários para a recomposição da vegetação, visando à adequação ambiental dos imóveis rurais do país, de modo a alcançar a meta de restauração/reflorestamento de 12 milhões de hectares, tal como proposto no iNDC-Brasil. Essa estimativa é apresentada na Tabela 16. Os Apêndices 7 e 8 apresentam os custos para a restauração das áreas de proteção, separadamente, para as diferentes macrorregiões e os diversos biomas.

Tabela 16. Estimativa do recurso financeiro necessário para o alcance da meta de recuperação florestal da iNDC-Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Sistema	Área de Preservação Permanente		Reserva Legal	Totais
	Pequeno imóvel rural	Médio e grande imóvel rural		
Restauração ecológica	R\$ 402.774.650	R\$ 121.765.892.647	R\$ 13.999.351.873	R\$ 136.168.019.171
Restauração econômica	R\$ 33.142.650.440	--	R\$ 58.740.771.049	R\$ 91.883.421.490
Total	R\$ 33.545.425.091	R\$ 121.765.892.647	R\$ 72.740.122.923	R\$ 228.051.440.660

O investimento total estimado para a recomposição dos 12 milhões de hectares ficou na ordem de R\$ 228,1 bilhões. A partir deste valor tem-se uma média de R\$ 19 mil para cada hectare de vegetação recomposta. A adequação ambiental nos médios e grandes imóveis rurais representam 85,3% do custo total, ou R\$ 194,5 bilhões, ao passo que pequenos imóveis, com a recomposição das APPs, quase que exclusivamente com sistemas agroflorestais, representam os 14,7% restantes dos custos estimados, ou R\$ 33,5 bilhões.

Do montante do investimento total, R\$ 136,2 bilhões estão relacionados aos custos para os sistemas de restauração ecológica. Outros R\$ 91,9 bilhões são custos iniciais estimados para os três primeiros anos de implantação dos sistemas de produção madeireira em Reserva Legal, dos médios e grandes imóveis rurais (R\$ 58,7 bilhões) e dos sistemas agroflorestais em APPs dos pequenos imóveis (R\$ 33,5 bilhões). Esses investimentos devem retornar em forma de receitas diretas pela comercialização dos produtos gerados em diferentes momentos pelos agricultores/produtores rurais, podendo ser considerados investimentos produtivos, como qualquer outro investimento rural.

Apesar de não contabilizada nenhuma receita para os métodos de restauração com finalidade estritamente ecológica, esta pode ocorrer por meio dos mecanismos de pagamentos por serviços ambientais, como é o caso da comercialização de créditos de carbono. Esse tipo de investimento já é realidade para algumas iniciativas de restauração realizadas no país, que vem se estruturando para a comercialização de crédito de carbono florestal oriundos de projetos de restauração ecológica. As expectativas para os próximos anos é que esses investimentos cresçam, diante da urgência de se criar meios efetivos para barrar os efeitos do aquecimento global. Sendo os custos totais estimados com a restauração ecológica neste estudo de R\$ 136,2 bilhões, para uma área de intervenção de 8,15 milhões de hectares, então, em média,

temos os custos especificamente para a restauração ecológica na ordem de R\$ 16,7 mil/ha. Ou seja, este seria o valor médio aproximado a ser pago pelos investidores em “projetos de carbono” para financiar a restauração ecológica no Brasil.

Sobre os valores dos investimentos totais apresentados, cabe ressaltar que as premissas adotadas no estudo para quantificar os custos da restauração em escala ampla consideraram: a distribuição dos métodos de restauração conforme o mapeamento do potencial real de regeneração natural observado em nível de paisagem; as melhores práticas e a quantidade de repetições das operações de implantação e manutenção, associadas a métodos de assegurar, de fato, o estabelecimento da vegetação nativa; o manejo agroflorestal ou florestal adequado para a produção dos sistemas de restauração com viés econômico; e o uso de mão de obra com emprego formal e salários adequados.

Frisa-se essas condições, pois é possível que custos menores sejam observados em algumas situações nas quais as condições locais das áreas a serem restauradas sejam mais favoráveis, necessitando de menor intensidade de intervenções, como: a não necessidade ou redução de operações de irrigação; a redução no número de repetições de controle da matocompetição; a ausência ou menor uso de corretivos e fertilizantes minerais ou compostos orgânicos; a possibilidade de realização em maior proporção de operações mecanizadas; e menores custos de maquinários e implementos agrícolas.

No entanto, a vivência da prática de restauração tem demonstrado que condições favoráveis para o desenvolvimento das atividades de restauração não é a regra, mas sim a exceção. Até porque terrenos em melhores condições nas propriedades são preferencialmente utilizados para o desenvolvimento das atividades fins da agropecuária, de modo que áreas de menor aptidão agrícola ou com impedimentos claros para essas atividades são as mais destinadas para comporem áreas de Reserva Legal. Adicionalmente, a imprevisibilidade de condições climáticas tem sido uma observação rotineira, com alterações nos períodos históricos de chuvas, umidade e temperatura nas diferentes regiões, bem como a ocorrência dos extremos cada vez mais constantes – em parte, como consequência das mudanças globais do clima.

Outro ponto em destaque é a questão da mão de obra dos trabalhadores diretamente envolvidos nas operações de campo. Este estudo considera que 86% das áreas dos projetos (APPs e RLs de médias e grandes propriedades) virão a contemplar trabalhadores com emprego formal enquadrados em regimes celetistas, com salários dignos e os mínimos direitos sociais e trabalhistas que devem ser assegurados aos profissionais, o que deve contribuir para a melhoria das condições de trabalho e de empregabilidade no país.

Deve-se considerar os ganhos indiretos gerados pela restauração da vegetação, especialmente pela promoção de serviços ecossistêmicos, com impactos positivos na conservação da água e do solo, na promoção da biodiversidade e na remoção de gases do efeito estufa, os quais podem ser mensurados e contabilizados para serem inseridos em mecanismos de pagamentos por serviços ambientais, sendo possível que ao menos parte dos custos da implantação dos sistemas de restauração ecológica seja financiado nessa modalidade.

Do total de áreas a serem restauradas, 3,7 milhões de hectares foram destinados à implantação de sistemas produtivos (1 milhão de hectares para SAFs e 2,7 milhões de hectares para SPMs). Estima-se que a receita líquida total desses sistemas, após 30 anos de sua implantação, seja da ordem de R\$ 777 bilhões, dos quais R\$ 260 bilhões providos pelos produtos dos SAFs e R\$ 517 bilhões pelos SPMs.

Em uma avaliação simplista, se considerarmos os investimentos de restauração no país como um negócio, observa-se que este seria um empreendimento economicamente viável, já que os ganhos superam os gastos. Obviamente não se pode simplificar essa condição caso a caso, para cada propriedade rural e suas especificidades com relação aos déficits de vegetação, mas esse resultado indica que a restauração pode ser um vetor de desenvolvimento socioambiental com positivo requinte econômico.

VI. DEMANDA DE MUDAS FLORESTAIS PARA O ATINGIMENTO DA META INDC-BRASIL

Com o intuito de quantificar a demanda por mudas florestais a partir da recomposição da vegetação nativa dos 12 milhões de hectares, foi estimada, para cada macrorregião, a quantidade média de mudas por hectare dos métodos de restauração ecológica e econômica (SPM e SAF), conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Demanda por mudas florestais, exóticas e nativas, nos diferentes modelos de restauração florestal para a recomposição de 12 milhões de hectares

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Macrorregião	Restauração florestal	Sistema de produção madeireira (SPM)	Sistema agroflorestal (SAF)	Totais por macrorregião
	Milhões de mudas			
Norte	433	329	41	803
Nordeste	433	491	319	1.243
Centro-Oeste	1.020	1.744	47	2.811
Sudeste	1.845	611	836	3.292
Sul	1.279	371	786	2.436
Totais por modelo	5.009	3.546	2.030	10.585

Ao todo, para a recomposição da vegetação nos 12 milhões de hectares, estima-se a necessidade de 10,5 bilhões de mudas, uma média de 882 mudas por hectare. As macrorregiões com maior demanda de mudas são coerentemente as que apresentam os maiores déficits de vegetação nas áreas de proteção e o mais baixo potencial de regeneração natural. O Sudeste lidera essa demanda, com 31%, seguido do Centro-Oeste (27%), Sul (23%), Nordeste (12%) e Norte (8%).

A maior quantidade de mudas se destina à restauração ecológica, que responde pela demanda de 5,0 bilhões de mudas, ou 47% da necessidade total estimada, e cuja composição de espécies é 100% de nativas. O SPM detém cerca de 34% da demanda total, ou 3,55 bilhões de mudas, sendo que aproximadamente 63% desse montante correspondem às espécies florestais nativas e os outros 37% às espécies florestais exóticas. Já os SAFs ficam com 19% da demanda total de mudas, sendo que as espécies nativas representam 29% desse montante. No geral, dos 10,5 bilhões de mudas necessárias para suprir a demanda da restauração nos 12 milhões de hectares, cerca de 72,2% – ou 7,6 bilhões de mudas – são de espécies nativas, segundo as premissas deste estudo.

Caso os 12 milhões de hectares fossem, de fato, implantados até 2030, como se previa na iNDC-Brasil, seriam necessários cerca de 1,3 bilhão de mudas por ano. No caso de se ter 20 anos para implementação dessa área total, considerando o tempo proposto para a regularização ambiental do PRA, tem-se a necessidade de produção de cerca de 529 milhões de mudas por ano para atender a demanda dos projetos.

Estudo trazendo o diagnóstico sobre a produção de mudas nativas em todo o país foi realizado em 2015 pelo Ipea (SILVA et al., 2015). O estudo abrangeu questões estruturais, técnicas e socioeconômicas, visando subsidiar o planejamento e o

direcionamento de políticas públicas para a regularização ambiental requerida pela Lei nº 12.651/2012. Como resultado, o estudo gerou uma lista de 1.276 viveiros, dos quais 29% se encontravam em São Paulo. Analisando a infraestrutura existente para a produção de mudas nativas à época, o estudo apontou que, do total de viveiros identificados, apenas 246 confirmaram a produção de espécies nativas. Mais uma vez São Paulo foi o que apresentou maior representatividade na análise, com cerca de 80 viveiros confirmando a produção de nativas. Dos viveiros entrevistados, 227 informaram suas capacidades máximas produtivas, que, somadas, alcançariam a produção de 142 milhões de mudas por ano, sendo que cerca da metade da capacidade produtiva (73,6 milhões) estava instalada na região Sudeste.

