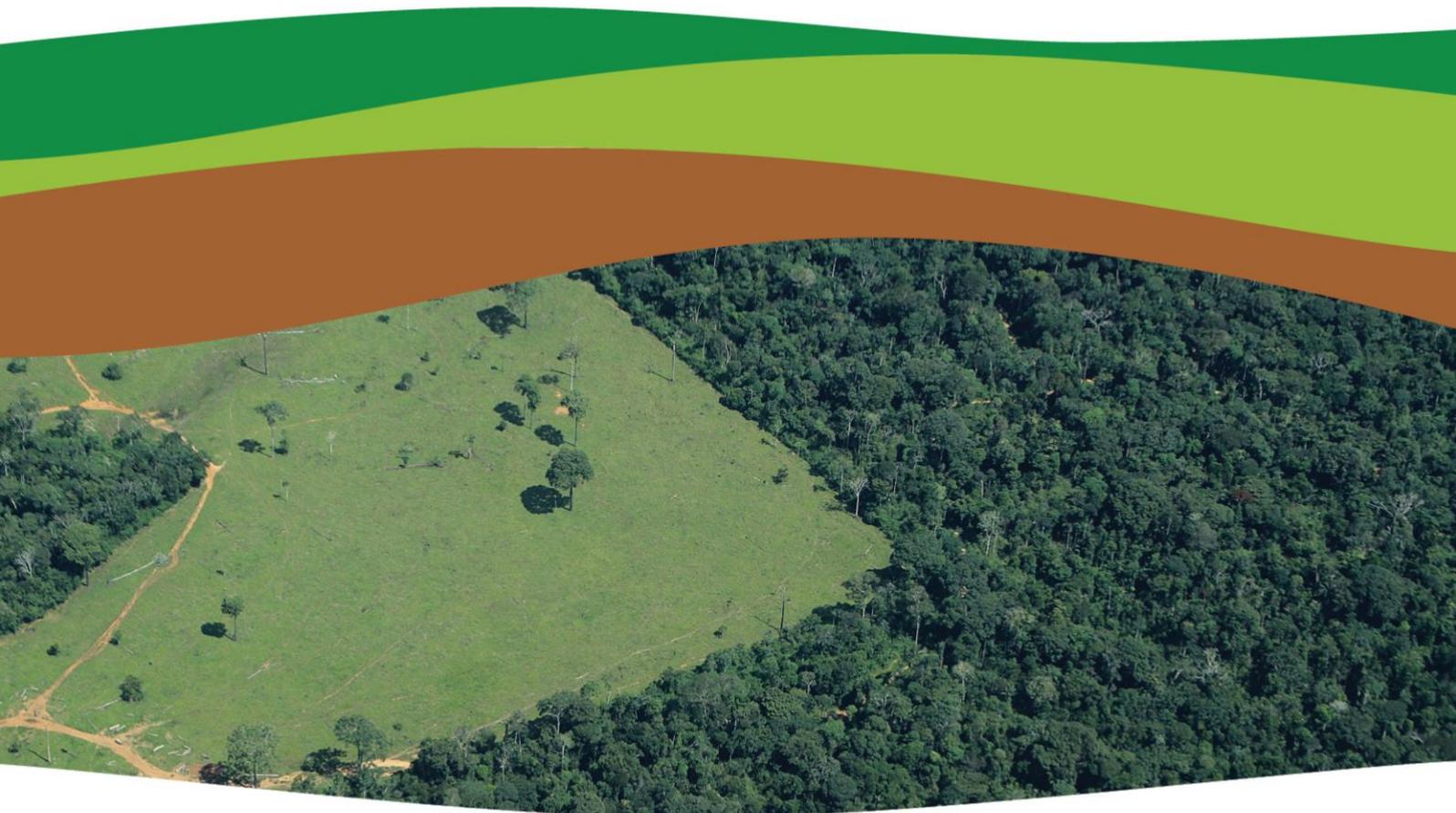


8



PlanaFlor

**Definição dos critérios e desenvolvimento da
priorização espacial para determinação das
áreas para recomposição da vegetação nativa em
Áreas de Preservação Permanente e
compensação de Reserva Legal**



Projeto PlanaFlor



Financiamento



NICFI

Norway's
International Climate
and Forest Initiative



PlanaFlor

Definição dos critérios e desenvolvimento da priorização espacial para determinação das áreas para recomposição da vegetação nativa em Áreas de Preservação Permanente e compensação de Reserva Legal

AUTORES

Bruno Roberto Ribeiro, Fernando de Moura Resende, Geiziane Tessarolo, Kaline de Mello, Karlo Gregório Guidoni Martins, Natalia Guerin, Paulo André Tavares, Rafael Loyola, Rafaela Silva

COMO CITAR

RIBEIRO, B.R., RESENDE, F. M., TESSAROLO, G., MELLO, K., MARTINS, K. G., GUERIN, N., TAVARES, P. A., LOYOLA, R., SILVA, R., 2021. Fluxos e estoques de carbono. Projeto Planaflor – Rio de Janeiro, RJ, número 8, 74 páginas. Disponível em: www.planaflor.org

REALIZAÇÃO

Este relatório foi elaborado no âmbito do projeto PlanaFlor: Green New Deal for Nature-Based Economic Recovery, executado em parceria entre a BVRio, a Conservation Strategy Fund Brasil a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e a Fundação Getúlio Vargas (FGV), com apoio financeiro da Iniciativa Internacional da Noruega para o Clima e Florestas (NICFI). Os conteúdos aqui apresentados poderão ser reproduzidos, desde que a fonte e os autores sejam citados.

Projeto PlanaFlor



Financiamento



Sumário

Resumo	5
Introdução	6
Cenários para cumprimento da LPVN	9
Critérios para identificação de microbacias prioritárias	12
<i>Conservação dos recursos hídricos</i>	12
<i>Mitigação das mudanças climáticas</i>	12
<i>Polinização de lavouras</i>	13
<i>Controle da erosão dos solos</i>	13
<i>Proteção da biodiversidade</i>	14
<i>Redução dos custos de oportunidade e econômicos</i>	14
<i>Otimização do uso de áreas abertas</i>	14
<i>Áreas protegidas</i>	15
<i>Metas de recomposição e compensação do déficit de vegetação nativa</i>	16
Resultados	17
<i>Cenário compensação</i>	17
<i>Cenário recomposição</i>	21
<i>Áreas protegidas</i>	27
Discussão	28
<i>Cenário compensação</i>	28
<i>Cenário recomposição</i>	29
Base de dados	32
<i>Processamento de dados em sistema de informação geográfica</i>	34
<i>Microbacias Hidrográficas</i>	34
<i>Unidades de Conservação e Terras Indígenas</i>	36
<i>Áreas de Proteção Ambiental</i>	37

<i>Estimativas de déficit de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal e excedente de Reserva Legal</i>	39
<i>Remanescentes de vegetação nativa florestal</i>	43
<i>Remanescente de vegetação nativa não florestal</i>	44
<i>Agropecuária</i>	45
<i>Pastagens degradadas</i>	46
<i>Fauna ameaçada de extinção</i>	48
<i>Flora ameaçada de extinção</i>	49
<i>Microbacias hidrográficas de cabeceira</i>	51
<i>Vulnerabilidade a erosão hídrica</i>	52
<i>Estoque de carbono na vegetação</i>	54
<i>Polinização</i>	55
<i>Potencial de regeneração natural</i>	57
<i>Aptidão agrícola</i>	58
<i>Custo de transação das Cotas de Reserva Ambiental</i>	60
<i>Custo de recomposição</i>	61
<i>Priorização espacial</i>	67
<i>Pós-processamento das áreas prioritárias</i>	69
<i>Referências bibliográficas</i>	71
<i>Apêndices</i>	73

Resumo

Este relatório é composto por dois produtos do projeto PlanaFlor: *Green New Deal for nature-based economic recovery*. O primeiro refere-se à determinação de critérios para o desenvolvimento da priorização espacial para a determinação das áreas para recomposição da vegetação nativa em áreas de preservação permanente (APPs) e Reserva Legal (RL) e compensação de RL. Já o segundo trata-se dos resultados da priorização de áreas propriamente dita. A priorização espacial foi realizada com base em dois cenários de adequação a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), denominados “Compensação” e “Recomposição” da vegetação nativa, nos quais foram considerados os montantes estimados de déficit e excedente de APP e RL estados para seleção de áreas prioritárias. Além das informações de déficit e excedente de vegetação, a seleção de áreas prioritárias foi baseada em uma ampla gama de indicadores de benefícios (por exemplo, conservação da biodiversidade, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e provisão de serviços ecossistêmicos, tais como água, controle da erosão e polinização) e custos (socioeconômicos e de oportunidade) associados à adequação de propriedades rurais à LPVN. Ambos os cenários visaram a identificação de soluções custo-efetivas de forma a aumentar os benefícios ambientais e minimizar custos. No cenário compensação, a vegetação excedente nas microbacias prioritárias engloba um estoque de aproximadamente 1,4 Gt de carbono, 56 Mha (11%) de microbacias importantes para geração e manutenção dos recursos hídricos, aproximadamente 3 Mha (22%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão e garantem a proteção de cerca de 42% da área de distribuição geográfica das espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção. O custo estimado de transação das CRAs é de R\$336 bilhões. Os resultados deste relatório indicam que com a recomposição de 25% do déficit de RL e APPs de cada estado é possível atingir 40% da meta brasileira expressa no Plano Nacional de Recuperação de Vegetação Nativa, que é de 12 Mha até 2030. Essa restauração contribuiria para o sequestro de 0,74 Gt de carbono, proteção de 63 Mha (12%) de microbacias importantes para conservação dos recursos hídricos e 3 Mha (19%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão. As microbacias de maior prioridade contêm 12,9 Mha (25,3%) de áreas de pastagens degradadas do Brasil, 22 Mha (11,2%) de áreas de baixa aptidão agrícola e 806 ha de áreas com alto potencial de regeneração natural. Além de trazer informações inéditas, os resultados desta publicação fornecem evidências e orientação sobre oportunidades para promover o uso eficiente da terra no Brasil, conciliando produção agropecuária, recuperação e preservação ambiental por meio do cumprimento da LPVN.

Introdução

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN, nº 12.651), conhecida como o novo Código Florestal, é a principal lei ambiental federal no Brasil que legisla sobre a conservação e recomposição de vegetação nativa em propriedades privadas (Brasil, 2012). Dado que cerca de 53% da vegetação do país está localizada nessas áreas (Soares-Filho *et al.*, 2014), a implementação da LPVN é fundamental para garantir a manutenção da biodiversidade, equilíbrio climático e fornecimento de serviços ecossistêmicos fundamentais para o desenvolvimento econômico-social justo, igualitário e sustentável (Metzger *et al.*, 2019). As áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), isoladamente, não são suficientes para garantir estes benefícios mencionados, além de outros diretamente relacionados ao desenvolvimento das atividades econômicas, como polinização da produção agrícola de alimentos, água para irrigação, controle natural de pragas e manutenção da fertilidade do solo (Joly *et al.*, 2019; Metzger *et al.*, 2019).

A restauração² de ecossistemas consiste em uma das principais estratégias para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, recuperação da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos (Pörtner *et al.*, 2021; Strassburg *et al.*, 2020). Em setembro de 2015, o Brasil assumiu – como parte do Acordo de Paris – o compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, de zerar o desmatamento ilegal e de restaurar, reflorestar e induzir a regeneração natural de 12 milhões de hectares de vegetação nativa até 2030. Contudo, até 2021, o país atingiu apenas 0,65% desta meta (OCF, 2022). Apenas com a recuperação³ do déficit de Áreas de Preservação Permanente (APP), que é estimado em 8,1 milhões de hectares (Mha) para o país (Freitas *et al.*, 2017), o Brasil atenderia 67% da meta climática assumida. Neste sentido, se for somado o déficit de Reserva Legal (RL), estimado em 10,7 Mha, apenas o cumprimento da LPVN seria suficiente para o cumprimento de tal meta.

A LPVN inovou ao trazer instrumentos econômicos que visam auxiliar os proprietários no cumprimento da lei, e a garantir o uso sustentável dos recursos naturais, previstos pela Constituição Federal (Brasil, 2012). Os mecanismos de compensação de RL previstos pela LPVN, em especial a Cota de Reserva Ambiental (CRA), possibilitam a comercialização dos ativos ambientais (i.e., excedentes de vegetação) de propriedades que possuem mais vegetação do que o exigido pela lei, com propriedades que precisam compensar seu déficit de RL. A CRA é, portanto, um instrumento econômico de valorização de excedentes de vegetação nas propriedades rurais, e pode contribuir para o futuro mercado de carbono no país. É o único instrumento de compensação que, além da comercialização dos excedentes de vegetação, permite também a compensação em RL de pequenos imóveis (com até quatro módulos fiscais), o que pode representar um retorno econômico para esses proprietários (Mello *et al.*, 2021).

No Brasil, o cumprimento da LPVN oferece grandes oportunidades e desafios para a proteção da vegetação. Por um lado, o país possui aproximadamente 110,4 Mha de vegetação excedente em propriedades rurais que não estão protegidos pela LPVN, ou seja, vegetação que excede o

mínimo exigido pela lei (Freitas *et al.*, 2017). A falta de incentivos para a manutenção da vegetação nativa e a ausência de estratégias econômicas para sua exploração sustentável, elevam o grau de vulnerabilidade dessas áreas e as tornam mais propensas ao desmatamento e incêndios. Estas ameaças acarretam em desequilíbrios ecológicos de grandes magnitudes, como aceleração do processo de desertificação em locais ambientalmente fragilizados, perda de habitat, extinção de espécies, emissões de gases de efeito estufa e perda de serviços ecossistêmicos (Cook-Patton *et al.*, 2021; Hua *et al.*, 2022). Por outro lado, a valorização desses excedentes de vegetação nativa pode impulsionar uma mudança importante na migração do Brasil para uma economia verde, podendo tornar o país uma potência mundial de economia verde, com exploração de recursos florestais não madeireiros, produtos agroflorestais e outras formas de exploração econômica sustentável da vegetação nativa (Joly *et al.*, 2019).

Além disso, o déficit estimado de 18,8 Mha de vegetação nativa (Freitas *et al.*, 2017) pode representar uma oportunidade para o Brasil se tornar uma potência mundial de restauração em larga escala (Calmon, 2021). Segundo a LPVN, o déficit de APPs deve ser obrigatoriamente recomposto dentro das propriedades rurais, uma vez que sua localização é determinada pela legislação com foco na preservação de áreas frágeis e extremamente relevantes para manutenção de funções e serviços ecossistêmicos, como nascentes, cursos d'água, mangues, restingas e encostas.

O déficit de RL, por sua vez, pode ser compensado em outra propriedade e não necessariamente recomposto, visto que sua função é assegurar o uso econômico dos recursos naturais da propriedade rural, assim como a conservação da biodiversidade e a manutenção de processos ecológicos. Diferente das APPs, a localização da RL dentro da propriedade não é pré-determinada pela legislação. Mesmo havendo a possibilidade da compensação em outros locais, a recomposição da RL dentro da propriedade com déficit deve ser priorizada sempre que possível (Mello *et al.*, 2021). A recomposição da RL planejada numa escala de paisagem, visando otimizar os benefícios ambientais, contribui para a formação de corredores ecológicos e incremento da cobertura de vegetação nativa, aumentando assim, a conectividade da paisagem e o provimento de serviços ecossistêmicos. Além disso, a recomposição da RL gera benefícios econômicos para o produtor, com a possibilidade de manejo sustentável de produtos madeireiros e não madeireiros (Cullen Jr, 2020).

No Brasil, existe hoje uma oportunidade ímpar de conciliar o crescimento da agropecuária e a proteção dos ecossistemas naturais. O país possui 15,7 Mha de áreas passíveis para expansão agrícola, atualmente ocupadas por pastagens com algum grau de degradação e com baixo potencial de regeneração natural da vegetação. Segundo estimativas, é possível garantir terras para a expansão da produção agrícola sem a necessidade de desmatar novas áreas, por meio da intensificação da produção ou fazendo uso das áreas já convertidas, e ainda garantir áreas para restauração da vegetação nativa para atingir metas climáticas (Strassburg *et al.*, 2014). A implementação estratégica da LPVN pode acelerar a integração lavoura-pecuária-vegetação com recuperação e utilização de pastagens degradadas (Bungenstab *et al.*, 2019), de modo a

atender a demanda cada vez maior de alimentos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais.

Para maximizar ganhos ambientais e econômicos na implementação da LPVN, é essencial a existência de um plano de priorização das áreas para recomposição e compensação dos déficits de vegetação nativa. Dado a extensão territorial do Brasil e a heterogeneidade das áreas agrícolas, os benefícios e custos relacionados ao cumprimento da LPVN podem variar significativamente nos diferentes estados e biomas. Diante deste cenário desafiador, no qual vários fatores devem ser combinados para identificação de áreas para recomposição e compensação da vegetação, o planejamento espacial torna-se uma ferramenta essencial para apoiar a tomada de decisão (Strassburg *et al.*, 2019; Valente *et al.*, 2021).

Este relatório apresenta um planejamento estratégico para identificação de áreas prioritárias para recomposição e compensação do déficit de vegetação no Brasil. Para tanto, foram compilados e gerados dados atualizados para proposição de soluções custo-efetivas que buscam maximizar os benefícios ambientais (por exemplo, conservação da biodiversidade, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e provisão de serviços ecossistêmicos, tais como água, controle da erosão e polinização) e minimizar os custos (socioeconômicos e de oportunidade) associados à adequação de propriedade rurais à LPVN. Além de trazer informações inéditas, os resultados desta publicação fornecem evidências e orientação sobre oportunidades para promover o uso eficiente da terra no Brasil, conciliando produção agropecuária, recuperação e preservação ambiental por meio do cumprimento da LPVN.

Cenários para cumprimento da LPVN

Este relatório apresenta uma abordagem inovadora para identificação de prioridades para cumprimento da LPVN, avaliando os potenciais benefícios e custos associados a dois cenários: 1) compensação de RL e; 2) recomposição do déficit de APP e RL. Para cada um dos cenários, uma lista abrangente de indicadores (Tabela 1) e seus respectivos critérios foram utilizados para identificação de soluções custo-efetivas, as quais proporcionam maiores benefícios a um menor custo.

O **cenário compensação** teve como objetivo otimizar a identificação de microbacias prioritárias para compensação de RL. A solução produzida buscou maximizar os benefícios ecológicos em áreas de menor custo de transação de Cotas de Reserva Ambiental (CRA). Em outras palavras, buscou-se identificar microbacias prioritárias onde a compensação da vegetação nativa possa ser realizada, sempre que possível, de forma a reduzir o custo de transação das CRAs e otimizar a proteção de espécies ameaçadas, a provisão de serviços ecossistêmicos, e o aumento da conectividade entre remanescentes de vegetação.

O **cenário recomposição** teve como objetivo otimizar a identificação de microbacias prioritárias para recomposição da vegetação nativa em APP e RL, de modo a aumentar os benefícios ecológicos, reduzir os custos da recomposição e evitar conflitos com a demanda de terra para agricultura. Assim, buscou-se identificar microbacias prioritárias nas quais a recomposição da vegetação nativa possa ser realizada, sempre que possível, em áreas de pastagens degradadas com baixa aptidão para o cultivo agrícola e com alto potencial de regeneração natural. A combinação desses fatores pode potencialmente diminuir os custos de recomposição e evitar conflitos com a demanda de áreas para agricultura. Além disso, busca maximizar benefícios, tais como a recuperação do habitat de espécies ameaçadas de extinção e provisão de serviços ecossistêmicos (água, sequestro de carbono, polinização e proteção do solo contra erosão).

Para cada um dos cenários foram identificadas microbacias hidrográficas prioritárias utilizando diferentes indicadores a serem priorizados (por exemplo, conservação da biodiversidade, carbono, água, solo e polinização) e fatores a serem ponderados ou, sempre que possível, evitados (por exemplo, áreas com alta aptidão agrícola, alto custo de CRAs; Tabela 1). Estes fatores, genericamente conhecidos como “custos”, atuam como uma restrição à seleção de determinadas microbacias, para que o processo de seleção seja mais eficiente e direcionado.

A identificação de microbacias prioritárias foi realizada para cada bioma brasileiro separadamente, em cada um dos cenários, com base na utilização de dados provenientes de diferentes fontes (Tabela 1, descrição detalhada na seção “Base de Dados”). Para cada bioma foi gerado um ranque que classifica as microbacias em diferentes níveis de prioridades. Este ranque foi posteriormente utilizado para identificar microbacias prioritárias para cada estado dentro do bioma, de modo que o déficit de vegetação nativa seja recomposto ou compensado no estado.

Por fim, vale destacar que o propósito da análise não é produzir um planejamento na escala de propriedade, mas apontar microbacias prioritárias para recomposição e compensação da vegetação nativa em cada bioma, as quais poderão ser posteriormente analisadas e refinadas visando a implementação das ações e estratégias de conservação e recomposição em campo.

Tabela 1. Indicadores utilizados nos cenários de priorização espacial para recomposição (R) e compensação (C) de áreas com déficit de vegetação nativa no Brasil.

Nome	Justificativa/objetivo	Cenário	
		R	C
Unidades de conservação e terras indígenas	Evitar duplicação de esforços de conservação e a sobreposição dessas áreas com microbacias prioritárias	X	X
Déficit de Áreas de Preservação Permanente	Identificar microbacias com déficit de APP	X	
Déficit de Reserva Legal	Identificar microbacias com déficit de RL	X	
Excedente de vegetação nativa	Identificar microbacias com excedente de vegetação nativa para compensação de Reserva Legal	X	X
Remanescentes de vegetação nativa florestal	Direcionar a priorização espacial para microbacias com maior proporção de vegetação nativa florestal	X	X
Remanescente de vegetação nativa não florestal	Direcionar a priorização espacial à microbacias com maior proporção de vegetação nativa não florestal	X	X
Áreas utilizadas para agropecuária	Favorecer a priorização de microbacias que podem prover serviços ecossistêmicos para agropecuária se recompostas	X	
Áreas de Proteção Ambiental (APAs)	Favorecer a priorização de microbacias localizadas em APAs. A recomposição da vegetação em APAs gera diretamente benefícios ecológicos, econômicos e sociais	X	X
Pastagens degradadas	Direcionar a recomposição de vegetação nativa em microbacias com maiores áreas de pastagens degradadas	X	
Áreas com alto potencial de regeneração natural	Favorecer a seleção de microbacias com alto e médio potencial de regeneração natural	X	
Área com baixa aptidão para agricultura	Evitar a seleção de microbacias contendo grandes extensões de áreas de alta aptidão agrícola	X	
Microbacias hidrográficas de cabeceira	Favorecer a priorização de microbacias de cabeceira, importantes para o abastecimento hídrico	X	X

Nome	Justificativa/objetivo	Cenário	
		R	C
Estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo	Para o cenário de compensação, favorecer a priorização de microbacias com maior estoque de carbono na vegetação excedente à reserva legal. Para o cenário de recomposição, favorecer a priorização de microbacias em que a recomposição do déficit de vegetação poderá resultar em maior quantidade de sequestro de carbono	X	X
Proporção da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	Priorização de microbacias contendo maiores demandas de polinização para a produção agrícola	X	X
Alta vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	Favorecer a priorização de microbacias com maior vulnerabilidade à erosão hídrica. A recomposição da vegetação poderá evitar ou mitigar os impactos da erosão hídrica	X	X
Custo de transação das Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	Evitar a priorização de microbacias com maior custo de transação de CRA	X	X
Distribuição geográfica da fauna ameaçada de extinção	Identificar microbacias prioritárias para proteção da fauna ameaçada	X	X
Distribuição geográfica da flora ameaçada de extinção	Identificação de microbacias para proteção da flora ameaçada	X	X

Critérios para identificação de microbacias prioritárias

Conservação dos recursos hídricos

Os recursos hídricos são essenciais para atender as necessidades humanas, o desenvolvimento de atividades econômicas, bem como a conservação da biodiversidade e dos processos ecológicos. Apesar de abrigar cerca de 12% da água superficial do mundo e ter extensos reservatórios de água subterrânea, o crescente uso e aumento da poluição dos corpos hídricos, associado à sua gestão inadequada, colocam em risco as vastas reservas de água doce do país (Pires *et al.*, 2019). Uma vez que o uso e ocupação da terra nas áreas de cabeceira influencia a disponibilidade e a qualidade de água que abastece as partes mais baixas da bacia (Lima, 2008; Mello *et al.*, 2020), recompor ou proteger a vegetação nativa nessas áreas é fundamental para a segurança hídrica. Neste estudo buscou-se identificar microbacias prioritárias nas quais a proteção ou recomposição da vegetação nativa nas margens dos rios ou nascentes possa garantir a provisão de recursos hídricos por meio do controle da erosão, redução do assoreamento e eutrofização dos corpos d'água.

Mitigação das mudanças climáticas

A alta concentração do CO₂ na atmosfera está entre as principais causas do aumento da temperatura média do planeta, causando diversos impactos negativos sobre o funcionamento dos ecossistemas, a biodiversidade, a saúde e o bem-estar humano (Pörtner *et al.*, 2021). Evitar a perda de vegetação nativa e garantir sua recuperação são estratégias cruciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas, uma vez que a vegetação nativa acumula grandes quantidades de CO₂ na sua biomassa (Cook-Patton *et al.*, 2021; Hua *et al.*, 2022). Países como o Brasil apresentam uma grande oportunidade para reduzir a emissão e aumentar o sequestro de CO₂ por meio da proteção e recuperação da vegetação nativa, respectivamente. Neste relatório, o benefício do carbono foi quantificado considerando o potencial de sequestro de CO₂ da atmosfera como resultado da recomposição da vegetação (cenário recomposição), e a emissão evitada de CO₂ para atmosfera, isto é, a proteção da vegetação nativa com elevado potencial de estoque de carbono (cenário compensação).

Polinização de lavouras

A polinização é um serviço essencial à agricultura e à manutenção da biodiversidade. Cerca de 76% das espécies de plantas utilizadas como fonte de alimentos no Brasil são dependentes de polinizadores (Wolowski *et al.*, 2019). Além de aumentar a quantidade da produção agrícola, a polinização realizada por animais aumenta a qualidade da produção, agregando assim maior valor aos produtos agrícolas. O valor econômico do serviço de polinização no Brasil é alto (estimando em R\$43 bilhões em 2018) e influencia uma parte considerável do PIB e das exportações brasileiras (Novais *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2021).

Para este estudo, a seleção de microbacias buscou favorecer a conservação e/ou recomposição da vegetação nativa em áreas com maior dependência de polinização para produção agrícola, contribuindo, assim, para a segurança alimentar e o aumento de renda dos produtores rurais.

Controle da erosão dos solos

Processos erosivos podem levar à degradação e perda de nutrientes do solo e assoreamento dos corpos hídricos, gerando uma série de impactos na biodiversidade, no funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos e nas atividades humanas (Bertol *et al.*, 2019). Setores como agropecuária, turismo, abastecimento hídrico e geração de energia hidrelétrica podem ser seriamente impactados pelo aumento da erosão dos solos (Guerra *et al.*, 2020).

Diversos fatores, incluindo condições climáticas, relevo, características do solo e uso e cobertura da terra, influenciam a perda de solos de uma região. Em especial, a perda de cobertura vegetal pode acelerar os processos erosivos e aumentar o fluxo de sedimentos para os corpos hídricos, principalmente em áreas com características que aumentam a vulnerabilidade à erosão hídrica (áreas ripárias, relevo acidentado, solos susceptíveis a erosão e chuvas intensas, Guidotti *et al.*, 2020). Neste relatório, buscou identificar microbacias prioritárias com vistas a abranger áreas com alta vulnerabilidade à erosão hídrica, onde a proteção e recomposição da vegetação nativa possa prover maiores benefícios para controle da erosão do solo.

Proteção da biodiversidade

A conservação da biodiversidade contribui diretamente para manutenção dos ciclos biogeoquímicos (por exemplo, ciclos da água, do nitrogênio e do carbono) e para manutenção e provisão de serviços ecossistêmicos essenciais ao bem-estar humano (Cardinale *et al.*, 2012; Pörtner *et al.*, 2021).

O cumprimento da LPVN nativa pode contribuir diretamente com a conservação e recuperação da biodiversidade. A recuperação da vegetação nativa pode aumentar a quantidade, qualidade e conectividade do habitat para as espécies, reduzindo assim seu risco de extinção (Strassburg *et al.*, 2019). Neste relatório, o benefício para a conservação da biodiversidade foi mensurado considerando o total de habitat das espécies ameaçadas da flora e fauna brasileiras que seria recomposto ou protegido por meio da recomposição e proteção da vegetação nativa (cenário compensação), respectivamente.

Redução dos custos de oportunidade e econômicos

O custo de oportunidade representa um custo monetário que o produtor renuncia ao disponibilizar sua terra para recomposição/compensação em detrimento do uso econômico dela (por exemplo, para agricultura, pecuária, silvicultura etc.). Neste relatório, a priorização espacial buscou minimizar os custos de oportunidade e econômicos ao favorecer a identificação de microbacias contendo pastagens com alto grau de degradação, baixa aptidão para agricultura e alto potencial de regeneração natural. Áreas com alto potencial de regeneração natural são mais custo-efetivas para recuperação, pois conseguem atingir os resultados ecológicos esperados em menor tempo e com menor custo (Strassburg *et al.*, 2019). Além disso, buscou-se reduzir o custo de compensação de vegetação nativa ao favorecer a seleção de microbacias que apresentam menor custo de transação de CRAs.

Otimização do uso de áreas abertas

A implementação da LPVN oferece uma importante oportunidade de conciliação da recomposição da vegetação e o crescimento sustentável da agropecuária (Posonski and Armelin, 2021). Estudos demonstram que é possível expandir a produção agrícola sem a necessidade de desmatar novas áreas, bastando, para isso, destinar a expansão agrícola em direção às áreas de pastagens degradadas (Strassburg *et al.*, 2014). A degradação de pastagens é um processo natural que acontece ao longo do tempo, geralmente associado a práticas inadequadas de manejo. O país possui 15,7 Mha de áreas passíveis para expansão agrícola, atualmente ocupadas por pastagens degradadas e com baixo potencial de regeneração natural (PlanaFlor, 2021). Este total é 40% maior do que a meta de 11,3 Mha projetada pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA) para garantir a expansão da agricultura para os anos de 2030/2031 (MAPA, 2021).

A substituição de pastagens por culturas agrícolas é uma prática comum. Somente entre os anos de 2000 e 2014, mais de 5,6 Mha de pastagens foram convertidos em áreas de soja no Cerrado (Rudorff and Risso, 2018). Tal conversão, por sua vez, não acarretou prejuízos para a pecuária, visto que a intensificação da pecuária permitiu um aumento de 15% do rebanho bovino neste período concomitantemente ao decréscimo das áreas de pastagens (Rudorff and Risso, 2018). Um planejamento estratégico permitiria que 25,7 Mha de pastagens degradadas, com alto potencial de regeneração natural e com baixa aptidão agrícola pudessem ser destinadas para a recomposição de APP e RL sem a necessidade de conservação de novas áreas (PlanaFlor, 2021). Tais dados reforçam que é possível a integração lavoura-pecuária-vegetação nativa, de modo a atender a demanda cada vez maior de alimentos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais.

Áreas protegidas

As unidades de conservação (UCs) e terras indígenas (TIs) são cruciais para conservação da biodiversidade e provisão dos serviços ecossistêmicos no Brasil (Resende *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2018). Portanto, neste estudo, as microbacias prioritárias foram traçadas de modo a complementar a representação dos indicadores encontrados nas áreas protegidas, evitando, assim, a duplicação de esforço e um ganho de eficiência na escolha das microbacias.

Foram consideradas como áreas protegidas as TIs e UCS (exceto Áreas de Proteção Ambiental, APAs). Diferente de outras UCs e TIs, as APAs possuem muitas propriedades rurais privadas com déficit de vegetação nativa e que devem recompor as APPs e RL. Portanto, tais áreas foram inseridas como indicador na priorização espacial e são passíveis de serem recompostas. Portanto, as APAs foram consideradas como um critério de priorização, e as TIs e UCs foram consideradas como restrição, não havendo sobreposição das áreas prioritárias com essas áreas protegidas.

Metas de recomposição e compensação do déficit de vegetação nativa

Os mapas de prioridades de cada bioma identificam microbacias prioritárias para atingir a meta de recomposição ou compensação da vegetação nativa de cada estado, separadamente. A meta de recomposição corresponde à soma do déficit total de APPs e RL do estado, por bioma, enquanto a meta de compensação corresponde ao total de déficit de RL do estado, por bioma. Como a meta total (déficit) é diferente em cada estado dentro de cada bioma, o número de microbacias necessárias para atingi-la variou conforme o cenário selecionado. Para facilitar a interpretação, foram gerados mapas para recomposição e compensação, separadamente.

Os mapas de áreas prioritárias para recomposição apontam por onde começar a implementação da recomposição da vegetação nativa nos diferentes biomas e estados. As microbacias são classificadas em níveis decrescentes de prioridades, sendo as mais prioritárias classificadas como “Extremamente alta”, seguido pela classe “Muito alta”, “Alta” e “Relevante”. A escolha das classes se deu de modo a atingir uma porcentagem mínima do déficit de APPs e RL de um determinado estado no bioma, sendo 25% na classe “Extremamente alta”, 50% na classe “Muito Alta”, 75% na classe “Alta” e 100% na classe “Relevante”. Microbacias que não apresentaram déficits de APP e RL e, portanto, não passíveis de serem recompostas, foram identificadas na classe “Não aplicável”. Importante destacar que os níveis de prioridades são aninhados, de forma que a classe “Muito alta” engloba a classe “Extremamente Alta”, e a classe “Alta” engloba as classes “Muito Alta” e “Extremamente Alta”, e assim por diante.

No cenário compensação, as microbacias prioritárias foram identificadas de forma que todo o déficit de vegetação nativa de um estado possa ser compensado dentro do próprio estado, sempre que o excedente de vegetação seja suficiente para compensar o déficit. Em outras palavras, as microbacias prioritárias contêm excedente de vegetação suficiente para compensar o déficit de vegetação nativa de cada estado no próprio estado. Portanto, nesse cenário, as microbacias são classificadas em somente uma classe “microbacias prioritárias”.

Resultados

Cenário compensação

Um total de 3.132 mil microbacias foram apontadas como prioritárias para compensação no Brasil, o equivalente a 10,9% da área total do país (Figura 1 e Tabela 2). Os biomas com a maior porcentagem da área ocupada por microbacias prioritárias para compensação são a Mata Atlântica (29%), Amazônia (10%) e Cerrado (7,6%). Estima-se que 11,8 Mha de excedente de vegetação nativa estejam presentes nas microbacias prioritárias, um valor suficiente para atender todo o déficit estimado de vegetação em RL no país (10,7 Mha; Tabela 3).

A vegetação excedente nas microbacias prioritárias estoca, aproximadamente, 1,4 gigatoneladas (Gt) de carbono na biomassa acima e abaixo do solo em todo o Brasil. Este valor equivale a 16% do total de carbono na vegetação excedente do país (Tabela 4). As maiores quantidades de carbono estocado encontram-se na Mata Atlântica (0,56 Gt de carbono), Amazônia (0,51 Gt de carbono) e Cerrado (0,33 Gt de carbono). Em média, 15,7% do valor econômico da produção agrícola nas microbacias prioritárias é dependente de polinização pela fauna (Tabela 4). As microbacias prioritárias localizadas na Amazônia são as que apresentam a produção agrícola mais dependente de polinizadores (19,6% do valor econômico da produção agrícola), seguido do Pampa (17,3%) e Mata Atlântica (16,2%).

As áreas selecionadas englobam 56 Mha (11%) de microbacias de cabeceiras e aproximadamente 3 Mha (22%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão hídrica (Tabela 4). Além disso, prevê-se a proteção de cerca de 42% da área de distribuição geográfica das espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção (Tabela 4).

O custo estimado de transação das CRAs que seriam emitidas para manutenção da vegetação nativa excedente nas microbacias prioritárias é de R\$336 bilhões. Valores mais elevados foram encontrados para Mata Atlântica (R\$118,9 bilhões), Cerrado (R\$118,5 bilhões) e Amazônia (R\$65,9 bilhões; Tabela 3).

Um total de 46,7 Mha (15,7%) da vegetação nativa florestal e não florestal do país estão presentes nas microbacias prioritárias, sendo 34,8 Mha (8,4%) de áreas de formação florestal e 11,9 Mha (7,3%) de formação não florestal (Tabela 3). Amazônia (21,8 Mha; 5,2%), Mata Atlântica (9,9 Mha; 2,4%) e Cerrado (2,4 Mha; 0,6%) contém as maiores concentrações de remanescentes de vegetação florestal. Por sua vez, as microbacias prioritárias no Cerrado (5,4 Mha; 3,4%), Amazônia (3,6 Mha; 2,2%) e Mata Atlântica (1,3 Mha; 0,8%) incluem as maiores áreas de formação não florestal.

A LPVN estabelece que a compensação de RL deverá ser realizada no mesmo bioma e se for fora do Estado, estar localizada em áreas identificadas como prioritárias pela União ou pelos Estados. Este critério é passível de ser cumprido para maioria dos estados nos biomas Caatinga, Pampa e Pantanal (Figura 2). Contudo, o excedente de vegetação nativa não é suficiente para

compensar localmente o déficit de RL dos estados de Tocantins e Maranhão (Amazônia), São Paulo e Paraná (Cerrado) e Goiás (Mata Atlântica). As microbacias prioritárias de alguns estados concentram mais excedente do que o déficit, por exemplo, Roraima (Amazônia), Ceará (Caatinga) e Piauí (Cerrado) (Figura 2).