Apesar das dificuldades de se ter um levantamento preciso e algumas limitações da pesquisa realizada, os dados produzidos por esses autores demonstram uma disparidade de estabelecimentos que realizam a produção de mudas nas diferentes regiões do país. Nas regiões onde as iniciativas de restauração vêm ocorrendo a mais tempo e há um mercado de restauração florestal já estabelecido, a qualidade e a quantidade de mudas disponíveis são maiores e o preço das mudas menor, como no caso da região Sudeste. Nas regiões onde as ações de restauração são ainda incipientes, como no Norte do país, o número de viveiros e capacidade produtiva é baixo, necessitando de maior empenho para a estruturação dos empreendimentos para suprir minimamente a demanda da restauração que deverá ocorrer nos próximos anos.

Com relação à diversidade de mudas requeridas, deve-se considerar que os modelos econômicos foram propostos com base em exemplos de sistemas produtivos já existentes, os quais consideram em sua concepção as condições edafoclimáticas e socioeconômicas das diferentes regiões e, por isso, apresentam especificidades de arranjos espaciais e composição de espécies. Algumas das espécies compõem as cadeias produtivas já estabelecidas e, portanto, possuem tecnologia de produção de mudas reconhecida e com materiais genéticos melhorados para maior produtividade, especialmente das espécies carros-chefes dos SAFs, como cacau, açaí, cupuaçu, pupunha e erva-mate, além das culturas exóticas como café e citrus. Esse reconhecimento também ocorre para algumas das espécies de modelos madeireiros, como é o caso do eucalipto, da teca e do mogno-africano. Contudo, há lacunas tecnológicas para a maioria das espécies, especialmente as nativas, necessitando de pesquisas e sistematização da divulgação de conhecimentos gerados para otimizar a produção de materiais mais bem adaptados e produtivos, assim como seus usos nos sistemas multiespecíficos e multifuncionais, sejam para a produção madeireira ou para a produção de alimentos nos SAFs.

Nos métodos de restauração ecológica, os plantios são realizados considerando diferentes composições de espécies da flora nativa. Desse modo, cada região terá uma composição específica das espécies locais, que são agrupadas em grupos funcionais, de modo a facilitar a implementação das áreas segundo um modelo de restauração pré-definido. As espécies reconhecidas como pioneiras (ou de recobrimento) são utilizadas

nos modelos de restauração em alta densidade, mas representadas por pouca variedade. Já as espécies do grupo funcional das não pioneiras (ou de diversidade), são plantadas em baixa densidade, mas com maior variedade de espécies. Essas informações são importantes para o setor de produção de sementes e mudas nativas, considerando que os viveiros devem organizar sua produção de modo a atender a demanda dos projetos com mudas em quantidade, qualidade e diversidade requeridas por esses modelos.

É importante abordar a questão, pois atualmente a produção de mudas em viveiros é focada nas espécies de maior facilidade de produção, que são, em sua grande maioria, alocadas nos grupos das pioneiras, devido especialmente à alta disponibilidade de sementes e à facilidade de germinação deste grupo, sendo insuficiente com relação as espécies mais susceptíveis aos processos de extinção, que se concentram no grupo das não pioneiras. Nesse aspecto, o trabalho desenvolvido por Vidal (2019), sobre a produção de mudas no estado de São Paulo, traz um retrato da realidade. Dentre as 561 espécies nativas produzidas pelos viveiros no estado, o estudo apontou que apenas 35 espécies (6,4%) somam metade de todas as mudas disponíveis no período, enquanto a outra metade foi representada pelas demais 526 espécies (93,6%).

Como visto anteriormente, a capacidade de produção de mudas deverá ser praticamente triplicada para poder atender a demanda de restauração/reflorestamentos nos próximos anos. Apesar do desafio para se alcançar essa produção, a demanda deve ser vista como uma oportunidade para o estabelecimento de novos empreendimentos e o fortalecimento do setor de produção de sementes e mudas, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico em diferentes regiões do país, com a geração de emprego e renda nesse elo do mercado da restauração.

VII. BENEFÍCIOS GERADOS PELA IMPLEMENTAÇÃO DA META DE RESTAURAÇÃO DA INDC-BRASIL

a. Potencial de geração de emprego pelo setor de restauração florestal

A Tabela 18 apresenta a estimativa da quantidade de empregos gerados, considerando os diferentes métodos de restauração ecológica (florestal) analisados. Já a Tabela 19 apresenta a estimativa de empregos gerados pelos modelos econômicos de restauração, considerando a média obtida para os diferentes sistemas agroflorestais e de produção madeireira propostos neste estudo.

Tabela 18. Empregos diretos gerados (para cada 100 hectares) pelos projetos de restauração ecológica implantados pelos diferentes métodos aplicados no estudo

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Empregos gerados para cada 100 hectares	Condução regeneração natural	Condução + enriquecimento	Adensamento + enriquecimento	Área total – Plantio de mudas nativas		Área total – Plantio de sementes	
	Não mecanizado			Não mecanizado	Mecanizado	Não mecanizado	Mecanizado
Trabalhadores de campo (auxiliares e tratoristas)	6,8	12,1	19,1	34,2	22,6	16,7	10,7
Trabalhadores empregados na coordenação e na gestão de projetos	0,8	1,4	2,2	4,0	2,4	2,0	1,3
Total de empregos para cada 100 ha	7,6	13,5	21,3	38,2	25,0	18,7	12,0

Tabela 19. Estimativa da média de empregos diretos gerados (para cada 100 hectares) em projetos de restauração com viés econômico utilizando sistemas agroflorestais e sistema de produção madeireira

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Sistema de produção	1º ano	2º ano	3º ano	Total até 3º ano
Sistema agroflorestal	21,5	9,5	6,5	37,5
Sistema de produção madeireira	14,8	3,8	0,9	19,5

Observando a Tabela 18, nota-se um aumento na demanda de mão de obra à medida que se aumenta a complexidade operacional dos métodos de restauração ecológica, sendo o plantio de mudas em área total sem mecanização o método que mais requer o empenho de trabalhadores nas atividades operacionais, gerando 38 empregos diretos por ano para cada 100 hectares.

Para os métodos de plantio em área total, os projetos desenvolvidos com o uso de maquinário reduzem a demanda de mão de obra e conseqüente geração de emprego, passando de 38 para 25 empregos diretos/100 hectares nos plantios de mudas em área total – uma redução de cerca de um terço da quantidade gerada nos projetos que não contam com operações mecanizadas. O mesmo ocorre quando a mecanização é adotada nos projetos que se utilizam das técnicas de semeadura direta, passando de 19 para 12 empregos/100 hectares no caso de utilização de operações mecanizadas.

Para os modelos econômicos de sistemas agroflorestais e sistemas de produção madeireira, visando a uma comparação com a restauração ecológica, computou-se apenas os empregos gerados nos três primeiros anos dos projetos, que corresponde ao período de duração das intervenções dos projetos de restauração. Para os SPMs, a média foi de 19 empregos gerados para cada 100 hectares, com mínimas variações entre 18 e 20 empregos, enquanto para os SAFs a média de todos os modelos propostos foi de 37 empregos/100 hectares. Nos SAFs, a variação das estimativas de emprego é ampla em virtude dos diferentes arranjos produtivos, havendo desde modelos com geração de 23 empregos até modelos com geração de 66 empregos diretos dentro do período de 3 anos. Os maiores valores relacionam-se aos arranjos produtivos nos quais se tem plantios intensivos com alta densidade de plantas arbóreas, associados ao plantio de culturas anuais de entrelinhas e inúmeras repetições de manejo agroflorestal das culturas que compõem os sistemas já neste período inicial, como os plantios e os replantios das agrícolas e o manejo de condução e corte da banana.

A maior demanda de mão de obra e geração de emprego ocorre na fase inicial dos projetos, especialmente durante sua implantação. Após essa fase, com o sistema praticamente estabelecido após o terceiro ano, a demanda de operações se reduz e passa a se relacionar apenas ao manejo da biomassa (podas, desbastes), à condução das culturas (tratos fitossanitários, desbrotas, desramas, manutenção da fertilidade do solo, polinização induzida etc.) e aos procedimentos de colheita, beneficiamento, armazenamento e transporte.

A respeito, importante considerar que a geração de emprego pelos sistemas produtivos, especialmente dos SAFs, é contínua, com maior ou menor intensidade de demanda de mão de obra, dependendo do manejo florestal e agroflorestal requerido pelas culturas inseridas em cada um deles. Por exemplo, os SAFs que têm o cacau e o café como carro-chefe das espécies de produção, a demanda média ao longo dos anos é de cerca de 20 pessoas para cada 100 hectares desses sistemas, o que corresponde a se ter 1 emprego para cada 5 hectares destes SAFs.

A Tabela 20 apresenta o número potencial de empregos que poderão ser gerados, em nível nacional, com a implementação da meta iNDC, de 12 milhões de hectares de reflorestamento/recuperação florestal. Os dados associam os valores médios de empregos gerados pela restauração ecológica e econômica, presentes nas Tabelas 18 e 19, à proporção de utilização dos métodos de restauração propostos no Quadro 4 para as áreas de déficit de vegetação em APP e Reserva Legal (Tabela 8) dos imóveis rurais, de diferentes tamanhos e distribuídos nas cinco macrorregiões do país. Os Apêndices 7 e 8 detalham essa estimativa de geração de emprego nos 3 primeiros anos de estabelecimento dos sistemas, respectivamente, para as APPs e áreas de RL, por bioma nas macrorregiões, considerando a abordagem de distribuição dos métodos de restauração apresentadas neste estudo.