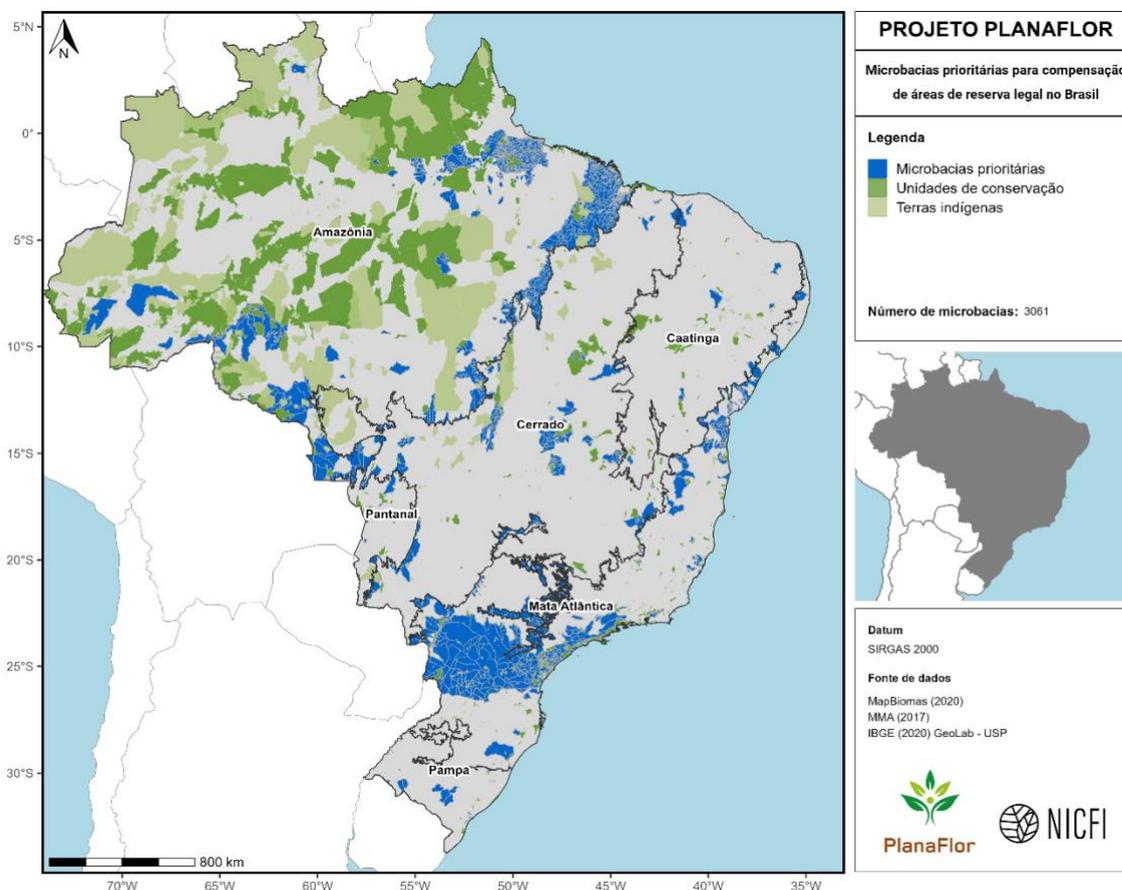


Figura 1. Microbacias identificadas como prioritárias para compensação do déficit de vegetação nativa em áreas de reserva legal nos biomas do Brasil.

Tabela 2. Número total e área (em milhões de hectares) das microbacias prioritárias para compensação do déficit total de Reserva Legal nos biomas brasileiros. O percentual do número e da área das microbacias prioritárias em relação aos biomas e ao Brasil é apresentado nos valores entre parênteses.

Bioma	Número das microbacias	Área total das microbacias
Amazônia	2.073 (28.9)	43,53 (10.1)
Caatinga	30 (2.2)	1,50 (1.75)
Cerrado	430 (9.4)	15,2 (7.6)
Mata Atlântica	568 (23.2)	32,03 (29)
Pampa	19 (4.3)	0,94 (5.2)
Pantanal	12 (5)	0,39 (2.6)
Brasil	3.132 (19.2)	93,6 (10.9)

Tabela 3. Representação média dos indicadores nas microbacias prioritárias para compensação do déficit de Reserva Legal no Brasil. Os valores em parênteses representam o percentual de cobertura do indicador nos diferentes biomas e no Brasil.

Alvos	Unidade	Total no Brasil	Representação dos alvos nas microbacias prioritárias						Brasil
			Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal	
Áreas de Proteção Ambiental (APAs)	Mha	44,92	7,18 (16)	0,61 (1.4)	4,12 (9.2)	4,06 (9)	0,22 (0.5)	0,01 (0)	16,2 (36.1)
Custo de transação de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	bilhões/R\$	2.376,90	65,96 (2.8)	5,52 (0.2)	118,51 (5)	118,91 (5)	22,63 (1)	4,41 (0.2)	335,93 (14.1)
Remanescentes de vegetação nativa florestal	Mha	414,45	21,8 (5.3)	0,2 (0)	2,45 (0.6)	9,94 (2.4)	0,21 (0.1)	0,15 (0)	34,75 (8.4)
Remanescentes de vegetação nativa não florestal	Mha	161,76	3,57 (2.2)	0,78 (0.5)	5,46 (3.4)	1,28 (0.8)	0,58 (0.4)	0,2 (0.1)	11,85 (7.3)
Excedente de vegetação nativa	Mha	110,24	3,38 (3.1)	0,61 (0.6)	4,34 (3.9)	2,85 (2.6)	0,51 (0.5)	0,18 (0.2)	11,87 (10.8)

Tabela 4. Potenciais benefícios ambientais que podem ser atingidos por meio da compensação do déficit de vegetação em áreas de Reserva Legal nas microbacias identificadas como prioritárias, nos biomas e para o Brasil. Os valores entre parênteses indicam o percentual de representação dos indicadores nas microbacias prioritárias nos diferentes biomas e no Brasil.

Alvos	Unidade	Total no Brasil	Representação dos alvos nas microbacias prioritárias						Brasil
			Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal	
Microbacias hidrográficas de cabeceira	Mha	525,41	27,04 (5.1)	1,3 (0.2)	10,09 (1.9)	17,5 (3.3)	0,65 (0.1)	0,04 (0)	56,62 (10.8)
Estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo	Gt	9,16	0,51 (5.6)	0,04 (0.4)	0,33 (3.6)	0,56 (6.1)	0,01 (0.1)	0,02 (0.2)	1,47 (16)
Áreas com alta vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	Mha	15,26	0,04 (0.3)	0,02 (0.1)	0,14 (0.9)	3,09 (20.2)	0,03 (0.2)	0 (0)	3,32 (21.8)
Proporção da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	%	100	19.6	14.5	14,2	16,2	17.3	12.3	17.4
Distribuição geográfica das espécies ameaçadas de extinção	%	100	60.8	12.3	49.9	44.8	19	12.2	42,1

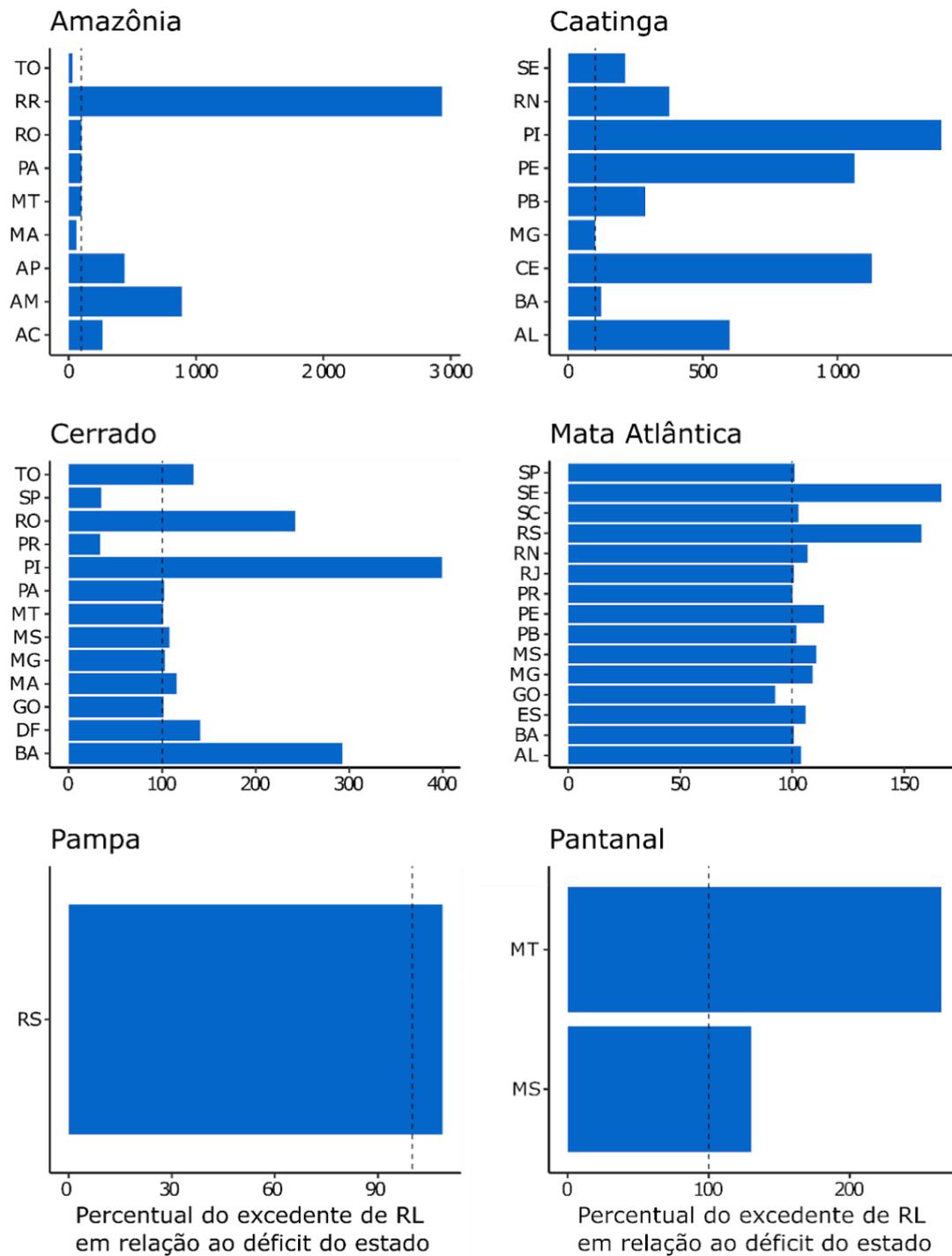


Figura 2. Percentual do excedente de vegetação nativa em relação ao déficit estimado de Reserva Legal (RL) nas microbacias apontadas como prioritárias no cenário compensação, nos estados e biomas. As microbacias prioritárias foram identificadas de modo que, sempre que possível, todo o déficit de RL possa ser compensado no próprio estado (linha tracejada horizontal). Nota-se que o total de excedente de vegetação nativa não é suficiente para compensar o déficit de alguns estados (valores < 100%), enquanto esse valor supera o total de déficit em outros estados (valores >100%).

Cenário recomposição

Para fins de comparação, os resultados aqui apresentados e discutidos são referentes às microbacias de maior prioridade (classe “Extremamente alta”), as quais potencialmente ofereciam os maiores benefícios ambientais e socioeconômicos, se recompostas. Estas microbacias englobam no mínimo 25% do déficit de vegetação em APP e RL de cada estado nos biomas, e cobrem 9,8% da área total do país (Figura 4). Mata Atlântica (21%), Pampa (16%) e Cerrado (15%) apresentaram as maiores porcentagens da área do bioma coberta por microbacias prioritárias (Figura 3 e Tabela 5).

As microbacias de prioridade “extremamente alta” englobam cerca de 1,9 Mha de déficit de APP (24,4% do déficit total) e 3 Mha de RL (28,3% do déficit total, Tabela 6). A recomposição da vegetação nativa nessas áreas representaria 40% da meta brasileira expressa no PLANAVEG, que é de 12 Mha até 2030. O custo estimado para a recomposição destes 4,9 Mha é de aproximadamente R\$56 bilhões, sendo valores mais expressivos encontrados para recomposição do déficit de vegetação na Mata Atlântica (R\$ 28,5 bilhões), Cerrado (R\$ 14,4 bilhões) e Amazônia (R\$ 7,2 bilhões, Tabela 7 e Tabelas 7 e 8 do Apêndice).

A recomposição do déficit de vegetação incluído nas áreas de prioridade “extremamente alta” pode contribuir para o sequestro de cerca de 0,74 Gt de carbono, proteção de 63 Mha (12%) de microbacias de cabeceiras e 3 Mha (19%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão hídrica, cobrindo áreas em que 17%, em média, do valor da produção agrícola depende de polinizadores (Tabela 6). Além disso, proporciona um aumento médio de aproximadamente 40% na disponibilidade de habitat para espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção, quando associadas às UCs e TIs (Tabela 6).

Estão presentes nas microbacias prioritárias cerca de 12,9 Mha (25,3%) de áreas de pastagens degradadas, 22 Mha (11,2%) de áreas de baixa aptidão agrícola e 806 ha de áreas com alto potencial de regeneração natural (Tabela 8).

A recomposição de 4,9 Mha do déficit de APP e RL nas microbacias de prioridade “extremamente alta” somaria aos mais de 897 Mha (13,8%) de vegetação nativa florestal e não florestal presentes nessas áreas (Tabela 8). Se realizada de forma estratégica, a recomposição das microbacias prioritárias possibilitaria uma maior conectividade para a paisagem e traria benefícios ecológicos para os mais 13,5 Mha (15,4%) de áreas utilizadas para agropecuária presentes nessas áreas. Por fim, a recomposição também poderia ser realizada nos mais de 7,6 Mha de Áreas de Proteção Ambiental (17%) situadas nas microbacias prioritárias, de forma a melhorar a qualidade do habitat destas unidades de conservação (Tabela 8).

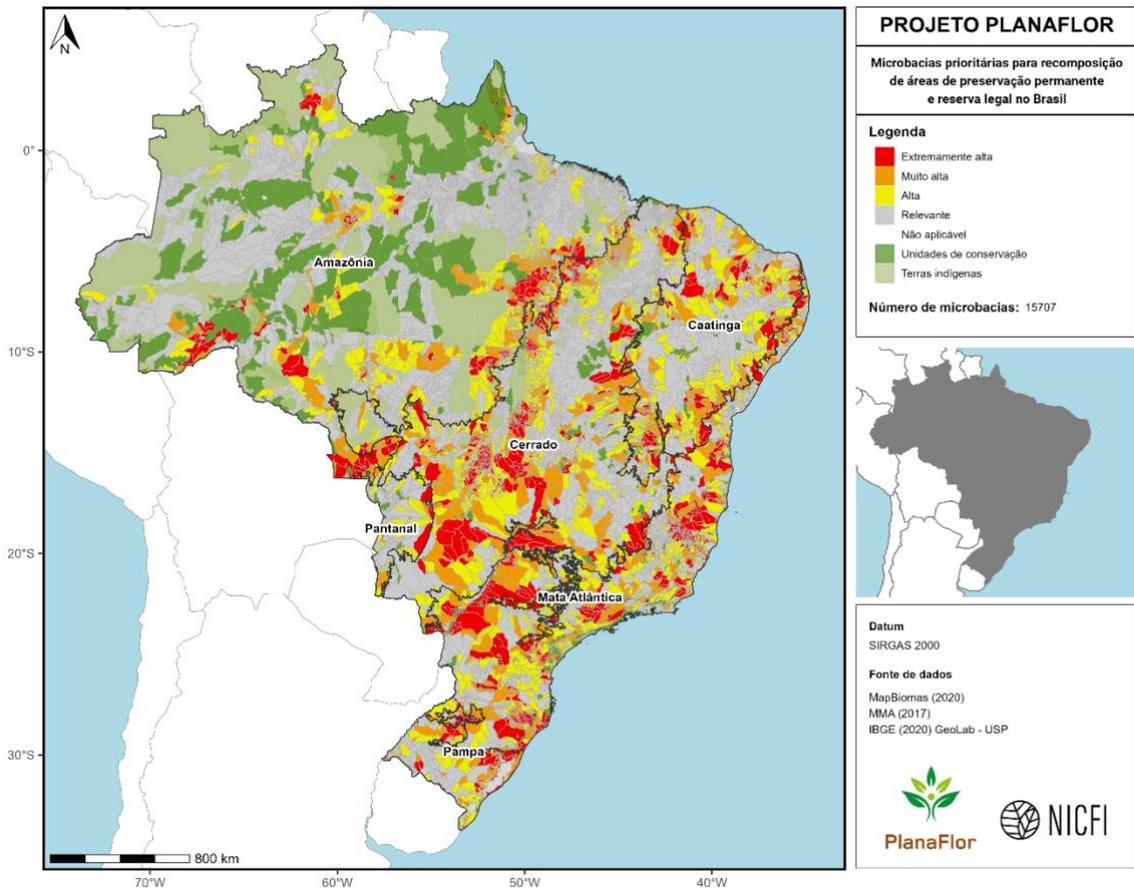


Figura 3. Microbasias identificadas como prioritárias para recomposição do déficit de vegetação nativa em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) nos biomas do Brasil. As microbasias foram classificadas em níveis decrescente de prioridades, de modo a representar uma determinada porcentagem do déficit total de RL e APP do estado no bioma. “Extremamente Alta” (no mínimo 25% do déficit total), “Muito Alta” (no mínimo 50% do déficit total), “Alta” (no mínimo 75% do déficit total), “Relevante” (100% do déficit). Microbasias não passíveis de serem recompostas por não apresentarem déficit foram classificadas como “Não aplicável”.

Tabela 5. Área (em milhões de hectares) das classes de microbacias prioritárias para recomposição do déficit de vegetação em Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, por bioma e para o Brasil. O percentual da área das microbacias em relação à área de cada bioma e do Brasil é apresentado nos valores entre parênteses.