Tabela 20. Estimativa de geração de emprego para implementação das ações de restauração para alcance da meta iNDC-Brasil de 12 milhões de hectares de reflorestamento/recuperação florestal

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Região	Número de empregos totais			Empregos gerados por ano ao longo de 20 anos*
	APP	RL	Total APP + RL	
Centro-Oeste	243.683	295.796	539.478	26.974
Nordeste	342.828	123.061	465.888	23.294
Norte	114.764	87.276	202.040	10.102
Sudeste	651.444	136.828	788.273	39.414
Sul	425.637	79.876	505.513	25.276
Total 12 milhões de ha	1.778.356	722.836	2.501.192	125.060

* 20 anos é o prazo de implementação do PRA, conforme descrito no Código Florestal e normas específicas dos estados.

Nas estimativas de geração de emprego, o Sudeste do país apresentou o maior potencial de geração de empregos em frentes de trabalho na restauração florestal, com ações para o cumprimento da meta iNDC-Brasil – um total de 788,3 mil empregos, ou 39,4 mil empregos gerados por ano ao longo de 20 anos, caso a área de déficit seja restaurada anualmente na mesma proporção durante o período. Em seguida, aparece o Centro-Oeste, o Sul e o Nordeste, respectivamente, com 27,0 mil, 25,3 mil e 23,3 mil frentes de trabalho por ano durante 20 anos. A região Norte é a que apresenta o menor potencial de geração de emprego – 10,1 mil frentes de trabalho por ano –, representando 11,6% do total de empregos gerados com a restauração/reflorestamento para o cumprimento da meta iNDC-Brasil e a regularização ambiental com base na Lei nº 12.651/2012. Esse menor número de frentes de trabalho no Norte é influenciado pela menor quantidade de déficit de vegetação nesta macrorregião, como também pela maior aplicação de métodos que demandam menor emprego de mão de obra, já que a região apresenta proporções elevadas de área com bom potencial de regeneração natural.

No geral, estima-se um total de 2,5 milhões de empregos gerados no país para a implementação da meta INDC-Brasil. Se distribuídos equitativamente ao longo de 20 anos, período para a implementação dos PRA, isso representa uma geração de 125 mil empregos por ano em todo o Brasil durante o período – em média, 20,8 empregos por ano para cada 100 hectares restaurados; ou 0,2 emprego por hectare; ou 208 para 1.000 hectares.

Essa média é muito similar à apresentada por Calmon et al. (2011) em estudo realizado para a iniciativa Pacto da Mata Atlântica, no qual estimou a criação de 200 empregos diretos e indiretos por ano para cada 1.000 hectares de áreas em recuperação, envolvendo a coleta de sementes, produção de mudas, plantio e manutenção destes.

Já a estimativa de 0,21 empregos por hectare de restauração, é praticamente a metade da calculada por Brancalion et al. (2022), os quais propõem que cada hectare geraria 0,42 emprego, o equivalente a 42 empregos/100 hectares – diferença que pode estar associada ao método aplicado para tal quantificação.

A geração de 125 mil empregos por ano aqui calculada é coerente também com os valores estimados pelo Planaveg (BRASIL, 2017b), de criação entre 112 e 191 mil empregos por ano, com essa variação ocorrendo devido à proporção de aplicação dos diferentes métodos de restauração para os cenários propostos. No Planaveg, além dos trabalhadores envolvidos nas funções estritamente relacionadas à implantação e à manutenção das áreas e na assistência técnica e extensão rural, a estimativa de geração de emprego considera também os trabalhadores envolvidos em atividades de coleta de sementes e produção de mudas.

No estudo anterior realizado pelo Instituto Escolhas (KISHINAMI et al., 2016), a estimativa foi de 138 a 215 mil empregos por ano. Tal variação da estimativa de geração de emprego, com os dados atuais trazidos, ocorre pelo fato de este total anteriormente apresentado considerar uma projeção de implementação de áreas de forma progressiva, aumentando as ações de restauração a cada ano, sendo os valores mais altos atingidos na fase de massiva implementação dos projetos e no cenário do Planaveg com a maior intensificação da restauração, por meio do plantio em área total. Nesta modalidade, porém, tanto no estudo anterior do Instituto Escolhas como no do Planaveg, não foi considerado o plantio em área total via semeadura direta, a qual requer um número inferior de trabalhadores nas atividades operacionais quando comparada ao plantio de mudas.

No presente estudo, não foi considerado o emprego empenhado no processo de coleta de sementes e produção de mudas. Se inserida esta atividade na contabilização dos empregos gerais, são mais 390 mil empregos gerados para a implementação da meta iNDC-Brasil, considerando uma média de 1 emprego para cada 27 mil mudas produzidas (Silva et al., 2015), o que corresponde a cerca de 3,1 empregos a mais para cada 100 hectares restaurados.

Após a fase implementação, a depender do método de restauração¹⁹, há atividades de manejo agroflorestal nas APPs das pequenas propriedades da agricultura familiar após o período de implantação e estabelecimento dos SAFs - prevista para ocorrer até o terceiro ano. Prevê-se que ao longo dos 27 anos podem ser gerados 2,3 milhões de vagas de emprego no manejo de 1,02 milhão de hectares, com média de 86,1 mil empregos por ano.

Independentemente dessas diferenças, os números apresentados demonstram o potencial de geração de empregos em frentes de trabalho que as ações voltadas à restauração podem proporcionar – fato relevante para contribuir para o enfrentamento da questão de oportunidades de geração de frentes de trabalho, inclusive dos empregos formais celetistas que assegurem os mínimos direitos sociais e trabalhistas dos envolvidos nas iniciativas de restauração, representados por cerca 86% dos empregos estimados neste estudo, segundo as premissas adotadas (107 mil empregos anuais).

b. Potencial de remoção de carbono atmosférico com a meta iNDC-Brasil

A relevância dos projetos de restauração florestal é preponderante no atual cenário de emergência climática. Florestas são sistemas que armazenam altas quantidades de carbono em sua biomassa, acumulada por meio do processo de fotossíntese, no qual o dióxido de carbono (CO₂) é absorvido da atmosfera e sintetizado para virar compostos orgânicos que compõem as estruturas das plantas. Por isso, a conservação dos ecossistemas naturais, evitando a emissão de carbono, ou a restauração da vegetação, realizando a remoção desse carbono, é vista como uma das mais eficazes medidas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Os sistemas florestais possuem diferentes reservatórios de armazenamento de carbono, sendo o componente principal o da biomassa arbórea viva acima e abaixo do solo (tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e raízes). O potencial estoque de carbono nesses reservatórios foram aqui estimados visando demonstrar qual será a contribuição se a meta iNDC-Brasil de restauração/reflorestamento no Brasil for implementada.

Para isso, foram feitas estimativas do estoque de carbono promovidas pelos diferentes modelos de restauração, tanto para os de restauração ecológica (restauração passiva,

¹⁹ Somente os empregos em SAFs foram contabilizados ao longo de 30 anos. Na restauração ecológica, o sistema é considerado estabilizado após três anos, sem necessidade de manejo contínuo. Nos SPM, os procedimentos de colheita, beneficiamento, armazenamento e transporte não foram contabilizados pois o estudo levou em consideração a venda da madeira em pé.

condução da regeneração, condução + enriquecimento, enriquecimento + adensamento, plantio de mudas e semeadura direta) como para os de restauração econômica (modelos madeireiros e sistemas agroflorestais).

A Tabela 21 apresenta, para os diferentes biomas, as estimativas da média de carbono acima e abaixo do solo presente na biomassa das plantas nos sistemas de restauração ecológica, bem como a sua totalização em termos de carbono equivalente, com a implantação de 1 hectare desses sistemas. Já a Tabela 22 traz as estimativas de estoque de carbono na biomassa dos sistemas produtivos para cada macrorregião. Para os SAFs, considerou-se um valor médio do estoque potencial para os sistemas agroflorestais em cada bioma, variando de 120 tCO₂/ha para Caatinga, 150 tCO₂/ha para Cerrado e Pampa, 150 tCO₂/ha para Mata Atlântica e 240 tCO₂/ha para Amazônia. Estes valores médios foram adotados pelas dificuldades de se ter estimativas precisas para os diferentes modelos, já que estes recebem manejo diferenciado de condução de manejo, especialmente podas e desbastes. Para as estimativas de estoque por macrorregião os valores propostos para cada bioma foram ponderados em função da representatividade de suas áreas em cada macrorregião.

Tabela 21. Relação da média das estimativas de estoque potencial de carbono na biomassa das árvores acima e abaixo do solo, carbono total e o equivalente em CO₂ pela implementação dos modelos ecológicos de restauração florestal nos seis biomas brasileiros

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023, com base em Englund et al. (2017), IBGE, 2019 e IPCC (2003).

Biomás	Estimativas para restauração ecológica			
	Carbono acima do solo – parte aérea (tC/ha)	Carbono abaixo do solo –raiz (tC/ha)	Carbono total (tC/ha)	Total de CO ₂ e (tCO ₂ /ha)
Amazônia	105,6	25,3	131,0	480,2
Caatinga	36,1	8,7	44,8	164,2
Cerrado	41,6	10,0	51,6	189,1
Mata Atlântica	68,2	16,4	84,5	309,9
Pantanal	48,8	11,7	60,6	222,0
Pampa	21,0	5,0	26,0	95,5

Tabela 22. Relação das estimativas médias do estoque potencial de carbono acima e abaixo do solo, carbono total e CO₂e dos modelos de produção madeireiras propostos para as diferentes macrorregiões e para os sistemas agroflorestais

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023, com base em Englund et al. (2017), IBGE, 2019 e IPCC (2003).