Bioma	Áreas protegidas	Classes de prioridade			
		Extremamente alta	Muito alta	Alta	Relevante
Amazônia	204,34	220,98	246,79	286,71	430,68
	(47,4)	(51,3)	(57,3)	(66,5)	(100)
Caatinga	2,62	11,97	26,85	50,22	86,27
	(3)	(13,9)	(31,1)	(58,2)	(100)
Cerrado	14,43	45,25	84,46	127,45	199,22
	(7,2)	(22,7)	(42,4)	(64,0)	(100)
Mata Atlântica	4,07	27,41	51,16	79,18	110,45
	(3,7)	(24,8)	(46,3)	(71,7)	(100)
Pampa	0,14	3,19	7,07	11,73	18,07
	(0,7)	(17,6)	(39,1)	(64,9)	(100)
Pantanal	0,94	2,54	3,56	7,58	15,09
	(6,2)	(16,8)	(23,6)	(50,2)	(100)
Brasil	226,53	311,35	419,89	562,86	859,78
	(26,3)	(36,2)	(48,8)	(65,5)	(100)

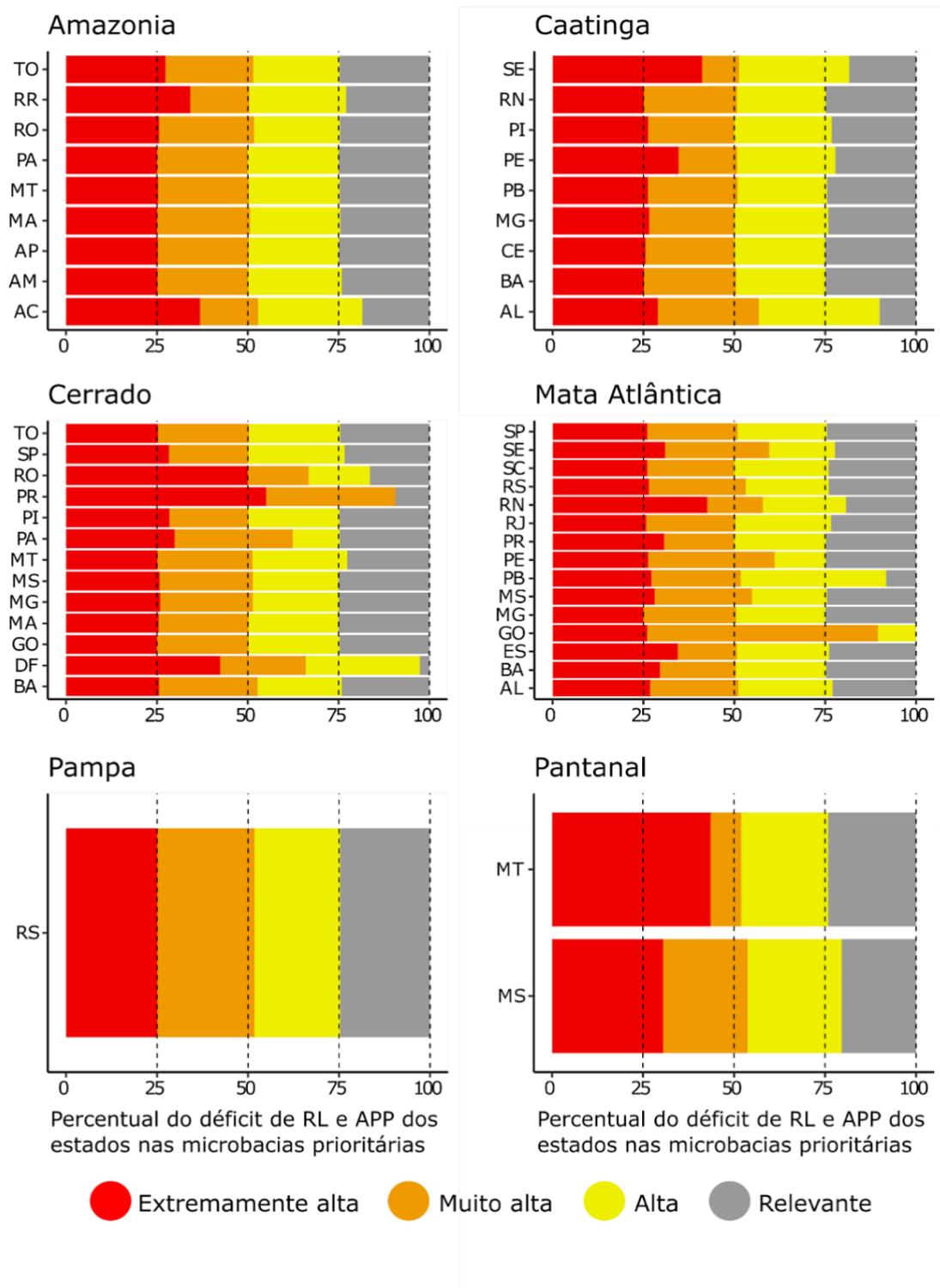


Figura 4. Percentual do déficit estimado de vegetação nativa dos estados nas diferentes classes de microbacias apontadas como prioritárias no cenário recomposição. Para microbacias que eventualmente cobriram duas ou mais categorias de déficits, foi considerada a categoria de maior prioridade.

Tabela 6. Potenciais benefícios ambientais que podem ser atingidos através da recomposição do déficit de vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) nas microbacias prioritárias. O percentual de representação dos indicadores nas microbacias prioritárias é mostrado entre parêntesis. Os valores das classes de prioridades são cumulativos, e já consideram a contribuição das áreas protegidas.

Indicadores	Unidade	Áreas protegidas	Classes de prioridade			
			Extremamente Alta	Muito Alta	Alta	Relevante
Déficit de Áreas de Preservação Permanente	Mha	-	1,97 (24%)	3,93 (49%)	6,0113 (74%)	8,12 (100%)
Déficit de Reserva Legal	Mha	-	3,02 (28%)	5,65 (53%)	8,251 (77%)	10,73 (100%)
Microbacias hidrográficas de cabeceira	Mha	141,8 (27%)	204,83 (39%)	280,94 (53%)	376,37 (72%)	525,28 (100%)
Sequestro de carbono na biomassa acima e abaixo do solo	Gt	-	0,74 (28%)	1,37 (52%)	2,02 (77%)	2,44 (93%)
Proporção da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	%	19	55	71	88	100
Alta vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	Mha	1,1 (2)	3,15 (21%)	6,43 (42%)	10,85 (71%)	15,26 (100%)
Distribuição geográfica das espécies ameaçadas de extinção	%	30	40	58	78	100

Tabela 7. Custo médio estimado (em bilhões de reais) para a recomposição do déficit de vegetação em Áreas de Preservação Permanente e Reserva legal nas microbacias apontadas como prioritárias, por bioma e para o Brasil.

Bioma	Classes de prioridade			
	Extremamente alta	Muito alta	Alta	Relevante
Amazônia	7,22	5,51	4,57	3,36
Caatinga	3,27	2,53	2,61	2,24
Cerrado	14,43	13,89	14,07	13,70
Mata Atlântica	28,55	23,27	22,58	21,38
Pampa	2,23	2,49	1,24	1,25
Pantanal	0,56	0,25	0,13	0,05
Brasil	56,26	47,93	45,20	41,98

Tabela 8. Representação (em milhões de hectares) dos indicadores em áreas protegidas e nas diferentes classes de prioridades para recomposição do déficit de vegetação em Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal no Brasil. O percentual médio de representação dos indicadores nas microbacias prioritárias é apresentado entre parêntesis. Os valores das classes de prioridades são cumulativos, e já consideram a contribuição das áreas protegidas.

Indicadores	Áreas protegidas	Classes de prioridade			
		Extremamente Alta	Muito Alta	Alta	Relevante
Remanescentes de vegetação nativa florestal	200,71 (48)	217,93 (53)	243,88 (59)	281,76 (68)	414,43 (100)
Remanescentes de vegetação nativa não florestal	19,3 (12)	34,86 (22)	56,82 (35)	91,65 (57)	160,62 (99)
Áreas utilizadas para agropecuária	0,68 (0)	14,22 (16)	1,93 (36)	56,6 (65)	87,64 (100)
Áreas de Proteção Ambiental (APAs)	3,51 (7)	11,1 (25)	20,77 (46)	29,28 (65)	44,92 (100)
Pastagens degradadas	0,41 (0)	13,35 (26)	26,41 (52)	38,7 (76)	50,99 (100)
Áreas com alto potencial de regeneração natural	0,0003 (3)	0,0011 (11)	0,0022 (22)	0,0041 (41)	0,01 (99)
Áreas com baixa aptidão para agricultura	43,81 (22)	65,87 (34)	93,61 (48)	131,92 (67)	196,15 (100)

Áreas protegidas

Cerca de 48% (510 Mha) do total de vegetação nativa florestal e 12% (170 Mha) de vegetação nativa não florestal estão presentes nestas áreas, principalmente na Amazônia. As áreas protegidas também são importantes para a manutenção de serviços ecossistêmicos ao proteger 27% das áreas importantes para geração e manutenção dos recursos hídricos que estão contempladas nestas áreas.

As áreas prioritárias para recomposição de RL e APP apresentadas neste relatório visam complementar essa proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos exercida pelas áreas protegidas já existentes. Na Amazônia, por exemplo, grande parte das áreas prioritárias foram identificadas em áreas adjacentes às UCs e TIs no bioma (Figura 3). Regiões que carecem de áreas protegidas, como o oeste do estado de SP, por exemplo, apresentam prioridade extremamente alta em função do déficit de vegetação nativa existente nessa região, que carecem dos serviços ecossistêmicos prestados por ela para a produção agrícola e para a população.

Tabela 9. Representação dos indicadores nas áreas protegidas (unidades de conservação e terras indígenas). O percentual de representação dos indicadores nas áreas protegidas em relação à sua distribuição total no Brasil é apresentado entre parêntesis.

Indicadores	Unidade	Áreas protegidas	
		Unidades de conservação	Terras indígenas
Remanescentes de vegetação nativa florestal	Mha	96,32 (23%)	104,39 (25%)
Remanescentes de vegetação nativa não florestal	Mha	8,54 (5%)	10,76 (7%)
Microbacias hidrográficas de cabeceira	Mha	66,75 (13%)	75,05 (14%)
Proporção da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	%	19	19
Alta vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	Mha	0,11 (1%)	0,09 (1%)
Distribuição geográfica das espécies ameaçadas de extinção	%	14	16

Discussão

Cenário compensação

As microbacias prioritárias para compensação de RL foram identificadas em áreas que maximizam os benefícios ecológicos e minimizam os custos de transação, representando quase 11% do território do Brasil. A vegetação excedente dessas microbacias representa um estoque de aproximadamente 16% do total de carbono na vegetação excedente do país, englobam 56 Mha (11%) de microbacias de cabeceiras, aproximadamente 3 Mha (22%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão hídrica e garantem a proteção de cerca de 42% da área de distribuição geográfica das espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção. Porém, importante ressaltar que essa compensação tem um custo, e se considerarmos o custo de transação de CRA, pode chegar a R\$336 bilhões.

Portanto, é importante que instrumentos econômicos para implementação da LPVN estejam articulados para que os produtores viabilizem a regularização de suas propriedades e execução dos PRADAs, seja por meio de projetos de recomposição da vegetação ou compensação, pois ambos demandam recursos. Crédito rural, PSA e outros instrumentos podem auxiliar os produtores em atingir suas metas de recomposição de RL. Além disso, a valorização da vegetação nativa conservada por meio de exploração sustentável é essencial para a viabilização dessa regularização. Diferente das APPs, onde somente atividades de baixo impacto ambiental podem ser desenvolvidas (Art 8º; Seção II; Lei 12.651 de 2012), na RL é permitido o manejo florestal madeireiro sustentável, incluindo o cultivo de espécies exóticas (Art. 66 §3 inciso II). Até 50% da área recuperada de RL pode ser explorada economicamente. Assim, o proprietário da terra pode ter retorno econômico, muitas vezes maior do que com o uso de pastagem degradada em áreas declivosas, por exemplo (Mello *et al.*, 2021; Metzger *et al.*, 2019).

Os resultados mostram também que o Brasil possui diferentes geografias da distribuição de déficit de RL e excedentes de vegetação nativa. Alguns estados nos biomas como São Paulo no Cerrado, Tocantins na Amazônia e Paraná na Mata Atlântica não possuem uma oferta grande de excedentes de vegetação nativa comparada com a demanda (déficit), o que pode levar à necessidade de restauração de parte do déficit de RL (Mello *et al.*, 2021).

Porém, para a maioria dos estados há maior oferta potencial de áreas para compensação do que o déficit estimado. Considerando que a área de excedente de vegetação nativa no Brasil é muito maior do que a demanda estimada de compensação de RL, mesmo com a implementação da LPVN essas áreas naturais continuarão sob ameaça (com exceção da Mata Atlântica que possui lei específica). Portanto, políticas de incentivo econômico para o desmatamento zero são necessárias, além de políticas de comando e controle, como a própria LPVN. Esses incentivos econômicos devem valorizar a conservação dos excedentes de vegetação nativa com base em estratégias de aproveitamento econômico dos remanescentes (Cullen Jr, 2020).

Além de uma fonte de recursos para uso na propriedade, tanto a RL como os excedentes de vegetação nativa fornecem serviços ecossistêmicos importantes para a própria produção agrícola, como a produção de água, polinização das culturas agrícolas e controle natural de pragas (Joly *et al.*, 2019). Esses serviços, por sua vez, podem vir a ser remunerados por meio de PSA, gerando renda extra ao produtor rural, com exemplo do Conexão Mata Atlântica. O programa beneficia produtores rurais que promovam ações de conservação de remanescentes de vegetação nativa, principalmente localizada em zonas de amortecimento de Unidades de Conservação. Outros programas com frutas nativas (como o fruto da palmeira Juçara) ou outros produtos florestais como o “vindo da seringueira”, são exemplos em andamento no estado de São Paulo. Outro exemplo é o programa “Produtor de Água”, da Agência Nacional de Água (ANA), que beneficia produtores rurais que conservam e restauram vegetação nativa essencial para proteger nascentes e cursos d’água.

Cenário recomposição

Os resultados deste relatório indicam que recompondo 25% do déficit de RL e APPs de cada estado conseguimos atingir 40% da meta brasileira expressa no PLANAVEG, que é de 12 Mha até 2030. O custo estimado para a recomposição destes 4,9 Mha é de aproximadamente R\$56 bilhões. Essa restauração contribui para o sequestro de 0,74 Gt de carbono, proteção de 63 Mha (12%) de microbacias de cabeceiras e 3 Mha (19%) de solos com alta vulnerabilidade à erosão hídrica. As microbacias de maior prioridade contêm 12,9 Mha (25,3%) de áreas de pastagens degradadas do Brasil, 22 Mha (11,2%) de áreas de baixa aptidão agrícola e 806 ha de áreas com alto potencial de regeneração natural. Importante ressaltar também que parte dessa recomposição aconteceria em APA, de forma a melhorar a qualidade do habitat destas unidades de conservação. Além disso, nossos resultados identificaram microbacias prioritárias para a recomposição que são adjacentes a UC de proteção integral, contribuindo para a conectividade dessas áreas protegidas com a paisagem e minimizando os impactos de atividades antrópicas em suas zonas de amortecimento. Portanto, o direcionamento dos esforços de recomposição de vegetação nativa nas áreas prioritárias apontadas neste relatório pode representar maiores ganhos ambientais com menores investimentos (Strassburg *et al.*, 2019).

Mesmo com a otimização da recomposição de vegetação nativa em larga-escada, devemos considerar que essas ações demandam investimento do produtor rural. Considerando os custos da recomposição, que podem chegar a mais de R\$30 mil por hectare em alguns biomas, é importante considerar o uso de espécies com potencial econômico no planejamento da recomposição. Neste sentido, a legislação permite que imóveis com até quatro módulos fiscais utilizem espécies exóticas perenes para recomposição da APP e sistemas agroflorestais (SAF), desde que mantenham atividades de baixo impacto nestas áreas. A RL também pode ser recomposta com o uso de espécies exóticas em até 50% da área em todos os imóveis rurais.

A adoção de SAF assim como o plantio de florestas multifuncionais para a recomposição de APP e RL são bastante promissores, pois consideram a possibilidade de exploração de diversos produtos (agrícolas, madeireiros e não madeireiros) gerando renda em curto, médio e longo prazo. Por essa característica, os SAFs possuem retorno de investimento em um prazo mais curto, estimado em 10 anos. Sistemas silviculturais de espécies nativas, cujo objetivo principal é a exploração de madeira, possuem menor liquidez e um retorno de investimento estimado em 23 anos (Soares *et al.*, 2021). São diversas as possibilidades de recomposição de APP e RL com potencial de geração de renda. O poder público deverá dar o suporte para que estas estratégias sejam implementadas, através de linhas de financiamento diferenciadas com períodos de carência e juros adequados para desenvolvimento destas atividades. Além disso, programas de PSA podem contribuir para o incentivo ao cumprimento da legislação por meio de recomposição das APPs e RL, mesmo programas simples com financiamento do cercamento das áreas para isolamento do gado, permitindo a regeneração natural desses ambientes, como é o caso de algumas frentes do Conexão Mata Atlântica.

[\(https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/cma/portal/\)](https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/cma/portal/).

A priorização apresentada deve embasar o planejamento estratégico de por onde começar as ações de recomposição de vegetação nativa no Brasil, porém, é importante ressaltar que todo o déficit de APP deve ser restaurado, e embora o déficit de RL possa ser compensado, parte deste deve ser restaurado por falta de oferta de excedentes em alguns estados (Mello *et al.*, 2021). Os diagnósticos realizados para elaboração do PlanaFlor demonstram que a partir de um planejamento de curto, médio e longo prazo será possível regularizar todo o déficit de vegetação nativa em APP e RL, a partir da implementação das estratégias dispostas no PLANAVEG (Brasil, 2017a) e descritas na Tabela 10.

Para concluir, os resultados deste poderão apoiar à definição de estratégias diferenciadas para as regiões prioritárias considerando os diferentes contextos de cada estado, com geografias variadas de distribuição dos excedentes a serem ofertados para compensação, o déficit a ser compensado e áreas disponíveis para restauração, para traçar estratégias múltiplas considerando diferentes instrumentos tanto de compensação em outras propriedades como de recomposição da vegetação nativa na mesma propriedade do déficit. Os resultados de priorização de ambos os cenários devem ser combinados para traçar o plano estratégico de implementação da LPVN nos estados brasileiros. Além disso, nossos resultados trazem a preocupação com estratégias de conservação dos remanescentes de vegetação nativa no Brasil para além da implementação da LPVN e de áreas protegidas, com a necessidade de outras políticas públicas para a valorização e conservação dos excedentes de vegetação nativa que não estão protegidos pela LPVN.

Tabela 10. Estratégias dispostas no PLANAVEG para regularização do déficit de vegetação nativa em áreas de RL e APP.

Estratégia	Descrição
Sensibilização	Lançar movimento de comunicação com foco em agricultores, agronegócio, população urbana, credores, líderes de opinião e tomadores de decisão, a fim de promover a consciência sobre o que é a recuperação da vegetação nativa, onde e como deve ser realizada, quais benefícios ela traz e como se envolver e apoiar este processo.
Sementes e Mudas	Promover a cadeia produtiva da recuperação da vegetação nativa por meio do aumento da capacidade de viveiros, de produtores de sementes e demais estruturas para produção de espécies nativas e racionalizar as políticas para melhorar a quantidade, qualidade e acesso às sementes e mudas de espécies nativas.
Mercados	Fomentar mercados para os produtos e serviços ecossistêmicos gerados durante o processo de recuperação ou em áreas já recuperadas, gerando receita para os proprietários de terras envolvidos por meio da comercialização de produtos madeireiros e não-madeireiros, bem como o pagamento pela provisão de serviços ecossistêmicos como a proteção de corpos hídricos e áreas de recargas de aquíferos, aumento do estoque de carbono, entre outros.
Instituições	Definir os papéis e responsabilidades entre os órgãos de governo, empresas e a sociedade civil, e alinhar e integrar as políticas públicas existentes e novas em prol da recuperação da vegetação nativa.
Mecanismos Financeiros	Desenvolver mecanismos financeiros inovadores para incentivar a recuperação da vegetação nativa, incluindo empréstimos bancários preferenciais, doações, compensações ambientais, isenções fiscais específicas e títulos florestais.
Extensão Rural	Expandir os serviços de extensão rural (públicos e privados) com objetivo de contribuir para capacitação dos proprietários de terras, com destaque para os métodos de recuperação de baixo custo.
Planejamento Espacial e Monitoramento	Implementar um sistema nacional de planejamento espacial e de monitoramento para apoiar o processo de tomada de decisão para a recuperação da vegetação nativa.
Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação	Aumentar a escala e o foco do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação para reduzir o custo, melhorar a qualidade e aumentar a eficiência da recuperação da vegetação nativa, considerando os fatores ambientais, sociais e econômicos.

Base de dados

Os dados utilizados na priorização espacial nos cenários de recomposição de APP e RL e compensação de RL estão sumarizados na Tabela 11 e descritos em seguida. Vale destacar que os dados de uso e cobertura da terra são provenientes do MapBiomias coleção 5.0 (mapbiomas.org/download) para o ano de 2019. Essa base de dados possui a distribuição espacial de diversas classes de uso naturais e antrópicos com resolução espacial de 30 m² para todo o Brasil. Esta base foi adotada, por ser desenvolvida por meio de uma metodologia transparente e por ser amplamente utilizada em artigos científicos e no suporte à tomada de decisão ambiental. Para análise de priorização espacial, a resolução dos rasters de uso e cobertura da terra foi alterada para 1 km².

Tabela 11. Dados utilizados para identificação de microbacias prioritárias para compensação e restauração da vegetação nativa no Brasil.

Grupo	Nome	Descrição	Fonte
Unidades de planejamento	Microbacias hidrográficas	Limites das otobacias nível 5	ANA (2021)
Biomias	Biomias brasileiros	Limites dos biomas brasileiros (versão 2019)	IBGE (2019)
Áreas protegidas	Unidades de conservação (UCs) e terras indígenas (TIs)	Limites das UCs (federais, estaduais e municipais) e das TIs utilizados como máscara (áreas de alto importância) na priorização	MMA (2019), Secretarias de Meio Ambiente estaduais (2021) e FUNAI (2019)
Áreas protegidas	Áreas de Proteção Ambiental (APAs)	Limites das APAs	MMA (2019) e Secretarias de Meio Ambiente estaduais (2021)
Uso e cobertura da terra	Déficit de Áreas de Preservação Permanente (APPs)	APP sem a presença de cobertura vegetal (déficit) resumido na escala de microbacia nível 5	GEOLAB (USP); Freitas <i>et al.</i> (2017)
Uso e cobertura da terra	Déficit de Reserva Legal (RL)	Áreas de RL sem a presença de cobertura vegetal (déficit) resumido na escala de microbacia nível 5	GEOLAB (USP); Freitas <i>et al.</i> (2017)
Uso e cobertura da terra	Excedente de Reserva Legal (RL)	Vegetação nativa excedente à RL resumido na escala de microbacia nível 5	GEOLAB (USP); Freitas <i>et al.</i> (2017)
Uso e cobertura da terra	Remanescentes de vegetação nativa florestal	Áreas de vegetação nativa composta por florestas em estágios sucessionais avançados ou intermediários. Classe "Formação florestal"	MapBiomias (2020)
Uso e cobertura da terra	Remanescente de vegetação nativa não florestal	Áreas de vegetação nativa composta principalmente por arbustos e gramíneas. Classes "Formação campestre", "Formação	MapBiomias (2020)

Grupo	Nome	Descrição	Fonte
		savânica” e “Formação natural não florestal”	
Uso e cobertura da terra	Áreas utilizadas para agropecuária	Áreas utilizadas para agricultura e pecuária. Classes “Agricultura”, “Mosaico de agricultura e pastagem”, “Lavoura temporária”, “Cana”, “Lavoura perene”, “Soja”, e “Outras lavouras temporárias”	MapBiomass (2020)
Uso e cobertura da terra	Pastagens degradadas	Áreas de pastagens degradadas com níveis de degradação médio ou alto	MapBiomass (2020)
Custos	Potencial de regeneração natural	Potencial de regeneração natural classificado como baixo, médio e alto	PlanaFlor (2021); adaptado de Brasil (2017b)
Custos	Aptidão agrícola	Aptidão de áreas para cultivo de culturas anuais classificada como alta, média e baixa	PlanaFlor (2021); adaptado de Sparovek <i>et al.</i> (2015)
Serviços ecossistêmicos	Microbacias hidrográficas de cabeceira	Limites das otobacias nível 5 que fornecem água para outras bacias a jusante e não recebem água de outras bacias a montante	PlanaFlor (2021). Adaptado de ANA (2017)
Serviços ecossistêmicos	Estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo	Estoque de carbono acima e abaixo do solo na vegetação original presente nos biomas brasileiros	Soares-Filho <i>et al.</i> (2016)
Serviço ecossistêmico	Porcentagem da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	Porcentagem da produção agrícola municipal dependente de polinização realizada por animais	Bergamo <i>et al.</i> (2021)
Serviços ecossistêmicos	Vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	Grau de vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos considerando cobertura vegetal natural ou o uso agropecuário. A vulnerabilidade é dividida em cinco níveis: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.	EMBRAPA (2019)
Custos	Custo de transação das Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	Preço de aquisição (convertido em R\$ por hectare) das CRA	Soares-Filho <i>et al.</i> (2016)
Espécies	Distribuição geográfica da flora ameaçada de extinção	Distribuição geográfica de 1.798 espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção	Martinelli and Moraes (2013)
Espécies	Distribuição geográfica da fauna ameaçada de extinção	Distribuição geográfica de 415 espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção	IUCN (2021)

Processamento de dados em sistema de informação geográfica

Um passo importante para realização de análises de priorização espacial foi a padronização dos dados de entrada no programa utilizado. Todos os dados obtidos foram associados a um *raster* padrão com resolução espacial de 1 km² e com extensão dos limites territoriais do Brasil. As bases de dados utilizadas foram obtidas a partir de diferentes fontes em formato matricial (*raster*) ou vetorial (*shapefile*), e algumas técnicas foram utilizadas para processá-las.

Os dados em formato *shapefile* foram convertidos em formato *raster* com resolução espacial de 1 km². Já aqueles obtidos em formato *raster* tiveram, sempre que necessário, sua resolução alterada para 1 km² utilizando o método do “vizinho mais próximo” ou de interpolação bilinear. O método do “vizinho mais próximo” foi utilizado para a reamostragem de dados categóricos (p. ex., dados de uso da terra), uma vez que os valores originais das células do *raster* são preservados. O método de interpolação bilinear foi usado para a reamostragem de dados contínuos (p. ex., estoque de carbono na vegetação, custo de aquisição das CRA), no qual o valor a ser atribuído a uma célula é calculado por meio da média ponderada de quatro células mais próximas à célula focal.

Por fim, todos os dados foram recortados para os limites de cada bioma brasileiro (IBGE 2019), para adequar à escala de desenvolvimento da priorização de áreas realizada.

Microbacias Hidrográficas

A seleção das áreas prioritárias para recomposição e compensação do déficit de vegetação nativa foi realizada considerando as regiões hidrográficas adotadas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Assim, foram utilizadas como unidades de planejamento os limites das microbacias hidrográficas nível 5 (classificação de Otto Pfafstetter 2021), determinadas pela Divisão Hidrográfica Nacional (Resolução do CNRH 32, de 15 de outubro de 2003) e disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA; www.ana.gov.br). Informações sobre a quantidade e localização das microbacias no território nacional e por bioma estão presentes na Tabela 12 e Figura 5, respectivamente.

A consideração das microbacias como unidade básica de planejamento para identificação de áreas prioritárias tem como objetivo facilitar a tomada de decisão e aplicação de das ações, visto que muitas microbacias possuem comitês compostos por representantes de vários setores da sociedade civil.

Tabela 12. Número e área (em hectares) das microbacias hidrográficas (ottobacias nível 5) presentes nos limites do Brasil e dos biomas.

Bioma	Número de ottobacias	Área mínima	Área média	Área máxima
Amazônia	7.184	0,11	58.678,33	4.308.329,28
Caatinga	1.389	0,15	62.357,02	1.340.134,04
Cerrado	4.563	0,003	43.647,72	1.861.205,50
Mata Atlântica	2.450	0,01	45.093,25	1.412.580,83
Pampa	444	0,03	41.384,55	607.159,41
Pantanal	238	1,13	63.615,17	894.082,09
Brasil	15.166	0.005	56.156,62	4.308.329,28

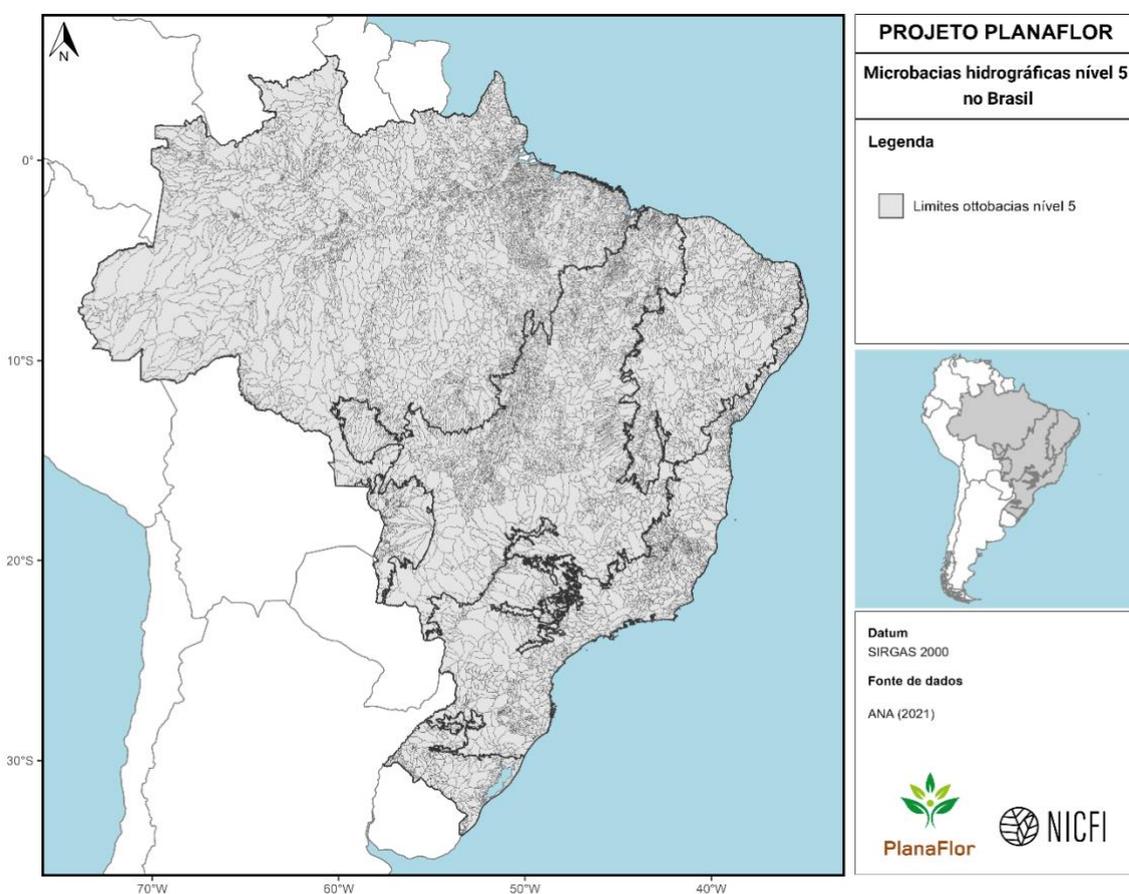


Figura 5. Limites das microbacias hidrográficas (ottobacias nível 5 da Agência Nacional de Águas) nos biomas brasileiros.

Unidades de Conservação e Terras Indígenas

Os dados das áreas protegidas em formato *shapefile* são provenientes de fontes de dados oficiais disponíveis. Os dados das Unidades de Conservação (UCs, ano 2019) foram obtidos no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA; mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm) e complementados com informações fornecidas pelas Secretarias Estaduais de Meio Ambiente. A base de dados das terras indígenas (TIs, ano 2019), são provenientes da Fundação Nacional do Índio (FUNAI; www.funai.gov.br/index.php/shape). Os shapefiles das áreas protegidas foram rasterizados para resolução espacial de 1 km² no qual valores 1 representam TIs e valores 2 UCs. Isso faz com que a importância relativa das UCs seja o dobro quando comparada com TIs. A quantidade e localização das áreas protegidas no Brasil e em cada bioma estão apresentadas na Tabela 13 e Figura 6, respectivamente. As UCs e as TIs foram usadas como máscara (áreas de alta importância) na priorização, de modo a garantir que as microbacias apontadas como prioritárias complementem a proteção dos alvos encontradas nas áreas protegidas.

Tabela 13. Área total em hectares das Terras Indígenas e Unidades de Conservação, por bioma e no Brasil.

Bioma	Terras indígenas	Unidades de conservação
Amazônia	97.041.390,71	97.545.198,08
Caatinga	390.205,65	2.215.973,31
Cerrado	8.317.218,88	5.332.078,17
Mata Atlântica	703.999,66	3.216.716,01
Pampa	6.928,13	126.972,46
Pantanal	443.219,11	491.940,50
Brasil	106.902.962,13	108.928.878,52

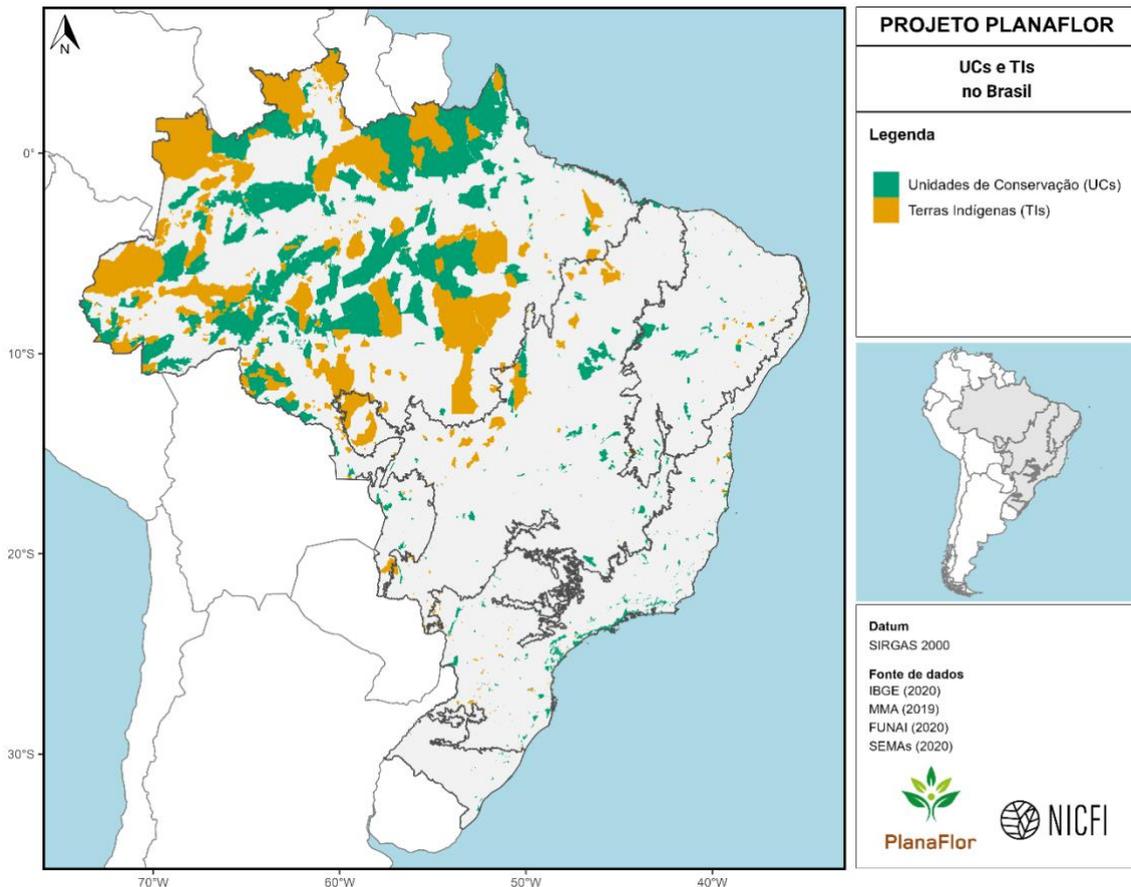


Figura 6. Unidades de conservação e terras indígenas nos biomas brasileiros.

Áreas de Proteção Ambiental

Os dados dos limites das Áreas de Proteção Ambiental (APAs), uma categoria de UCs de uso sustentável, foram obtidos seguindo a metodologia descrita no subtópico (“Unidades de Conservação e Terras Indígenas”). Diferente de outras UCs e de TIs, as APAs com déficit de vegetação nativa devem recompor as APPs e RL, segundo a LPVN. Portanto, tais áreas foram inseridas como indicador na priorização espacial e não incluídas na camada de áreas protegidas (Tabela 14 e Figura 7).

Tabela 14. Área total em hectares das Áreas de Proteção Ambiental por bioma e em nível nacional.

Bioma	Áreas de Proteção Ambiental
Amazônia	19.967.724,68
Caatinga	5.641.922,05
Cerrado	10.572.840,22
Mata Atlântica	8.158.584,96
Pampa	462.030,36
Pantanal	6.323,47
Brasil	44.809.425,73

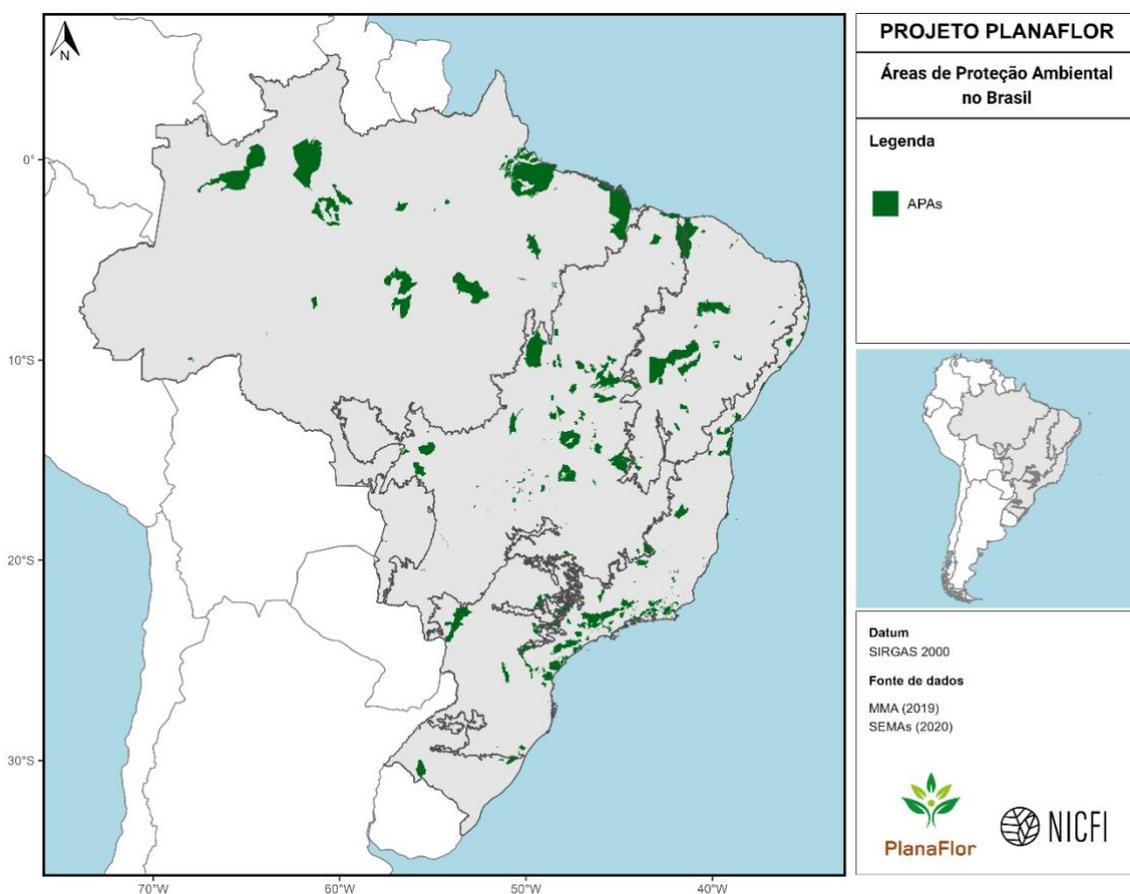


Figura 7. Áreas de Proteção Ambiental nos biomas brasileiros.