Macrorregião	Número de modelos	Carbono acima do solo (tC/ha)	Carbono abaixo do solo (tC/ha)	Carbono total (tC/ha)	CO ₂ e (tCO ₂ /ha)
Sistemas de produção madeireira (SPMs)					
Centro-Oeste	6	104,7	25,1	129,9	497,5
Nordeste	5	127,0	30,5	157,5	577,5
Norte	13	140,1	33,6	173,7	660,0
Sudeste	10	94,8	22,7	117,5	451,6
Sul	4	105,4	25,3	130,7	479,3
Sistemas agroflorestais (SAFs)					
Centro-Oeste	3	37,1	11,7	48,9	179,2
Nordeste	3	31,4	9,9	41,3	151,4
Norte	5	41,8	13,2	55,0	201,7
Sudeste	4	37,3	11,8	49,0	179,7
Sul	2	38,9	12,3	51,2	187,6

A extrapolação para totalizar o estoque potencial de carbono ao longo de 30 anos, com a recomposição dos 12 milhões de hectares, foi feita por meio da multiplicação dos valores de CO₂ estimado por unidade de área (tCO₂/ha) pelas respectivas áreas (ha) destinadas à aplicação dos métodos de restauração proposto no estudo, apresentados na Tabelas 8 e 9 deste documento, resultando nos valores totais que apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Estoque potencial de CO₂e para cada método de restauração florestal alocados nas diferentes macrorregiões com a implementação da meta iNDC-Brasil de 12 milhões de hectares

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base em Englund et al. (2017), IBGE, 2019 e IPCC (2003).

Macrorregião	Estoque potencial de remoção de CO ₂ e (tCO ₂ /ha)			
	Restauração florestal	Modelos madeireiros	Sistemas agroflorestais (SAF)	Totais por região
Centro-Oeste	494.036.213	604.649.542	7.432.685	1.106.118.440
Nordeste	424.021.107	255.067.326	23.740.101	702.828.534
Norte	529.867.882	178.170.028	5.177.729	713.215.639
Sudeste	758.813.525	223.372.346	81.928.174	1.064.114.046
Sul	531.359.971	124.991.246	64.566.978	720.918.195
Totais por modelo	2.738.098.698	1.386.250.488	182.845.667	4.307.194.853

Estima-se que, com a implementação dos 12 milhões de hectares, segundo as premissas de distribuição dos modelos de restauração adotados no estudo, o potencial de remoção de gases de efeito estufa é de 4,3 bilhões de toneladas de CO₂e após 30 anos de implementação. Desse montante, os modelos de restauração ecológica contribuem com cerca de 63,6% das remoções, os sistemas de produção madeireira com 32,2%, e os sistemas agroflorestais com 4,2%. A média de estoque por hectare, considerando todos os métodos conjuntamente, é da ordem de 359 tCO₂.

As duas macrorregiões com maiores contribuições de estoques de CO₂ foram o Centro-Oeste, com 25,7%, e o Sudeste com 24,7%. Esse maior potencial de estoque de carbono está relacionado às maiores concentrações de áreas com déficits de vegetação nativa nestas regiões. O Centro-Oeste possui 22,5%, e o Sudeste 28%, do total de déficit de vegetação nativa. O maior acúmulo de carbono da macrorregião do Centro-Oeste foi ocasionado pela maior concentração de déficit em RL de médios e grandes imóveis rurais, bem como pelos maiores estoques de carbono, por hectare, dos modelos madeireiros, utilizados para a recomposição da vegetação de Reserva Legal, quando comparados aos modelos tradicionais de restauração ecológica e SAFs.

Apenas para comparação, a potencial remoção de 4,3 bilhões de toneladas CO₂ atmosférico representa cerca de duas vezes a média de emissões do país para os anos de 2020 e 2021, já que em 2020 se teve a emissão de 2,1 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa (GEE), com aumento em 12,3% em 2021, quando o Brasil contabilizou a emissão de 2,4 bilhões de toneladas, segundo dados apresentados pelo Observatório do Clima no relatório SEEG 10 (Potenza et al., 2023).

Considerando que muitas das ações de restauração florestal devem ocorrer em áreas de pastagem degradada, o balanço de emissões e remoções de GEE por essas iniciativas devem ser ainda mais positivas para a mitigação das mudanças climáticas, já que a principal fonte de emissões de carbono pelo solo no país é decorrente de áreas de pastagem degradadas. A implementação das ações de restauração no país alinha-se às metas traçadas no Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (ABC+), que, segundo Potenza et al. (2023), prevê a adoção de sistemas de produção sustentáveis, incluindo integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), SAF e florestas plantadas, em 72,68 milhões de hectares, com mitigação esperada de 1,11 bilhão de toneladas de CO₂e até 2030. Sem dúvida, a implementação de uma agenda progressiva de restauração florestal deverá contribuir expressivamente para as remoções líquidas no setor de uso da terra e florestas, que em 2021 registrou remoções devido ao crescimento da vegetação secundária de 277 milhões de tCO₂.

c. Potencial de produção de madeira

A volumetria dos sistemas de produção madeireira (SPMs) foi calculada conforme a projeção da produção estimada em cada modelo para cada espécie. Os volumes de madeira apresentados na Tabela 24 são referentes às médias de volume (m³/ha) dos modelos madeireiros dentro de cada macrorregião, extrapolados pelas respectivas áreas de destino, no caso, os déficits de vegetação nativa das Reservas Legais dos médios e grandes imóveis rurais. Esses valores correspondem à madeira em pé, ou seja, sem a contabilização das eventuais perdas de volume ocorridas durante a colheita e seu processamento.

Tabela 24. Volume (m³) dos diferentes produtos madeireiros geradas nos diferentes ciclos dos modelos dos sistemas de produção madeireira (SPMs) propostos*

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Produtos madeireiros	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
	Volume (m ³)				
Caixotaria/Serraria artesanal – nativa	2.886.254	5.796.792	7.975.803	7.130.098	2.139.011
Serraria – nativa	98.118.117	84.136.290	283.179.004	83.290.823	31.086.954
Processo – eucalipto	1.816.969	7.729.056	12.406.805	3.375.707	4.449.142
Serraria – eucalipto	12.215.220	51.961.336	83.409.181	36.263.622	29.910.946
Mourão – Teca	635.939	1.545.811	2.481.361	675.141	-
Serraria – Teca	9.675.812	23.519.516	37.753.909	10.272.276	-
Serraria – Mogno	5.645.581	13.723.017	22.028.410	3.872.965	-
Laminação – Paricá	5.045.981	-	-	-	-
Serraria – Araucária	-	-	-	-	15.074.932
Serraria – Acácia	-	-	22.014.599	-	-
Total	136.039.872	188.411.818	471.249.072	144.880.633	82.660.984
Total Brasil	1.023.242.379				

* Os valores correspondem às médias de volume (m³/ha) aplicados nos 2,68 milhões de hectares destinados aos SPMs (déficits de Reservas Legais dos médios e grandes imóveis rurais).

Ao todo, estima-se que a produção de madeira em pé, após a recuperação dos 2,68 milhões de hectares de áreas do déficit de vegetação em Reserva Legal de médios e grandes imóveis, implantados com sistemas de produção madeireira, seja de aproximadamente 1 bilhão de metros cúbicos. Na média, esse montante corresponde a 381 m³ de madeira em pé produzida por hectare ao longo de 30 anos, incluindo espécies nativas e exóticas propostas para a composição desses sistemas.

Caso os SPMs sejam de fato implementados nesses 2,68 milhões de hectares, a produção de madeira em pé anual seria de, aproximadamente, 34 milhões de metros cúbicos²⁰. Segundo os dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, PEVS (IBGE, 2021a) para os anos 2019, 2020 e 2021, a quantidade de madeira produzida foi de 31, 31 e 34 milhões de metros cúbicos²¹, respectivamente. Logo, percebe-se que a implementação de modelos madeireiros nas áreas de déficit de vegetação nativa em áreas de Reserva Legal de médio e grandes imóveis ao menos se igualaria à extração e

²⁰ O ciclo produtivo considerado nos SPMs foi de 30 anos.

²¹ Os produtos considerados foram lenha, madeira nativa em tora e pinheiro brasileiro (madeira em tora).

à produção média dos três últimos anos de análise do PEVS. Porém, com um diferencial importante: serão produtos advindos de florestas plantadas, o que deve contribuir para reduzir os impactos da exploração predatória realizada em florestas naturais, especialmente na região amazônica.

Nesse aspecto, os dados apresentados pelo Imazon (SISTEMA DE MONITORAMENTO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA - SIMEX 2022) apontam que 86% da extração madeireira no bioma foram realizadas de forma não autorizada durante o período de um ano de avaliação (de agosto/2020 a julho/2021), sendo que 41% ocorreram em imóveis privados e, o mais preocupante, 33% dessa extração não autorizada ocorreu em Terras Indígenas. Em termos de área, o Mato Grosso lidera o ranking de ilegalidade na extração, com mais de 70% de áreas com extração irregular. Esse estado é onde se observa o maior déficit de vegetação de Reserva Legal, pouco mais de um quinto do déficit total, sendo, portanto, a restauração com o viés de produção florestal nesse estado uma alternativa para regulamentar o setor madeireiro e frear a condição atual de extração ilegal e predatória.

d. Potencial de produção de alimentos

A produção potencial de alimentos foi calculada conforme a projeção da produção estimada em cada modelo de SAF proposto. A produção apresentada na Tabela 25 é referente à média de produção (toneladas) dos modelos SAF dentro de cada macrorregião, extrapoladas pelas respectivas áreas de destino, no caso os déficits de vegetação nativa das Áreas de Preservação Permanentes (APP) dos pequenos imóveis rurais, que consiste em, aproximadamente, 1 milhão de hectares.

A relação de produtos/alimentos produzidos pelos SAFs consiste numa diversidade de 42 itens. A título de comparação, as produções potenciais anuais estimadas na implementação dos SAFs foram comparadas com as produções anuais nacionais. As produções anuais foram derivadas tanto de dados obtidos a partir de lavouras, ou seja, áreas cultivadas, quanto de extrativismo, onde a coleta desses produtos provém de áreas naturais²². Dada a diversidade de produtos, boa parte dos que não são produzidos em larga escala de forma comercial, ou que são poucos explorados de forma extrativista, não foi possível obter a produção anual nacional para todos os produtos nas bases de dados pesquisadas (Tabela 25).

²² A produção anual (t/ha) de lavouras foi extraída da Produção Agropecuária, PAM (IBGE, 2021b). Já a produção anual (t/ha) de extrativismo foi obtida da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, PEVS (IBGE, 2021a).

Tabela 25. Relação da produção total e anual dos alimentos/produtos oriundos dos modelos dos sistemas agroflorestais propostos com a produção nacional anual e o percentual de aumento da produção com os SAFs propostos

Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com base na PEVS (IBGE, 2021a) e PAM (IBGE, 2021b).