Estimativas de déficit de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal e excedente de Reserva Legal

Foram utilizados dados modelados da estimativa de déficit e excedente de vegetação nativa de (Freitas *et al.*, 2017). Esse dado utiliza uma base da malha fundiária que é cruzada com os dados de uso da terra de 2008 e dados espacializados de APPs. A modelagem computa a quantidade de vegetação nativa no imóvel no ano de 2008, ano de referência de áreas de uso consolidado na legislação, e considera os descontos para os artigos 13, 15, 61-A e 67 previstos na Lei 12.651/2012, criando uma base, em nível de propriedade, de quantidade de excedente de vegetação nativa ou estimativa de déficit de APP e RL, em hectares, para cada imóvel (Freitas *et al.*, 2017; Sparovek *et al.*, 2015). Para a adaptação do dado em nível de imóvel para a escala de Ottobacia 5, primeiramente, foi somada a estimativa de déficit de APP e RL de todos os imóveis rurais no município e, posteriormente, foi identificado o percentual da ottobacia presente naquele município, repartindo o déficit de APPs e RL do município na mesma proporção da microbacia dentro do limite municipal. Para realização do cálculo, áreas de UCs e TIs foram removidas das microbacias.

Por fim, os dados de déficit de APP e RL e excedente de RL obtidos na escala de microbacia hidrográfica nível 5 em formato *shapefile* foram convertidos em *raster* com resolução espacial de 1 km². Para isso, o valor de déficit de cada microbacia foi subdividido de acordo com o número de células dentro de cada bacia. Os valores e a localização do déficit de APP, RL e excedente de RL estão apresentados na Tabela 15 e Figuras 16 a 18, respectivamente.

Vale destacar que o total de déficit de APP e RL e excedente de RL presentes nas estimativas originais realizadas pelo GeoLab-USP é ligeiramente diferente das estimativas apresentadas na Tabela 19, provenientes dos *rasters* de déficit de APP e RL e excedente de RL utilizados na priorização espacial (Tabela 15). Isso ocorreu devido a uma mudança nos limites dos biomas realizada pelo IBGE em 2019, na qual alguns biomas tiveram aumento de área, enquanto outros apresentaram perda. As estimativas originais de déficit e excedente foram produzidas com base nos limites dos biomas do IBGE 2004, enquanto as estimativas de déficit e excedente (e todos os demais dados utilizados na priorização espacial) foram produzidas considerando os limites dos biomas mais recentes, ou seja, IBGE 2019. As principais diferenças nas estimativas de déficit e excedente ocorreram nos biomas Caatinga e Pantanal (Tabela 16). Apesar da diferença, o total de déficit e excedente nos dois tipos de dados possuem uma magnitude de valores similar.

Tabela 15. Estimativas de déficit de vegetação nativa (em hectares) em APPs e RL e excedente de vegetação nativa em áreas de RL nos biomas brasileiros.

Bioma	Déficit APP	Déficit de RL	Excedente de RL
Amazônia	1.143.264,99	3.316.921,93	10.752.990,99
Caatinga	567.892,99	164.857,80	35.680.487,26
Cerrado	1.832.423,50	3.979.176,46	43.902.047,89
Mata Atlântica	4.199.532,25	2.726.686,53	8.401.633,05
Pampa	335.167,53	467.380,44	4.230.618,99
Pantanal	42.230,52	79.212,24	7.455.650,35
Brasil	8.120.511,79	10.734.235,41	110.423.428,54

Tabela 16. Diferença (em hectares) entre os valores de déficit de vegetação nativa em APP e RL entre a modelagem original da LPVN (GeoLab USP, baseada nos limites dos biomas disponibilizados pelo IBGE em 2004) e estimativas baseadas nos limites atuais dos biomas (IBGE 2019). A coluna Variação representa a porcentagem da diferença entre as estimativas.

Bioma	Limites dos biomas IBGE 2004		Limites dos biomas IBGE 2019		Variação (%)	
	APP	RL	APP	RL	APP	RL
Amazônia	1.157.162	3.408.577	1.143.265	3.316.922	-1	-3
Caatinga	499.322	98.494	567.893	164.858	12	40
Cerrado	1.955.486	4.094.002	1.832.424	3.979.176	-7	-3
Mata Atlântica	4.172.213	2.700.277	4.199.532	2.726.687	1	1
Pampas	310.331	413.962	335.168	467.380	7	11
Pantanal	27.508	20.047	42.231	79.212	35	75

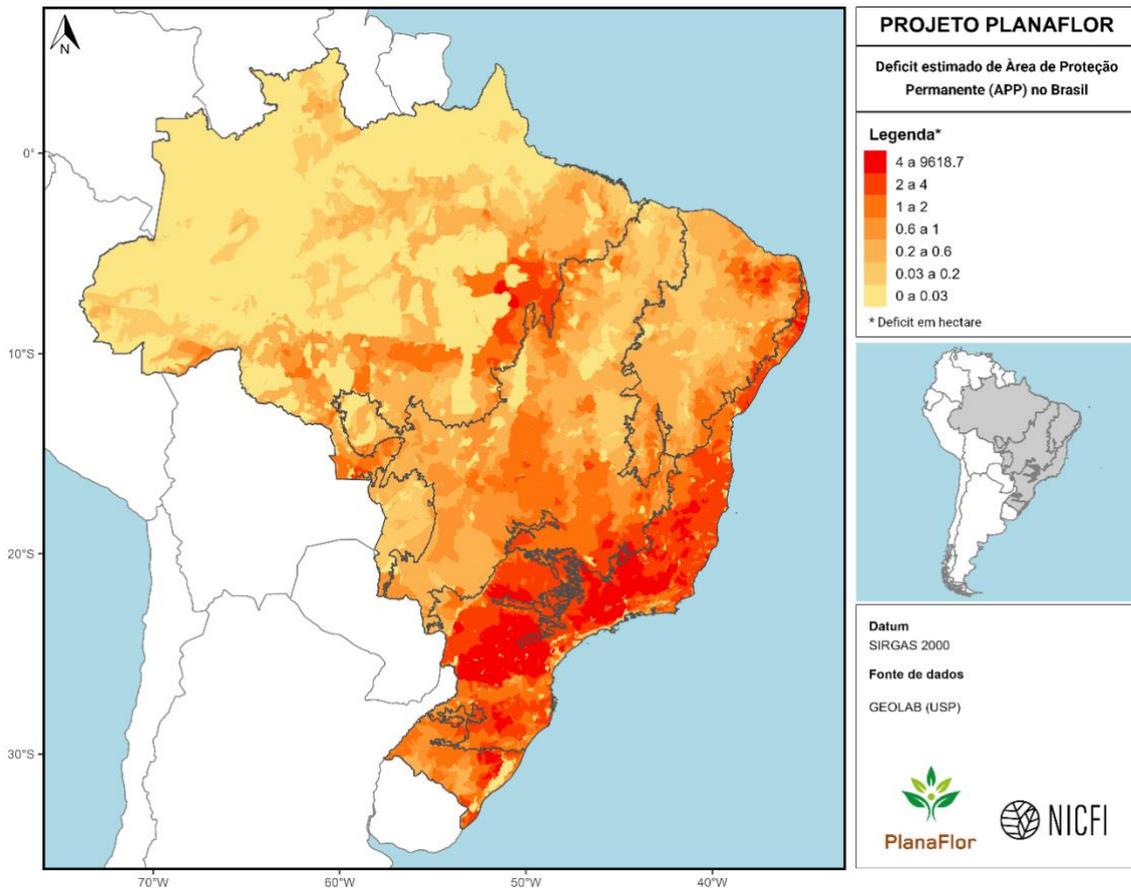


Figura 8. Estimativas de déficit de Área de Preservação Permanente no Brasil.

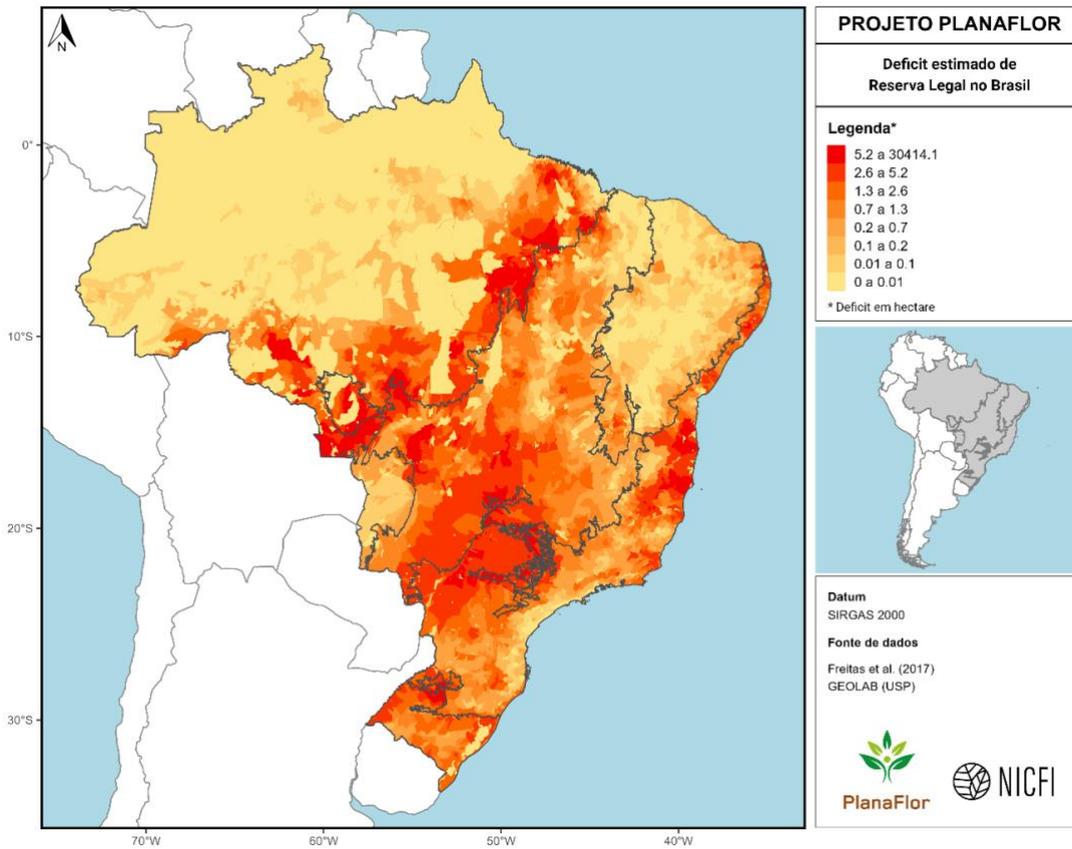


Figura 9. Estimativas de déficit de Reserva Legal no Brasil.

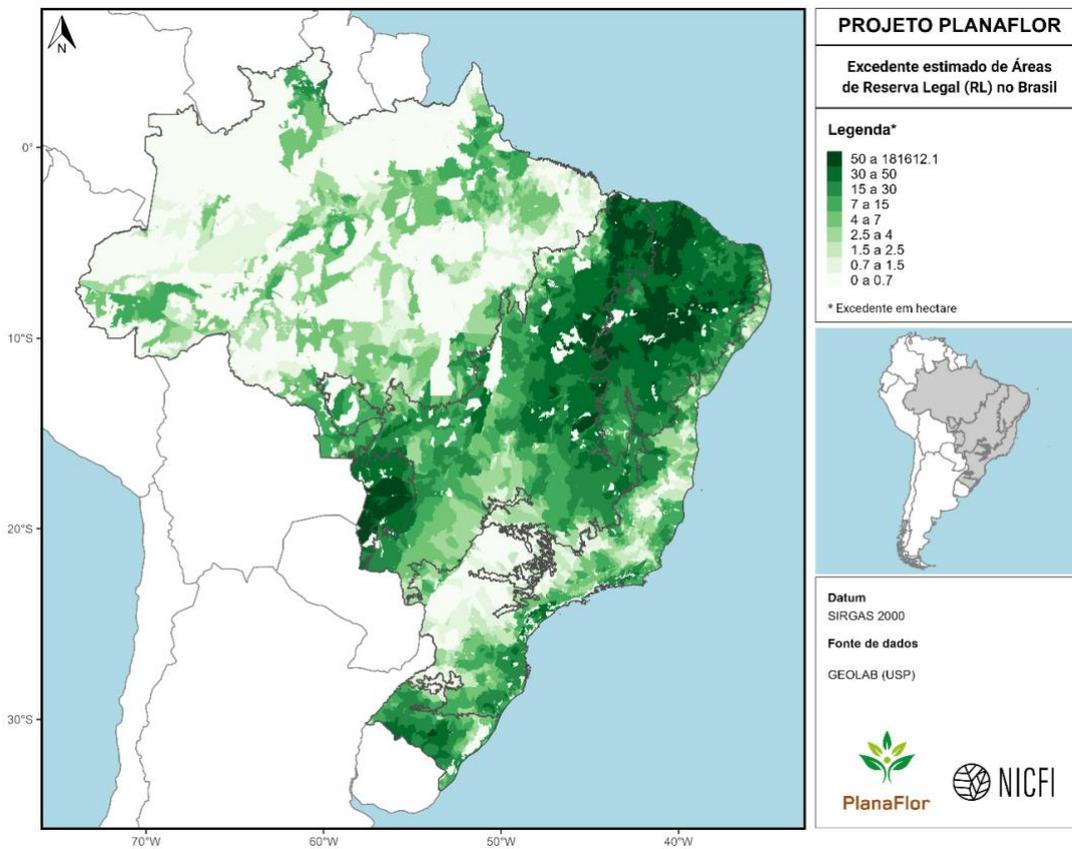


Figura 10. Estimativas de excedente de Reserva Legal no Brasil.

Remanescentes de vegetação nativa florestal

Este dado foi gerado por meio da reclassificação do *raster* de uso e cobertura da terra na resolução de 1 km², no qual a classe Formação florestal foi reclassificada para o valor 1 e as demais classes para o valor 0. A área (em hectares) coberta por vegetação nativa florestal em cada bioma e em nível nacional é mostrada na Tabela 17. A área (ha) e a localização coberta por vegetação nativa florestal estão apresentadas na Tabela 17 e Figura 11, respectivamente.

Tabela 17. Área (em hectare) coberta por vegetação nativa florestal, por bioma no Brasil.

Bioma	Área (ha)
Amazônia	334.825.670,25
Caatinga	3.991.774,94
Cerrado	29.035.743,28
Mata Atlântica	30.249.234,29
Pampa	2.510.191,46
Pantanal	2.968.232,69
Brasil	403.580.846,91

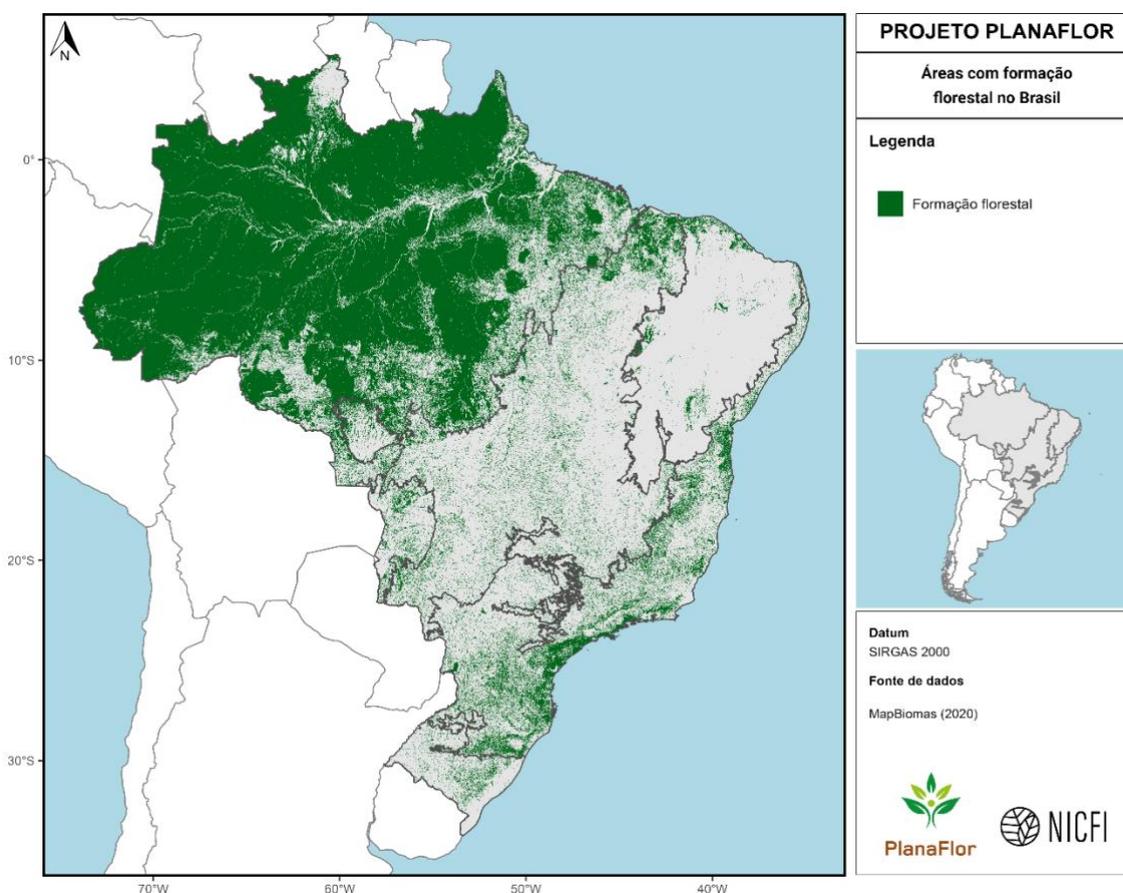


Figura 11. Remanescentes de vegetação nativa florestal nos biomas do Brasil.

Remanescente de vegetação nativa não florestal

Os dados foram gerados com base no *raster* de uso e cobertura da terra. Foram consideradas como vegetação nativa não florestal as classes Formação campestre, Formação savânica e Formação natural não florestal. Tais classes foram representadas pelo valor 1 e as demais classes valor 0. A área (em hectares) e a localização dos locais cobertos por vegetação nativa não florestal em cada bioma e em nível nacional são apresentadas na Tabela 18 e Figura 12, respectivamente.

Tabela 18. Área em hectare coberta por vegetação nativa não florestal por bioma e em nível nacional.

Bioma	Área (ha)
Amazônia	15.494.155,36
Caatinga	49.526.833,31
Cerrado	76.390.553,44
Mata Atlântica	4.327.861,64
Pampa	6.292.111,62
Pantanal	9.290.411,31
Brasil	161.321.927,31

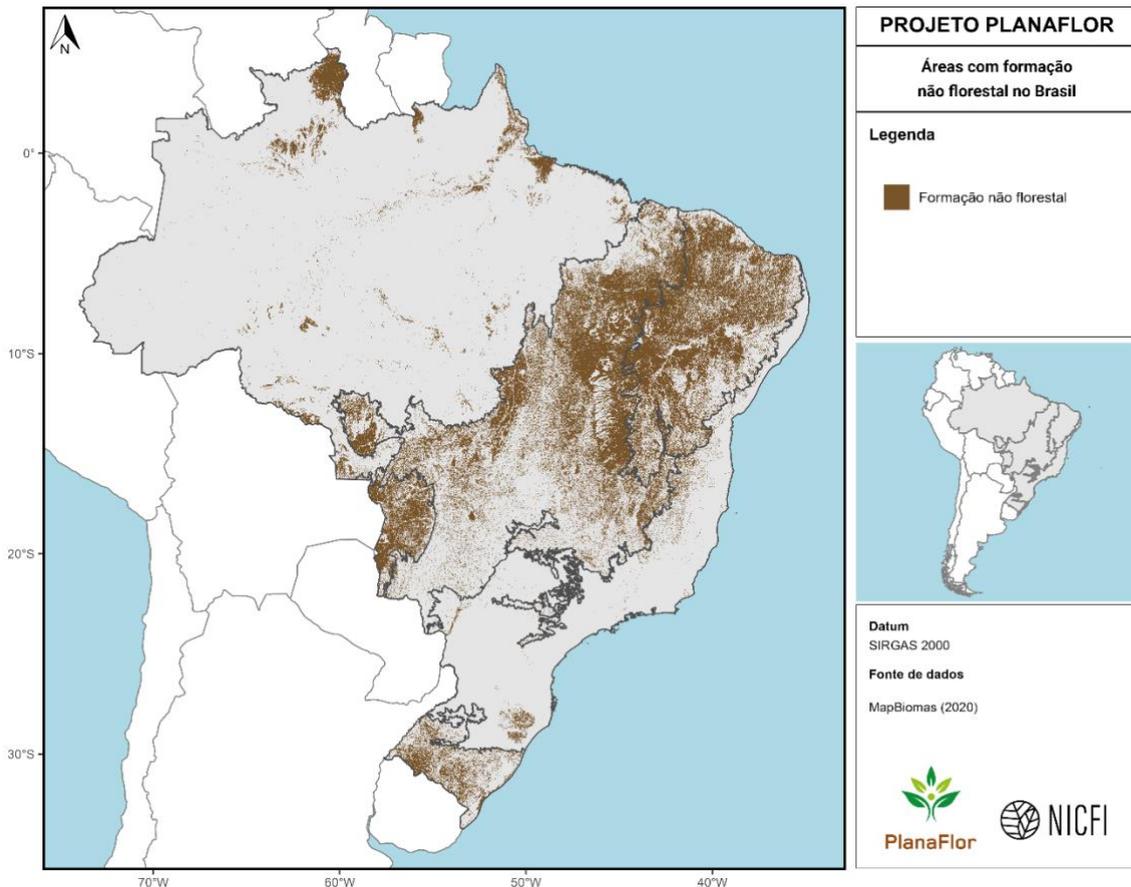


Figura 12. Remanescentes de vegetação nativa não florestal nos biomas brasileiros.

Agropecuária

O *raster* de agricultura foi gerado pela reclassificação das classes Agricultura, Mosaico de agricultura e pastagem, Lavoura temporária, Cana, Lavoura perene, Soja e outras lavouras temporárias. A área em hectare coberta por agropecuária em cada bioma e a localização em nível nacional são apresentadas na Tabela 19 e Figura 13, respectivamente.

Tabela 19. Área em hectare coberta por agropecuária por bioma e em nível nacional.

Bioma	Área
Amazônia	37.783.537,77
Caatinga	16.972.605,62
Cerrado	61.129.057,31
Mata Atlântica	57.637.538,34
Pampa	7.967.261,40
Pantanal	1.1539.897,76
Brasil	183.029.898,20

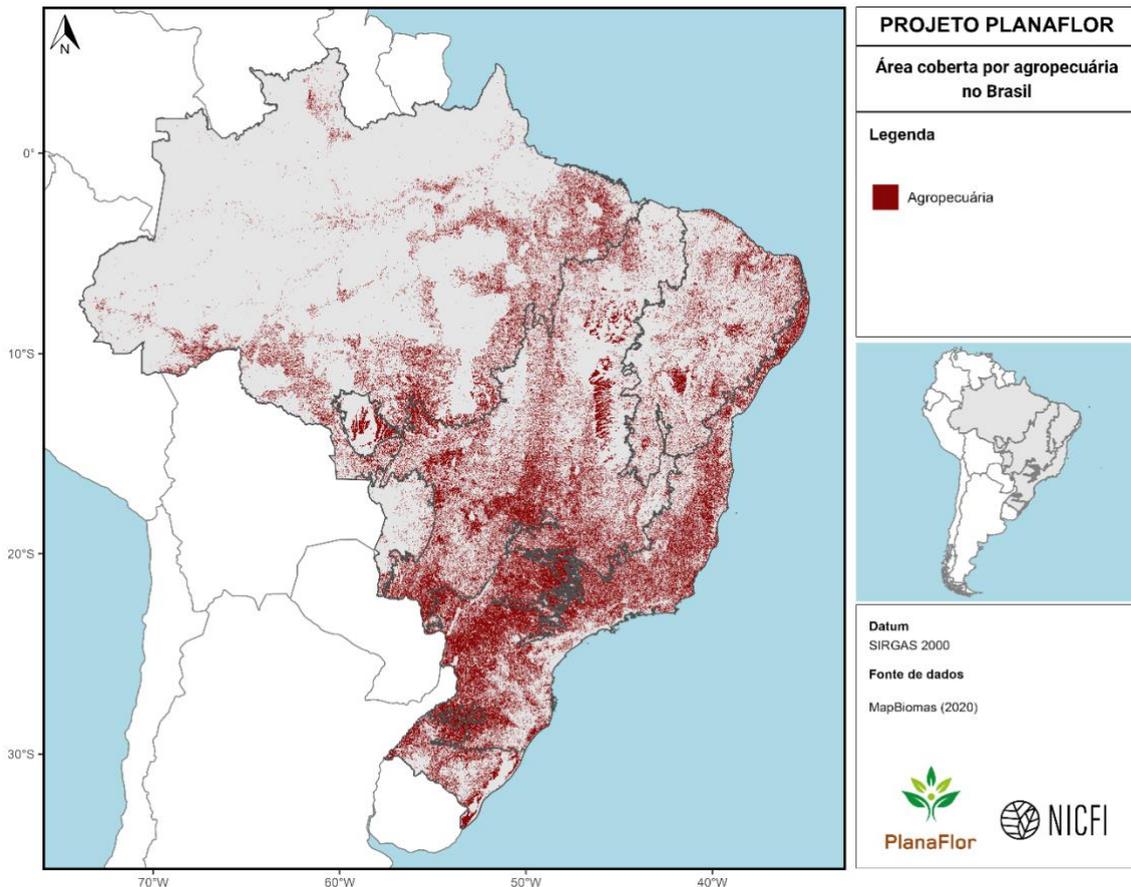


Figura 13. Áreas cobertas por agropecuária nos biomas brasileiros.

Pastagens degradadas

Os dados de pastagens degradadas com resolução de 30 m² foram obtidos via plataforma MapBiomas, coleção 5.0 (MapBiomas, 2020). A primeira etapa de tratamento desses dados foi a adequação à resolução de 1 km². Posteriormente, células classificadas como pastagem no *raster* de uso e cobertura da terra foram substituídas pelas células de pastagens degradadas. Assim, ao final desse processo, obtivemos um *raster* de uso e cobertura da terra contendo quatro classes de pastagens, conforme o seu nível de degradação: 1) alto; 2) médio; 3) baixo; e 4) nível de degradação não detectado. Para a priorização espacial, apenas pastagens com níveis de degradação alto e médio foram utilizadas. A presença de algum nível de degradação é representada por células com valor 1 (Tabela 20 e Figura 14) no *raster* de pastagens degradadas. Pastagens com níveis de degradação baixo ou não detectado foram representadas por células com valor 0 (zero).

Tabela 20. Área total (em hectares) das pastagens com média e alta degradação por bioma brasileiro.

Bioma	Pastagens com média e alta degradação
Amazônia	13.787.709,91
Caatinga	12.988.296,82
Cerrado	17.997.514,57
Mata Atlântica	5.738.148,81
Pampa	não detectada
Pantanal	472.792,74
Brasil	50.984.462,85

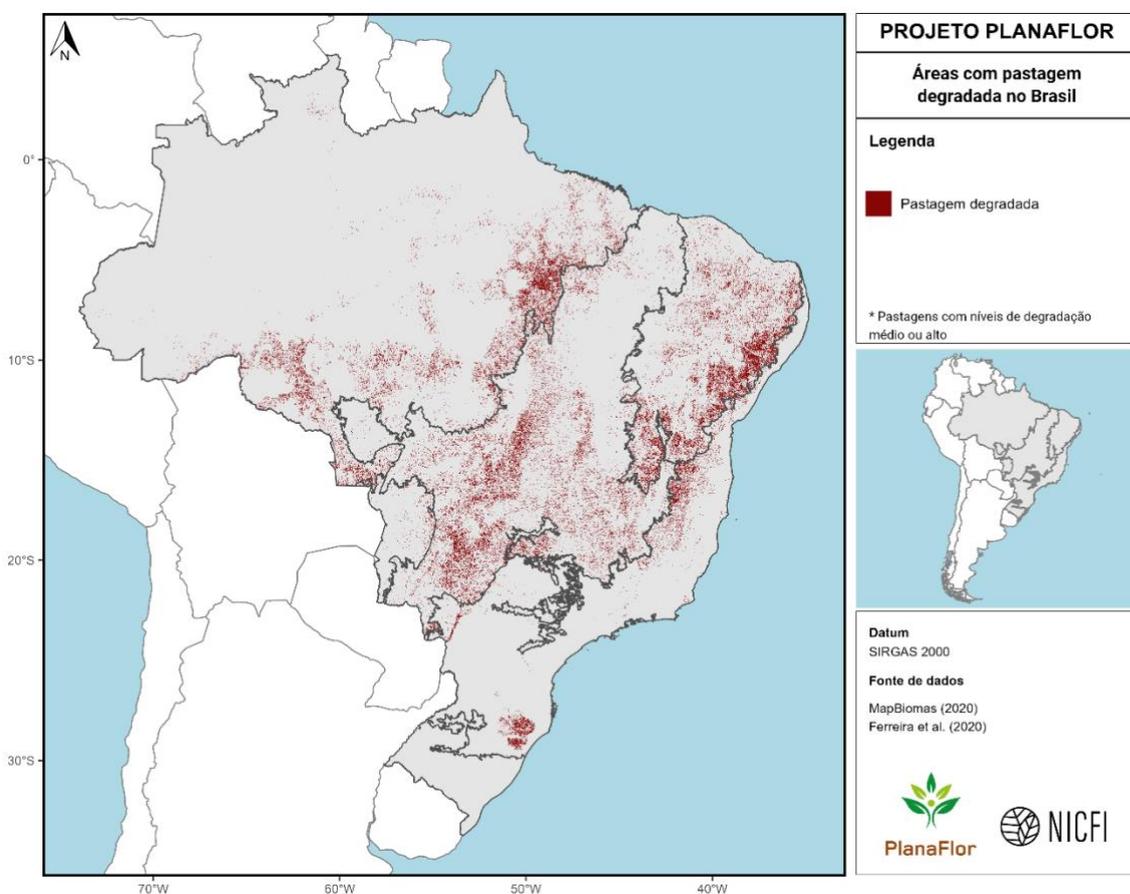


Figura 14. Áreas com pastagem com nível médio e alto de degradação nos biomas brasileiros.

Fauna ameaçada de extinção

Os dados de distribuição geográfica das espécies de anfíbios, mamíferos, peixes e répteis ameaçados de extinção foram obtidos na plataforma das lista vermelho de espécies ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN; www.iucnredlist.org/resources/spatial-data-download) e os dados das aves ameaçadas pelo portal BirdLife International (ver datazone.birdlife.org/species/requestdis). A base de dados da distribuição geográfica originalmente em formato *shapefile* foi recortada para os limites do Brasil, e rasterizada para resolução de 1 km². O número de espécies ameaçadas em cada grupo taxonômico é apresentado na Tabela 21. A Figura 15 representa a distribuição geográfica da espécie *Atelopus spumarius* no Brasil. Esta figura é um exemplo de como os dados de todas as espécies foram organizados, ressaltando que há um mapa para cada uma das espécies elencadas.

Tabela 21. Número de espécies da fauna ameaçada de extinção em cada bioma brasileiro. CR: criticamente em perigo; EN: em perigo; VU: vulnerável.

Bioma	Anfíbios			Aves			Mamíferos			Peixes			Répteis			Total
	CR	EN	VU	CR	EN	VU	CR	EN	VU	CR	EN	VU	CR	EN	VU	
Amazônia		5	5	4	15	51	3	11	36	12	20	22	3	3	4	194
Caatinga		1	2	5	22	31	2	7	15	6	10	10	1	6	6	124
Cerrado	3			5	19	52	4	16	26	7	16	20	2	4	6	180
Mata Atlântica	9	5	10	15	31	56	9	20	27	19	28	36	2	6	9	282
Pampa			2	4	10	17		4	11	19	21	28	1	2	4	123
Pantanal					5	19		2	8						2	36

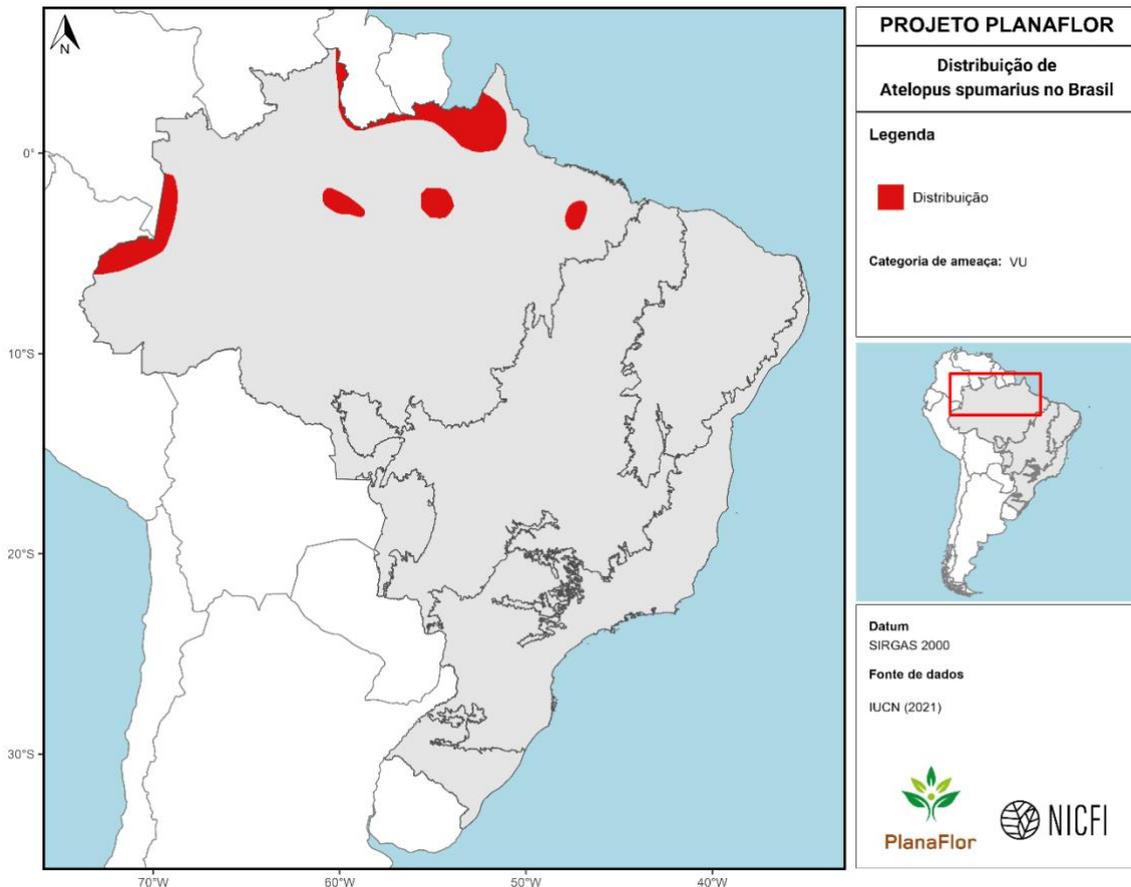


Figura 15. Distribuição geográfica de *Atelopus spumarius* no Brasil.

Flora ameaçada de extinção

Os dados da flora brasileira ameaçada de extinção foram obtidos junto ao Centro Nacional de Conservação da Flora do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (CNCFlora/JBRJ; www.cncflora.jbrj.gov.br/portal), totalizando 2.104 espécies ameaçadas, que estão presentes no livro vermelho da flora brasileira (Martinelli e Moraes, 2014). Os dados, originalmente em formato *shapefile*, foram convertidos em formato *raster* com resolução de 1 km². O número de espécies ameaçadas em cada categoria de ameaça é apresentado na Tabela 22. A Figura 16 apresenta a distribuição da espécie *Apuleia leiocarpa* no Brasil, como exemplo do que foi realizado com as demais espécies.

Tabela 22. Número de espécies da flora ameaçadas de extinção em cada bioma brasileiro.

Bioma	CR	EN	VU	Total
Amazônia	12	36	32	80
Caatinga	33	149	84	266
Cerrado	118	350	176	644
Mata Atlântica	289	764	349	1402
Pampa	16	55	35	106
Pantanal	5	10	9	24

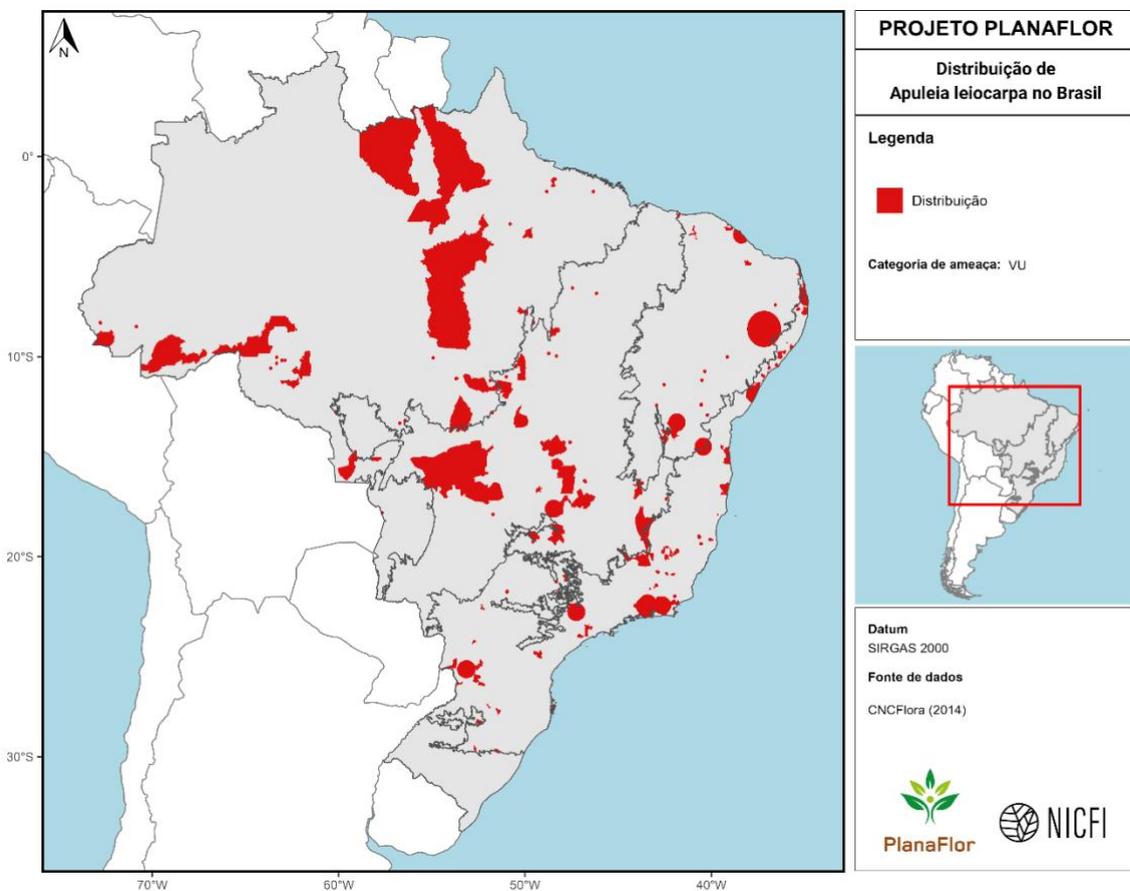


Figura 16. Distribuição geográfica de *Apuleia leiocarpa* no Brasil.