Produtos	Produção total (t)	Produção anual (t/ano)	Produção nacional (t/ano) Lavoura	Produção nacional (t/ano) Extrativismo	Produção nacional total (t/ano)	Percentual de aumento em relação à produção nacional (%)
Abiu - frutos	345.285	15.695	-	-	-	-
Açaí-fruto	285.973	10.999	1.485.113	227.251	1.712.364	0,6
Açaí-palmito	12.689	552	-	-	-	-
Andiroba - sementes	36.586	1.829	-	-	-	-
Araticum - frutos	384.347	15.374	-	-	-	-
Araucária - pinhão	5.344.395	356.293	-	12.485	12.485	2853,8
Babaçu - amendoas	245.420	9.817	-	32.076	32.076	30,6
Bacuri - fruta/polpa	14.286	714	-	-	-	-
Banana da terra	824.418	274.806	-	-	-	-
Banana nanica	1.607.533	535.844	6.811.374	-	6.811.374	12,4
Banana prata	101.613	33.871	-	-	-	-
Baru - amêndoa	209.129	9.093	-	534.530	534.530	1,7
Buriti - frutos	2.201.988	122.333	-	473	473	25863,1
Cacau - nibis	2.238.915	82.923	302.157	-	302.157	27,4
Café - grãos	5.797.834	214.735	2.993.780	-	2.993.780	7,2
Cagaita - frutos	566.226	22.649	-	-	-	-
Cajamanga - fruto/polpa	3.118.872	129.953	-	-	-	-
Caju - castanha	1.036.504	39.866	111.103	1.769	112.872	35,3
Cambuci -frutos	1.640.958	65.638	-	-	-	-
Castanheira - amendoa	31.272	1.737	-	33.406	33.406	5,2
Citrus - frutos	45.270.085	1.676.670	18.799.744	-	18.799.744	8,9
Cumaru - amendoa	13.726	686	-	116	116	591,6
Cupuaçú - fruto/polpa	231.806	8.585	21.240	-	21.240	40,4
Erva Mate - folhas	30.651.879	1.226.075	557.987	506.134	1.064.121	115,2

Espinheira Santa - folhas	143.584	7.179	-	-	-	-
Feijão	959.408	319.803	2.899.864	-	2.899.864	11,0
Goiaba-serrana - frutos	508.526	19.559	-	-	-	-
Guariroba - palmito	102.950	4.476	-	-	-	-
Jaboticaba - frutos	235.204	9.408	3.751	-	3.751	250,8
Juçara(i) - frutos	139.456	6.063	-	-	-	-
Macaúba - fruto/polpa	1.233.256	51.386	-	-	-	-
Mandioca	15.662.091	5.220.697	18.098.115	-	18.098.115	28,8
Mangaba - fruto	350.316	14.013	-	2.173	2.173	644,9
Milho - grãos secos	839.482	279.827	88.461.943	-	88.461.943	0,3
Milho - verde	1.956.793	652.264	348.904	-	348.904	186,9
Murici - fruto/polpa	235.583	9.423	-	-	-	-
Noz pecã - castanha	1.020.403	42.517	6.215	-	6.215	684,1
Pequi - frutos	1.266.323	52.763	-	74.172	74.172	71,1
Pequiá - frutos	36.586	1.829	-	-	-	-
Pimenta-rosa - sementes	207.399	7.681	-	-	-	-
Pupunha - palmito	28.588.891	1.058.848	110.778	4.140	114.918	921,4
Taperaba fruto/polpa	105.002	4.375	-	-	-	-
Uvaia - frutos	255.374	9.822	-	-	-	-
TOTAL	156.058.367					

*"Cítricos" foi considerado como laranja, limão e tangerina; **Produção nacional equivale ao fruto; 1 espiga corresponde a 178g de milho.

A produção total de alimentos com a implementação dos SAFs, em cerca de 1 milhão de hectares, é de 156 milhões de toneladas de alimentos, dos quais 22 milhões são de culturas de ciclo curto produzido nos três primeiros anos de implantação dos SAFs, como mandioca, milho, feijão e banana. Essa produção total representa uma média de 5,2 milhões de toneladas de alimentos por ano, que devem ampliar a oferta em quantidade e diversidade de alimentos na mesa da população brasileira.

Percebe-se que, com a implementação dos SAFs, conforme os modelos propostos, a produção anual potencial de certos produtos supera a produção anual nacional informada pelos órgãos oficiais, como é o caso de oito dos produtos listados: pinhão da araucária, frutos do buriti, amêndoas do cumaru, fruto de jaboticaba, frutos de mangaba, milho verde, castanhas de noz-pecã e palmitos de pupunha.

Sem a contabilização dos oito produtos mencionados acima, que superaram a produção nacional (valores >100%), a participação média relativa à produção anual nacional dos 15 produtos com informação disponível foi de 19,5%. Isso significa dizer que, na média, a produção potencial anual oriunda da implantação dos SAF nas áreas das pequenas posses e propriedade rural pode colaborar com cerca de um quinto da produção anual nacional desses alimentos, variando de 0,3% a 96% a depender do produto.

A comparação para cada produto é importante para se ter conhecimento do impacto que a produção deles pode ter no mercado. Ampliar a oferta de alimentos nas diferentes regiões do país é um meio de contribuir para o aumento da disponibilidade e da diversidade de alimentos para a população. Essa produção, com venda assegurada pela política de preço mínimo da Conab e pela organização de seu escoamento e venda, é algo positivo para o fortalecimento das cadeias produtivas. Orienta também os produtores de determinada região em definir quais as espécies mais promissoras para cultivo nos SAF, que terão maior ou menor probabilidade de inserção de seus produtos no mercado.

Muitas das espécies recomendadas nos plantios são produtos da sociobiodiversidade, em sua maioria com um mercado potencial de expansão para além das fronteiras das áreas de produção – caso seja melhor divulgado seu uso alimentício e culinário e tenha boa aceitação pelos consumidores, a exemplo do açaí, que era pouco conhecido fora da região Norte, mas conquistou o mercado durante o início dos anos 2000 e, atualmente, tem um volume de produção/comercialização cerca de três vezes maior que naquele período.

Outro ponto a se destacar é o fato de os modelos construídos considerarem apenas uma pequena parcela da vasta variedade de espécies alimentícias possíveis de serem inseridas nos SAFs. Nesse sentido, outras espécies com características funcionais similares podem ser usadas conjuntamente ou em substituição às espécies propostas nos modelos, como forma de ampliar ainda mais a diversidade de culturas produzidas nesses sistemas.

Enfim, vê-se claramente que a implementação de SAF como método para a recomposição de APPs nas pequenas propriedades, além de seu adequado manejo agroflorestal segundo as premissas legais, pode ser uma alternativa que colabora para o alcance de múltiplos objetivos, promovendo serviços ecossistêmicos e gerando trabalho e renda com a produção de alimentos saudáveis, ajudando também a erradicar fome no país.

7.

Considerações finais

As informações de catástrofes ambientais em decorrência das mudanças climáticas têm sido recorrentes a cada dia, reafirmando as previsões com relação aos efeitos do aquecimento global sob o equilíbrio climático do planeta, apontadas pela comunidade científica nos relatórios do IPCC. Passados mais de 40 anos desde o início do funcionamento da convenção mundial sobre mudanças climáticas, observamos que as medidas efetivamente adotadas pelos países signatários da convenção para o enfrentamento da crise são ainda tímidas perante a magnitude das ações necessárias para o alcance da meta de redução de emissões ou de remoção dos gases do efeito estufa.

Neste momento, encontramos-nos em estado de emergência, visto que já nos deparamos com pontos de inflexão do sistema climático a partir do qual os eventos decorrentes do aquecimento global devem ganhar ainda mais força por meio de um processo de retroalimentação, por isso, a urgência de se cumprir rigorosamente com os compromissos assumidos na convenção.

A meta brasileira descrita em sua iNDC, de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares até 2030, é uma das quais o país deverá dar maior atenção, já que pouco se fez até então para o seu atingimento. Pelo contrário, conforme apresentado neste estudo, as iniciativas de restauração no país avançam a passos lentos e muito aquém do necessário para o alcance da meta. Em parte, isso se deve à morosidade na implementação dos instrumentos regulatórios que poderiam estar ajudando com esse impulsionamento, como é o caso do Programa de Regularização Ambiental previsto na Lei nº 12.651/2012, que permanece ainda sem um direcionamento efetivo de implementação e que teve seu prazo de adesão postergado mais uma vez recentemente. Mas também as políticas e os incentivos para que essa alavancagem

ocorresse retrocederam na última gestão. No momento, espera-se que o país volte a discutir com responsabilidade esta agenda ambiental para consolidar mecanismos de implementação da restauração na escala requerida para o alcance da meta em curto tempo.

Nesse sentido, este estudo pode trazer contribuições para o direcionamento das iniciativas. Para se reflorestar ou restaurar florestas é preciso planejamento financeiro: saber com maior precisão o montante do investimento necessário para a execução das ações de restauração. Os valores monetários atuais necessários para investimento na adequação ambiental da paisagem rural brasileira foram aqui estimados, sendo apontados custos médios tanto dos métodos de restauração estritamente ecológica como dos modelos de restauração com viés econômico. Observou-se que os valores totais requeridos para a restauração dos 12 milhões de hectares são altos, na ordem de R\$ 228 bilhões, contudo, um investimento mais que necessário para contribuir com a mitigação climática, como também com outros serviços ecossistêmicos essenciais à sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros, com a promoção da biodiversidade e a manutenção de recursos hídricos, do solo e dos processos ecológicos, que asseguram a estabilidade ambiental para o desenvolvimento das atividades produtivas no campo.

Esse valor atual se diferencia com relação ao estudo anterior realizado pelo Instituto Escolhas em 2016 (KISHINAMI, 2016) em função da correção monetária no período, mas especialmente pela projeção da necessidade de maior utilização de métodos de restauração ecológica com plantios de espécies nativas em área total e os modelos econômicos de sistemas produtivos – sistemas agroflorestais e sistemas de produção madeireira. No entanto, esses modelos econômicos são investimentos que visam retorno financeiro e possuem performance positiva na análise econômica, com potencial de gerar uma receita líquida total de R\$ 776,5 bilhões com a comercialização dos produtos oriundos das áreas restauradas em um horizonte de tempo de 30 anos.

Então, nota-se que, além de olhar para o ônus, é preciso identificar os benefícios gerados com o impulsionamento da restauração florestal em escala. Assim, a oportunidade de realizar a recomposição da vegetação das áreas de proteção com esses modelos econômicos traz benefícios múltiplos: além da regularização ambiental para a conformidade com a legislação vigente e os benefícios ambientais devido à promoção de serviços ecossistêmicos, este são potenciais para a geração de renda com a comercialização de sua produção, aumentando a disponibilidade de alimentos e de produtos madeireiros e não madeireiros, de modo a ampliar a oferta desses produtos no mercado, o que contribui para suprir a demanda existente e também possibilita fortalecer o desenvolvimento de cadeias produtivas já existentes ou a criação de novas.

Essa estratégia, com benefícios em cadeia, pode ser um diferencial para ajudar a alavancar o mercado agroflorestal e florestal, com a geração de novos conhecimentos e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às diferentes formas de trabalho com a terra e às características socioeconômicas das regiões, seja no desenvolvimento de tecnologias populares para aumentar a escala da produção agroecológica em sistemas agroflorestais, seja no impulsionamento da silvicultura de espécies nativas tropicais desenvolvida nas médias e grandes unidades produtivas.

Outro ponto relevante é a criação de emprego e renda, contribuindo para minimizar a pobreza e melhorar as condições de bem-estar de um número significativo de pessoas. Estimou-se que a implementação dos 12 milhões de hectares deve gerar 2,5 milhões frentes de trabalho somente na implementação, manutenção e manejo pelos 3 primeiros anos, chegando a 2,9 milhões se também considerada a produção de sementes e mudas. Além disso, as atividades de manejo agroflorestal dos SAFs são capazes de manter cerca de 70 mil empregos diretos contínuos empenhados nestas atividades. Na geração de riquezas, para além dos bens imensuráveis com o reestabelecimento das florestas e sua conservação, estimou-se o potencial de remoção e estoque de 4,3 bilhões de toneladas de carbono equivalentes após 30 anos de implantação das áreas. Com a implantação de sistemas agroflorestais nas pequenas propriedades, estimou-se a produção potencial de 156 milhões de toneladas de alimentos. Com a implantação de sistemas de produção madeireira em áreas de Reserva Legal das médias e grandes propriedades, a estimativa foi de produção de 1 bilhão de metros cúbicos de madeira.

Portanto, instituir mecanismos para a realização de ações de restauração florestal em ampla escala no Brasil é um meio de restituir o capital natural por meio da formação da oferta de bens e serviços providos por esses ecossistemas, os quais podem direcionar o país rumo ao caminho de um novo paradigma de desenvolvimento econômico, no qual a produção estará alinhada ao bem-estar social.

Referências bibliográficas

- ARCO-VERDE, M.; SCHWENGBER, D. R.** Avaliação silvicultural de espécies florestais no estado de Roraima. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 59-63, 2003.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S.** Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. *IF Série Registros*, n. 44, p. 1-38, 2011.
- ARONSON, J.** et al. Ecological restoration: a new frontier for conservation and economics. *Journal for Nature Conservation*, v. 14, p. 135-39, 2006.
- BENINI, R. M.** et al. Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil. In: BENINI, R. M.; ADEODATO, S. (orgs.) *Economia da restauração florestal*. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. 136 p.
- BRANCALION, P. H. S.** et al. Ecosystem restoration job creation potential in Brazil. *People and Nature*, v. 4, n. 6, p. 1426-34, 2022.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R.** Fase 3: Restauração baseada na sucessão determinística, buscando reproduzir uma floresta definida como modelo. In: Rodrigues, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (eds.). *Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009, p. 24-30.
- BRASIL.** *Regularização Ambiental* – Boletim Informativo: Dados declarados até março de 2023. Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas – Serviço Florestal Brasileiro, 2023, 35p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/boletim-informativo-car/72BoletimInformativoMarode20231.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023
- BRASIL.** *Potencial de Regeneração Natural da vegetação no Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), World Resources Institute (WRI Brasil), 2017a.
- BRASIL.** Ministério do Meio Ambiente. *Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa* / Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação. – Brasília, DF: MMA, 2017b. 73 p.
- BRASIL.** *Intended Nationally Determined Contribution (iNDC): Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Brasília: República Federativa do Brasil, 2015.
- BRIENZA JUNIOR, S.** et al. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. Embrapa Amazônia Oriental. *ALICE*, 2010.
- CALMON, M.** et al. Emerging threats and opportunities for large-scale ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. *Restoration Ecology*, v. 19, n. 2, p. 154-8, 2011.

- CARVALHO, P. E. R.** *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 5. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014.
- CARVALHO, P. E. R.** *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 4. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.
- CARVALHO, P. E. R.** *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 3. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- CARVALHO, P. E. R.** *Espécies arbóreas brasileiras*. v.2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.
- CARVALHO, P. E. R.** *Espécies arbóreas brasileiras*. v. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (CSR/UFMG); LABORATÓRIO DE GESTÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS (LAGESA/UFMG).** *Boletim Informativo do Balanço do Código Florestal*. CSR e Lagesa, v. 1, 2022.
- DURIGAN, G.** Bases e diretrizes para a restauração da vegetação de Cerrado. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (orgs.). *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. Botucatu: Fepaf, p. 185-204, 2003.
- ENGLUND, O.** et al. A new high-resolution nationwide aboveground carbon map for Brazil. *Geo: Geography and Environment*, v. 4, n. 2, p. e00045, 2017.
- EMBRAPA.** *Metodologia para Análise de Dados Florestais*. Colombo, PR: Embrapa Florestas/ Associação Paranaense das Empresas de Base Florestal (Apre), 2022. Softwares florestais. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/software-florestais>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V, C.; STAPÉ, J. L.** *Eucalyptus no Brasil: Zoneamento climático e guia para identificação*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), 2016.
- GOFC-GOLD.** A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. *GOFC-GOLD Report version COP22-1*. The Netherlands: GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, 2016. Disponível em: http://www.gofcgold.wur.nl/redd/sourcebook/GOFC-GOLD_Sourcebook.pdf. Acesso em: 24 ago. 2023.
- GUIDOTTI, V.; MELLO, K. DE; PINTO, L. F. GUEDES; BRITES, A.; TAVARES, P. A., FERNANDES, R. B.; CHAMMA, A. L. S.; FRANZOZI, A. A.; GIUDICE, R. DEL; ROSA, M., SPAROVEK, G.** O Código Florestal na Mata Atlântica. *Sustentabilidade em Debate*, n. 11, 2021.
- GUIDOTTI, V.; FREITAS, F. L.; SPAROVEK, G.; PINTO, L. F. G.; HAMAMURA, C.; CARVALHO, T.; e CERIGNONI, F.** Números detalhados do Novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs. *Sustentabilidade em Debate* n. 5, p. 1-11. 2017.

- GUSSON, E.** *Avaliação de métodos para a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.
- HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; ANDRADE, C. M.** Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Serra do Sudeste do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 3, p. 247-56, 2007.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE).** *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (EDS.). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2006, v. 4. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf. Acesso em: 24 ago. 2023.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DA ÁRVORE (IBÁ).** *Relatório Anual 2022*. Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** *Biomass brasileiros*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** *Produção da extração vegetal e da silvicultura (PEVS)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** *Produção Agropecuária (PAM)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.** Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp, 2000, p. 249-69.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.** Restauração e conservação de ecossistemas tropicais. In: CULLEN JR., L.C.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. *Métodos de estudo em Biologia da Conservação & Manejo da Vida Silvestre*. Curitiba: Ed. UFPR, 2004, p. 383-94.
- KISHINAMI, R.** et al. *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de florestas?* Relatório técnico. Instituto Escolhas, 2016, 126p.
- LOPES, C. L.; MACHADO, L. A.; CHIAVARI, J.** *Impactos das controvérsias jurídicas na implementação do Código Florestal*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2022.
- CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A.** (eds.). *Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011, 934p.

- NUNES, M. H.** *Stem profile modeling in Cerrado and tropical forests formations in Brazil*. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- PIASSETTA, R. R. L.** et al. Legislação restritiva referente ao uso de agrotóxicos em municípios do estado do Paraná. *BIOFIX Scientific Journal*, n. 6, v. 1, 2021, p. 75-83.
- POTENZA, R. F.** et al. Análise das emissões de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021. Relatório técnico. *Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)*, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- RAJÃO, R.** et al. The Rotten apples of Brazil's agribusiness. *Science*, v. 369, 2020, p. 246-8.
- RÉ, Danilo S.** *Euações volumétricas e produção de madeira em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 57p, 2011.
- ROLIM, S. G.; PIOTTO, D.** *Silviculture and Wood Properties of Native Species of the Atlantic Forest of Brazil*. Belo Horizonte: Ed. Rupestre, 2019.
- ROLIM, S. G.** et al. *Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil*. Working paper. São Paulo: WRI Brasil, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/af_wri_workingpaper_researchgapsilviculture_portugues_web.pdf.
- SCUDELLER, V. V.; MARTINS, F. R.; SHEPHERD, G. J.** Distribution and abundance of arboreal species in the Atlantic ombrophilous dense forest in Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, v. 152, p. 185-99, 2001.
- SILVA, A. P. M.** et al. *Diagnóstico da Produção de Mudanças Florestais Nativas no Brasil-Relatório de Pesquisa*. Brasília: Instituto Nacional de Pesquisa Econômica Aplicada, 2015, 58 p.
- SOARES-FILHO, B.** et al. Cracking Brazil's forest code. *Science*, n. 344, v. 6.182, p. 363-4, 2014.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL (SER).** *The SER primer on ecological restoration.*, 2004. Disponível em: <http://www.ser.org>. Acesso em: 29 maio 2023.
- SISTEMA DE MONITORAMENTO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA (SIMEX):** *Mapeamento da exploração madeireira no Amazonas – Agosto de 2020 a Julho de 2021*. Belém: Imazon, Idesam, Imaflora e ICV, 2022. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/sistema-de-monitoramento-da-exploracao-madeireira-simex-mapeamento-da-exploracao-madeireira-no-amazonas-agosto-2020-a-julho-2021/>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- SOUZA, C. R.** et al. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008.

- SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; KLUG, I.; BERNDES, G.** Considerações sobre o Código Florestal brasileiro. *Texto: Código Florestal, AgLUE*, 2010.
- SPAROVEK, G.** et al. The revision of the Brazilian forest act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation?. *Environmental Science and Policy*, Nova York, v. 16, p. 65-72, 2012.
- STRASSBURG, B. B. N.** et al. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nature Ecology & Evolution*, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2019.
- TONINI, H.; OLIVEIRA JUNIOR, M. M. C.; SCHWENGBER, D.** Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. *Ciência Florestal*, v. 18, n. 2, p. 151-8, 2008.
- VIDAL, C. Y.** *Restauração da diversidade: os viveiros do estado de São Paulo.* (Tese) – Universidade de São Paulo. Piracicaba: USP/Esalq, 2019. 84 p. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/capa.asp?pi=publicacoes&id=8>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Apêndices

Apêndice 1. Quadro das bases de dados utilizadas nas análises espaciais

Dados	Descrição	Fonte
Déficit de vegetação nativa	Estudo que quantificou o déficit de vegetação nativa dos imóveis e posses rurais no Brasil segundo a Lei Federal nº 12.651, de 2012.	Guidotti et al. (2017)
Áreas de Preservação Permanente (APP)	<p>Compilado das APP hídricas (nascentes, rios, rios duplos, e massas d'água) com larguras estipuladas conforme o art. 4º da Lei Federal nº 12.651, de 2012:</p> <p>Nascentes = 50 m</p> <p>Massa d'água natural até 20 ha, em zona rural = 50 m</p> <p>Massa d'água >20 ha, em zona rural = 100 m</p> <p>Massa d'água natural, em zona urbana = 30 m</p> <p>Reservatório artificial, em curso d'água e zona rural = 30 m</p> <p>Reservatório artificial, em curso d'água e zona urbana = 30 m</p> <p>Reservatório artificial, fora de curso d'água = isento</p> <p>Rios com largura < 10 m = 30 m</p> <p>Rios com largura entre 10 e 50 m = 50 m</p> <p>Rios com largura entre 50 e 200 m = 100 m</p> <p>Rios com largura entre 200 e 600 m = 200 m</p> <p>Rios com largura >600 m = 500 m</p>	Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2013)
Potencial de regeneração	<p>As classes de potencial de regeneração natural são classificadas em baixa, média e alta. Esses dados foram extraídos do estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente, em parceria com o WRI-Brasil, no ano de 2017.</p> <p>Nesse estudo, cada bioma teve o seu critério de classificação segundo opiniões de diversos especialistas. Para o presente estudo, os dados dos diferentes biomas foram compilados em um único dado.</p>	Brasil (2017a)
Vegetação nativa	O dado relacionado à vegetação nativa foi extraído do mapa de cobertura e uso do solo do Mapbiomas, coleção 7, do ano de 2021. As classes consideradas como vegetação nativa foram as seguintes: formação florestal, formação savânica, mangue, restinga arborizada, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, apicum, restinga herbácea e outras formações não florestais.	Mapbiomas (2021)
Áreas antropizadas	O dado relacionado às áreas antropizadas foi o negativo do dado de vegetação nativa mencionado acima. Ou seja, todas as classes que não foram consideradas como vegetação nativa.	Mapbiomas (2021)
Biomassas e regiões	Limites dos seis biomas e das cinco regiões do Brasil.	IBGE (2019)

Apêndice 2. Relação dos déficits totais de vegetação nativa de cada estado e bioma dentro de APP e Reserva Legal (adaptado de Guidotti et al., 2017)

Estados	Bioma	Déficit APP (ha)	Déficit RL (ha)	Déficit total (ha)
Acre	Amazônia	27.668	40.814	68.482
Alagoas	Caatinga	18.248	6.512	24.760
	Mata Atlântica	37.993	67.917	105.910
Amazonas	Amazônia	20.292	15.253	35.545
Amapá	Amazônia	983	51	1.034
Bahia	Caatinga	321.051	120.575	441.626
	Cerrado	66.640	165.200	231.840
	Mata Atlântica	388.086	602.051	990.138
Ceará	Caatinga	135.079	12.661	147.740
Distrito Federal	Cerrado	4.073	3.035	7.108
Espírito Santo	Mata Atlântica	218.093	77.154	295.247
Goiás	Cerrado	416.332	1.028.759	1.445.091
	Mata Atlântica	19.094	82.083	101.177
Maranhão	Amazônia	50.189	279.579	329.768
	Cerrado	81.184	252.069	333.253
Minas Gerais	Caatinga	9.383	16.005	25.388
	Cerrado	581.317	493.842	1.075.159
	Mata Atlântica	932.813	324.375	1.257.187
Mato Grosso do Sul	Cerrado	138.465	555.353	693.818
	Mata Atlântica	37.249	182.959	220.208
	Pantanal	9.816	6.100	15.916
Mato Grosso	Amazônia	304.032	1.321.372	1.625.404
	Cerrado	159.364	1.022.323	1.181.687
	Pantanal	17.337	26.757	44.094
Pará	Amazônia	426.207	898.852	1.325.059
Paraíba	Caatinga	50.094	16.842	66.935
	Mata Atlântica	16.217	25.807	42.023
Pernambuco	Caatinga	41.617	12.750	54.367

Estados	Bioma	Déficit APP (ha)	Déficit RL (ha)	Déficit total (ha)
	Mata Atlântica	60.992	55.827	116.819
Piauí	Caatinga	59.979	21.089	81.068
	Cerrado	24.270	35.834	60.104
Paraná	Cerrado	14.303	3.625	17.928
	Mata Atlântica	1.234.875	421.749	1.656.624
Rio de Janeiro	Mata Atlântica	111.887	75.485	187.372
Rio Grande do Norte	Caatinga	88.210	20.253	108.462
	Mata Atlântica	5.548	12.204	17.752
Rondônia	Amazônia	71.652	354.748	426.400
Roraima	Amazônia	8.634	2.371	11.005
Rio Grande do Sul	Mata Atlântica	208.359	205.627	413.985
	Pampa	301.742	449.542	751.284
Santa Catarina	Mata Atlântica	169.516	87.985	257.501
Sergipe	Caatinga	21.102	9.230	30.332
	Mata Atlântica	42.307	28.502	70.808
São Paulo	Cerrado	233.555	405.805	639.360
	Mata Atlântica	564.260	486.962	1.051.223
Tocantins	Amazônia	59.574	176.076	235.649
	Cerrado	123.728	242.438	366.166

Apêndice 3. Distribuição dos déficits de vegetação nativa, em APP e RL de pequenos imóveis rurais, nas suas respectivas classes de potencial de regeneração natural [gerado com base na concatenação dos estudos Guidotti et al. (2017) e Brasil; MMA & WRI (2017)]

7.	Bioma	Pequeno imóvel rural							
		Número de imóveis	Déficit Reserva Legal (ha)	Déficit APP (ha)	Número de imóveis com déficit	Área imóvel com déficit (ha)	Potencial de regeneração em APP (ha)		
							Baixo	Médio	Alto
Centro-Oeste	Amazônia	53.077	0	18.146	12.603	1.196.521	7.027	5.612	5.506
	Cerrado	194.596	0	26.661	34.355	1.403.618	24.834	1.827	0
	Mata Atlântica	19.174	0	1.595	2.226	85.275	1.536	3	56
	Pantanal	15.971	0	1.308	850	64.907	633	0	675
Nordeste	Amazônia	21.277	0	4.781	4.042	356.466	3.583	47	1.151
	Caatinga	1.123.562	0	112.257	157.824	5.041.384	46.606	31.640	34.011
	Cerrado	187.375	0	18.954	23.814	1.158.775	13.721	5.233	0
	Mata Atlântica	261.572	0	59.264	87.061	2.058.039	40.314	15.666	3.284
Norte	Amazônia	254.550	0	35.866	31.457	2.326.087	11.904	2.836	21.126
	Cerrado	90.532	0	10.935	8.077	573.509	9.917	1.018	0
Sudeste	Caatinga	7.935	0	1.584	2.347	94.004	645	679	260
	Cerrado	494.081	0	114.632	145.358	4.355.963	108.767	5.865	0
	Mata Atlântica	1.120.738	0	380.812	495.304	10.820.447	176.842	163.024	40.946
Sul	Cerrado	865	0	1.034	709	14.657	897	137	0
	Mata Atlântica	1.551.654	0	351.501	573.261	8.825.899	264.267	58.990	28.244
	Pampa	174.457	0	27.247	34.315	805.521	9.000	10.953	7.294

Apêndice 4. Distribuição dos déficits de vegetação nativa, em APP e RL médios imóveis rurais, nas suas respectivas classes de potencial de regeneração natural [gerado com base na concatenação dos estudos Guidotti et al. (2017) e MMA & WRI (Brasil, 2017a)]

Região	Bioma	Médio imóvel rural										
		Número de imóveis	Déficit Reserva Legal (ha)	Déficit APP (ha)	Número de imóveis com déficit	Área imóvel com déficit (ha)	Potencial de regeneração em APP (ha)			Potencial de regeneração em RL (ha)		
							Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Centro-Oeste	Amazônia	8.192	516.266	47.421	4.920	3.709.131	18.364	14.667	14.390	199.926	159.678	156.662
	Cerrado	38.837	889.518	138.797	27.588	10.888.707	129.286	9.511	0	828.564	60.954	0
	Mata Atlântica	3.013	73.527	9.145	2.473	767.393	8.807	17	321	70.808	140	2.579
	Pantanal	1.957	17.374	6.136	643	473.537	2.971	0	3.165	8.412	0	8.962
Nordeste	Amazônia	1.557	129.552	7.649	1.180	603.417	5.732	75	1.842	97.083	1.278	31.192
	Caatinga	45.940	125.218	196.621	21.224	8.730.887	81.631	55.418	59.571	51.987	35.293	37.938
	Cerrado	15.924	230.732	36.066	5.755	3.195.084	26.109	9.957	0	167.031	63.701	0
	Mata Atlântica	17.433	316.135	129.846	16.026	3.331.431	88.328	34.324	7.195	215.051	83.568	17.516
Norte	Amazônia	19.638	571.694	101.060	9.068	5.490.824	33.541	7.991	59.528	189.741	45.205	336.749
	Cerrado	9.853	139.494	36.705	4.281	3.026.126	33.287	3.419	0	126.502	12.992	0
Sudeste	Caatinga	269	5.910	1.872	217	105.206	762	803	307	2.406	2.534	971
	Cerrado	45.419	425.771	257.220	38.228	8.759.369	244.060	13.160	0	403.987	21.784	0
	Mata Atlântica	65.954	467.054	574.359	59.181	10.322.870	266.722	245.880	61.757	216.891	199.944	50.219
Sul	Cerrado	80	531	1.331	80	11.553	1.155	176	0	461	70	0
	Mata Atlântica	52.715	380.823	426.831	45.667	6.254.350	320.902	71.632	34.297	286.312	63.911	30.600
	Pampa	17.645	163.115	65.313	11.022	2.050.303	21.573	26.254	17.485	53.878	65.569	43.667



Apêndice 5. Distribuição dos déficits de vegetação nativa, em APP e RL grandes imóveis rurais, nas suas respectivas classes de potencial de regeneração natural [gerado com base na concatenação dos estudos Guidotti et al. (2017) e MMA & WRI (Brasil, 2017a)]

Região	Bioma	Grande imóvel rural										
		Número de imóveis	Déficit Reserva Legal (ha)	Déficit APP (ha)	Número de imóveis com déficit	Área imóvel com déficit (ha)	Potencial de regeneração em APP (ha)			Potencial de regeneração em RL (ha)		
							Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Centro-Oeste	Amazônia	5.324	805.106	238.465	4.289	20.717.568	92.346	73.756	72.363	311.780	249.014	244.312
	Cerrado	25.876	1.719.952	552.776	23.703	52.783.645	514.898	37.879	0	1.602.094	117.859	0
	Mata Atlântica	2.212	191.515	45.603	2.090	3.648.480	43.917	87	1.600	184.433	364	6.718
	Pantanal	1.783	15.483	19.709	787	5.591.979	9.542	0	10.167	7.497	0	7.987
Nordeste	Amazônia	792	150.027	37.758	704	4.687.716	28.295	372	9.091	112.426	1.480	36.122
	Caatinga	13.433	94.693	426.501	11.321	30.061.266	177.071	120.210	129.220	39.314	26.690	28.690
	Cerrado	7.561	222.371	117.074	4.447	16.740.120	84.752	32.322	0	160.978	61.392	0
	Mata Atlântica	6.742	476.172	362.033	6.647	7.750.561	246.273	95.700	20.060	323.916	125.872	26.384
Norte	Amazônia	9.546	916.471	478.084	6.801	50.507.880	158.673	37.803	281.609	304.170	72.467	539.835
	Cerrado	3.620	102.944	76.088	3.091	9.384.368	69.001	7.087	0	93.356	9.588	0
Sudeste	Caatinga	115	10.095	5.927	112	339.695	2.413	2.541	973	4.110	4.327	1.658
	Cerrado	13.882	473.876	443.020	13.716	16.975.942	420.354	22.666	0	449.631	24.245	0
	Mata Atlântica	16.151	496.921	871.883	15.822	14.692.879	404.886	373.249	93.748	230.761	212.730	53.430
Sul	Cerrado	53	3.094	11.938	53	82.214	10.357	1.580	0	2.685	410	0
	Mata Atlântica	14.367	334.538	834.418	13.944	10.208.948	627.336	140.035	67.047	251.514	56.143	26.881
	Pampa	8.621	286.427	209.183	7.162	7.693.453	69.095	84.087	56.000	94.610	115.138	76.679

Apêndice 6. Estimativa da geração de empregos para a recomposição de Reserva Legal para o alcance da meta iNDC-Brasil de 12 milhões de hectares.

Região	Bioma	Médio e grande imóvel rural			Total
		Sistemas de produção madeireira (SPMs)	Adensamento + enriquecimento	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento	
Centro-Oeste	Amazônia	37.740	32.961	10.668	295.796
	Cerrado	179.269	14.421	0	
	Mata Atlântica	18.825	41	247	
	Pantanal	1.173	0	451	
Nordeste	Amazônia	15.452	222	1.791	123.061
	Caatinga	6.734	4.999	1.773	
	Cerrado	24.192	10.089	0	
	Mata Atlântica	39.751	16.891	1.168	
Norte	Amazônia	36.427	9.490	23.322	87.276
	Cerrado	16.215	1.821	0	
Sudeste	Caatinga	481	553	70	136.828
	Cerrado	62.957	3.712	0	
	Mata Atlântica	33.016	33.282	2.758	
Sul	Cerrado	232	39	0	79.876
	Mata Atlântica	39.666	9.682	1.529	
	Pampa	10.951	14.574	3.202	
Total		523.080	152.778	46.978	722.836

Apêndice 7. Estimativa do investimento (R\$) para a recomposição da vegetação nativa das APP do Brasil segundas premissas adotadas no estudo

Região	Bioma	Pequeno imóvel rural		Médio e grande imóvel rural		
		Sistemas agroflorestais (SAFs)	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento	1/2 plantio de mudas 1/2 sementeira direta	Adensamento + enriquecimento	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento
Centro-Oeste	Amazônia	R\$ 314.066.137	R\$ 15.584.753	R\$ 2.569.548.425	R\$ 1.423.679.836	R\$ 415.941.146
	Cerrado	R\$ 662.453.743	--	R\$ 14.951.283.529	R\$ 763.012.895	--
	Mata Atlântica	R\$ 38.245.483	R\$ 158.374	R\$ 1.223.688.164	R\$ 1.675.947	R\$ 9.208.123
	Pantanal	R\$ 15.734.782	R\$ 1.909.452	R\$ 290.434.476	--	R\$ 63.920.069
Nordeste	Amazônia	R\$ 125.046.856	R\$ 3.233.852	R\$ 730.778.269	R\$ 6.412.965	R\$ 45.719.118
	Caatinga	R\$ 2.620.684.078	R\$ 95.541.104	R\$ 5.556.004.159	R\$ 2.514.964.254	R\$ 789.503.044
	Cerrado	R\$ 590.191.345	--	R\$ 2.380.899.815	R\$ 605.428.905	--
	Mata Atlântica	R\$ 0	R\$ 9.224.285	R\$ 7.186.054.849	R\$ 1.861.914.525	R\$ 113.973.236
Norte	Amazônia	R\$ 416.109.718	R\$ 60.892.315	R\$ 4.408.287.826	R\$ 713.182.955	R\$ 1.567.299.808
	Cerrado	R\$ 308.706.954	R\$ 0	R\$ 2.345.897.422	R\$ 163.608.441	--
Sudeste	Caatinga	R\$ 44.350.598	R\$ 730.959	R\$ 69.615.559	R\$ 50.051.997	R\$ 5.671.697
	Cerrado	R\$ 3.839.380.509	--	R\$ 14.568.679.500	R\$ 536.361.160	--
	Mata Atlântica	R\$ 11.383.172.053	R\$ 115.032.547	R\$ 14.726.424.275	R\$ 9.269.065.074	R\$ 688.642.475
Sul	Cerrado	R\$ 32.201.864	--	R\$ 256.818.647	R\$ 26.730.102	--
	Mata Atlântica	R\$ 10.065.370.299	R\$ 79.845.945	R\$ 21.154.033.728	R\$ 3.221.404.975	R\$ 456.816.948
	Pampa	R\$ 621.269.790	R\$ 20.621.064	R\$ 2.022.700.664	R\$ 1.679.311.685	R\$ 331.241.958
Totais		R\$ 31.076.984.209	R\$ 402.774.650	R\$ 94.441.149.308	R\$ 22.836.805.718	R\$ 4.487.937.621



Apêndice 8. Estimativa do investimento (R\$) para a recomposição da vegetação nativa das áreas de Reserva Legal no Brasil, segundo as premissas adotadas no estudo

Região	Bioma	Médio e grande imóvel rural		
		Sistemas de produção madeireira (SPM)	Adensamento + enriquecimento	1/3 restauração passiva 1/3 condução da regeneração 1/3 condução + enriquecimento
Centro-Oeste	Amazônia	R\$ 4.370.115.222	R\$ 2.488.684.105	R\$ 727.091.929
	Cerrado	R\$ 20.758.523.971	R\$ 1.088.857.957	R\$ 0
	Mata Atlântica	R\$ 2.179.826.981	R\$ 3.068.548	R\$ 16.859.463
	Pantanal	R\$ 135.861.454	R\$ 0	R\$ 30.733.122
Nordeste	Amazônia	R\$ 1.662.895.740	R\$ 14.933.523	R\$ 106.463.617
	Caatinga	R\$ 724.667.174	R\$ 335.684.912	R\$ 105.378.937
	Cerrado	R\$ 2.603.454.758	R\$ 677.479.320	R\$ 0
	Mata Atlântica	R\$ 4.277.863.603	R\$ 1.134.279.606	R\$ 69.432.573
Norte	Amazônia	R\$ 4.014.330.513	R\$ 693.091.853	R\$ 1.523.147.350
	Cerrado	R\$ 1.786.927.050	R\$ 132.999.549	R\$ 0
Sudeste	Caatinga	R\$ 51.775.582	R\$ 38.847.839	R\$ 4.402.086
	Cerrado	R\$ 6.783.342.073	R\$ 260.619.933	R\$ 0
	Mata Atlântica	R\$ 3.557.301.433	R\$ 2.336.609.121	R\$ 173.597.690
Sul	Cerrado	R\$ 25.998.286	R\$ 2.761.960	R\$ 0
	Mata Atlântica	R\$ 4.445.741.545	R\$ 691.026.773	R\$ 97.992.256
	Pampa	R\$ 1.227.422.695	R\$ 1.040.141.375	R\$ 205.166.479
Totais		R\$ 58.606.048.080	R\$ 10.939.086.371	R\$ 3.060.265.502