Microbacias hidrográficas de cabeceira

Essa camada consiste na identificação das microbacias de cabeceira para todo o Brasil. No âmbito do projeto PlanaFlor foram consideradas como microbacias de cabeceiras aquelas que fornecem água para bacias a jusante e que não recebem água de bacias a montante. Na região das cabeceiras prevalece o escoamento superficial de áreas saturadas, portanto, mais sujeitos a riscos de erosão e assoreamento e, por isso, é importante que essas áreas críticas sejam protegidas com cobertura vegetal. Além disso, os processos que ocorrem na região das cabeceiras refletem nas áreas mais baixas da bacia, deste modo, é sempre indicado priorizar as ações de manejo nas cabeceiras (Honda and Durigan, 2017; Lima, 2008).

Esta camada foi gerada a partir da sobreposição entre o *shapefile* de trecho de drenagem e os limites das otobacias nível 5, ambos disponibilizados pela ANA (www.ana.gov.br). A partir dessa abordagem foi possível quantificar o número de cursos d'água que se sobrepõem aos limites de cada uma das microbacias. Aquelas microbacias que continham apenas um curso d'água atravessando os seus limites, ou seja, que não recebiam água de outras microbacias, foram consideradas como cabeceiras. Microbacias que deságuam no oceano não foram classificadas como cabeceiras, pois não fornecem água para regiões mais baixas. Em seguida, o *shapefile* com microbacias de cabeceira foi convertido em um *raster* com resolução de 1 km² para todo o Brasil, sendo atribuído valor 1 para microbacias de cabeceira e 0 para outras bacias.

Foram identificadas 7.333 microbacias de cabeceira em todo o Brasil, o que corresponde a 48,3% do total de otobacias nível 5 do país. A quantidade das microbacias de cabeceira no Brasil e em cada bioma, bem como a área ocupada por elas e sua localização estão apresentadas na Tabela 23 e Figura 17.

Tabela 23. Número e área (hectares) das microbacias de cabeceira nos biomas e no território nacional.

Bioma	Número de microbacias	Área mínima	Área média	Área máxima
Amazônia	3.495	0,49	72.762,47	4.308.329,28
Caatinga	675	0,15	80.178,28	1.340.134,04
Cerrado	2.396	<0,01	55.674,33	1.861.205,50
Mata Atlântica	1.072	0,01	53.588,55	988.724,80
Pampa	191	0,03	56.236,55	489.571,07
Pantanal	111	1,13	74.148,77	894.082,09
Brasil	7.333	<0,01	70.700,90	4.308.329,28

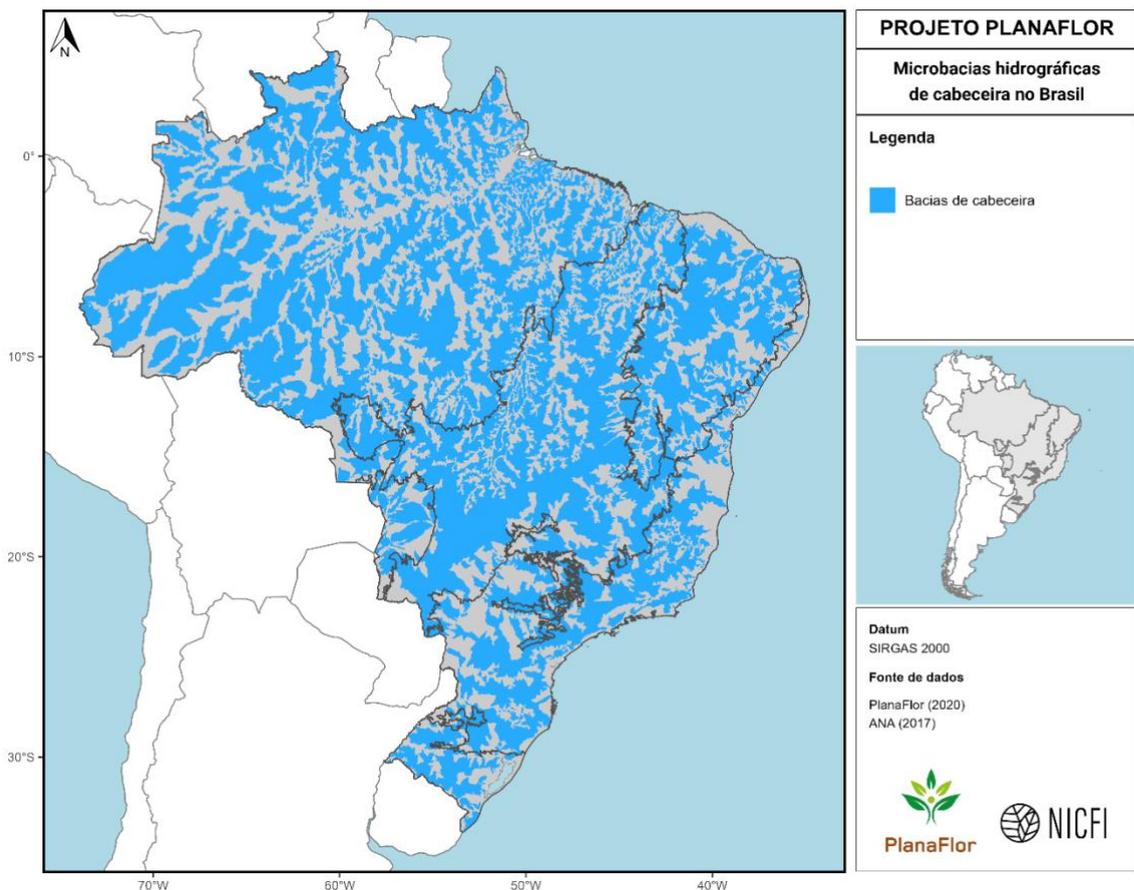


Figura 17. Distribuição das microbacias hidrográficas de cabeceira nos biomas brasileiros.

Vulnerabilidade a erosão hídrica

Para essa camada foi considerado o *raster* de vulnerabilidade à erosão hídrica produzido pela Embrapa (Embrapa, 2020). Esse *raster* representa o grau de vulnerabilidade dos solos a processos erosivos para todo o Brasil, considerando o uso e cobertura da terra atual.

Os dados de entrada utilizados pela Embrapa incluíram o mapa de uso e cobertura da terra proveniente do MapBiomas coleção 5 e o mapa de susceptibilidade dos solos à erosão hídrica, o qual foi calculado pela Embrapa utilizando informações de erodibilidade dos solos, erosividade da chuva e declividade. Os níveis de vulnerabilidade são representados em cinco classes de intensidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (1 a 5 no *raster*). O *raster* inicial com resolução de 30 m² foi convertido para 1 km². A área total (em hectares) de cada classe de vulnerabilidade por bioma e sua distribuição no Brasil estão apresentadas na Tabela 24 e Figura 18, respectivamente.

Tabela 24. Área total (em hectares) por classe de vulnerabilidade a erosão hídrica nos biomas e no Brasil.

Bioma	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Amazônia	244.730,57	670.059,77	1.929.324,07	1.324.674,91	52.390,41
Caatinga	54.671,32	11.271,84	402.894,82	342.464,78	55.596,33
Cerrado	106.331,23	69.569,73	911.485,30	807.060,76	109.826,15
Mata Atlântica	71.345,26	23.154,25	161.678,06	539.791,21	226.834,76
Pampa	29.716,95	1.934,08	48.648,31	72.390,71	37.917,67
Pantanal	14.759,69	6.570,15	109.202,63	22.034,76	514,54
Brasil	521.555,02	782.559,82	3.563.233,19	3.108.417,13	483.079,86

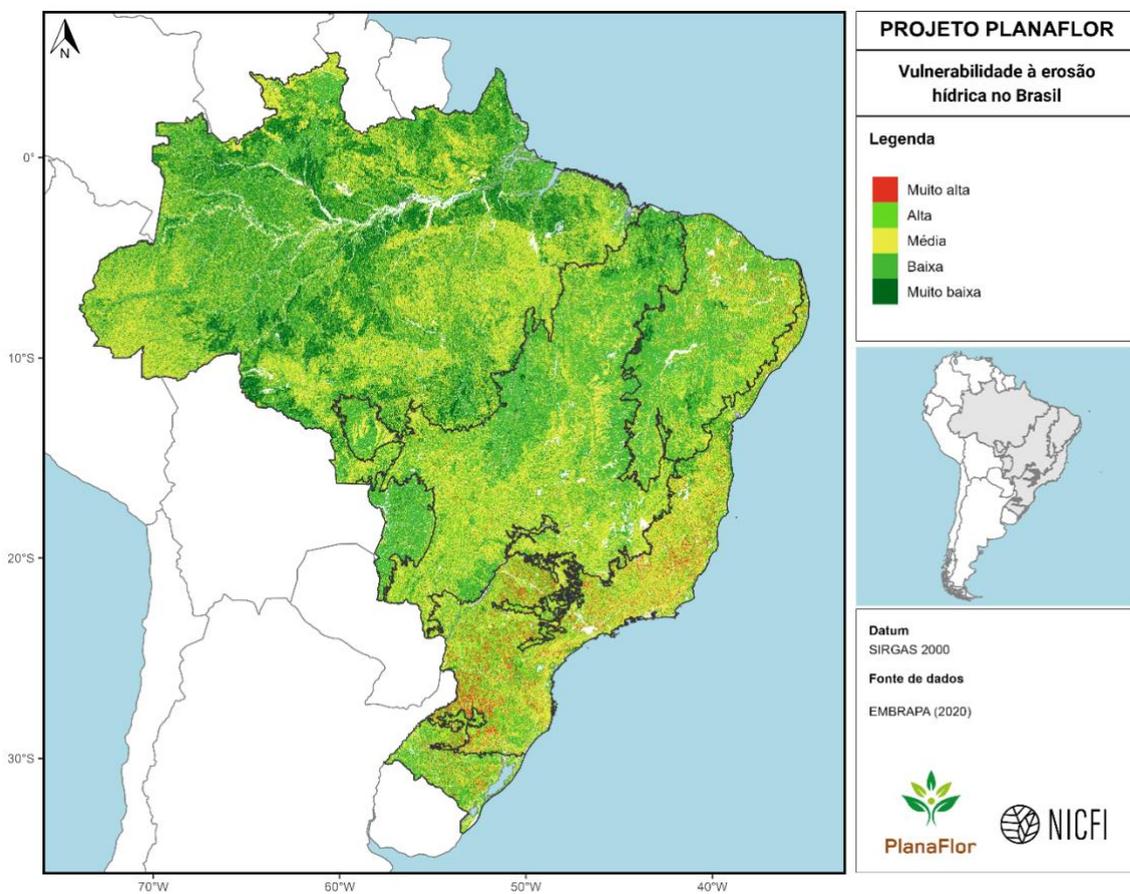


Figura 18. Vulnerabilidade à erosão hídrica nos biomas brasileiros.

Estoque de carbono na vegetação

Para mapear o estoque de carbono na vegetação foi considerado o *raster* de biomassa acima e abaixo do solo produzido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (Soares-Filho *et al.* 2016). Essa base de dados apresenta a biomassa acima e abaixo do solo na vegetação original dos biomas brasileiros, ou seja, considera a distribuição da vegetação nativa antes da ocupação humana.

O *raster* de biomassa foi construído pelos autores a partir de uma extensa revisão bibliográfica, considerando todos os biomas brasileiros e suas fitofisionomias. Para isso, os autores consultaram medições de biomassa disponíveis em artigos científicos, relatórios técnicos, inventários de biomassa, teses e dissertações etc. Diversos detalhes foram considerados nas análises, incluindo o método utilizado para medição de biomassa em campo, inclusão ou não de necromassa, estágio de sucessão da vegetação, tipo de fisionomia e acurácia dos pontos de coleta. Foi considerada a biomassa dos seguintes componentes: folhas, estratos arbóreos, estratos arbustivos, estratos herbáceos, raízes, necromassa, palmeiras e lianas. Foi incluído um total de 1.045 amostras de densidade de biomassa em todo o país. Para a construção do *raster* foram considerados os valores médios de cada fitofisionomia.

O *raster* apresenta informação em toneladas de biomassa por hectare. A resolução inicial de 500 m² foi convertida em 1 km². A variação da biomassa entre os biomas e sua distribuição no Brasil estão apresentadas na Tabela 25 e Figura 19.

Tabela 25. Variação do estoque de carbono acima e abaixo do solo (toneladas por hectare) na vegetação original nos biomas e no Brasil.

Bioma	Mínimo*	Médio	Máximo
Amazônia	<0,01	382,74	511,09
Caatinga	<0,01	107,93	511,09
Cerrado	<0,01	159,27	581,37
Mata Atlântica	<0,01	350,74	581,37
Pampa	<0,01	94,86	581,37
Pantanal	<0,01	111,46	388,64
Brasil	<0,01	382,74	511,09

* Os valores mínimos correspondem a células localizadas na interseção entre áreas sem estoque de carbono (e.g. dunas e corpos d'água) e fitofisionomias dos biomas. Os dados correspondem a valores a nível de célula do *raster* de resolução de 1 km², e não necessariamente aos valores de estoque de carbono das fitofisionomias de cada bioma.

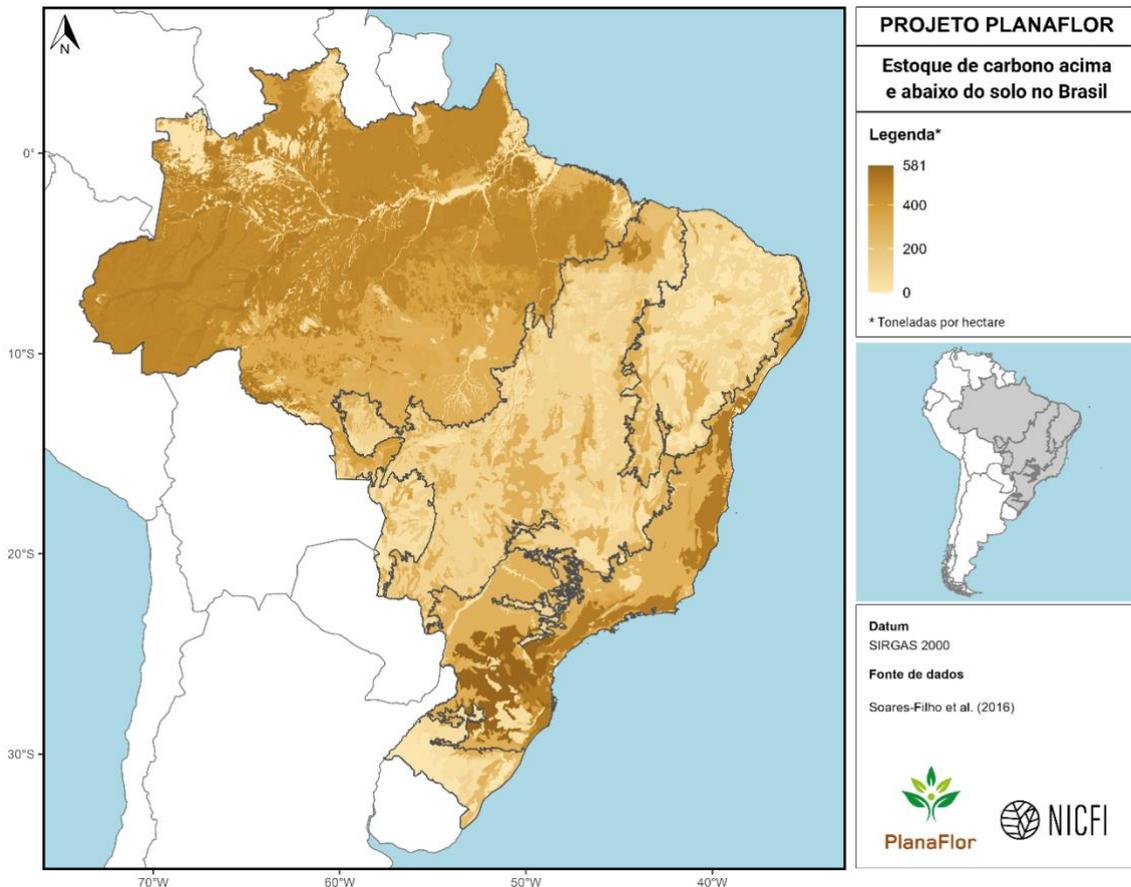


Figura 19. Estoque de carbono acima e abaixo do solo nos biomas brasileiros.

Polinização

A polinização foi inserida na análise de priorização por se tratar de um importante serviço ecossistêmico para a produção de alimentos. A recomposição da vegetação nativa em municípios com alta demanda por polinização gera maiores benefícios para a produção agrícola quando comparada com aqueles com baixa demanda por polinização, maximizando assim os benefícios socioeconômicos da recomposição. Para mapear a polinização foram utilizados valores da demanda da agricultura por polinizadores a nível municipal, produzido por Bergamo *et al.* (2021).

Para calcular a demanda por polinização, os autores consideraram: i) as taxas de dependência de polinização de 128 cultivos produzidos no Brasil; ii) os tipos de cultivos produzidos em cada município brasileiro; e iii) o valor econômico gerado por cada cultivo em escala municipal. Cruzando essas informações foi calculado o valor monetário associado aos polinizadores para cada município. Em seguida, calculou-se o valor econômico da polinização relativo ao valor econômico total da produção agrícola do município, ou seja, a proporção municipal da produção agrícola que é gerada pela polinização animal.

A informação gerada foi convertida em um *raster* com resolução de 1 km², em que as células que formam um dado município apresentam o mesmo valor. Os valores do *raster* variam entre 0 e 1.

Quanto mais próximo de 1, maior é a dependência da produção agrícola por polinizadores. A variação da demanda por polinização entre os biomas e sua distribuição no Brasil são apresentadas na Tabela 26 e Figura 20, respectivamente.

Tabela 26. Variação da demanda por polinizadores (porcentagem da produção agrícola municipal que é gerada pela polinização) nos biomas e em escala nacional.

Bioma	Mínimo	Média	Máximo
Amazônia	0	19	89
Caatinga	0	16	93
Cerrado	0	15	85
Mata Atlântica	0	15	92
Pampa	0	14	51
Pantanal	0,013	15	22
Brasil	0	17	93

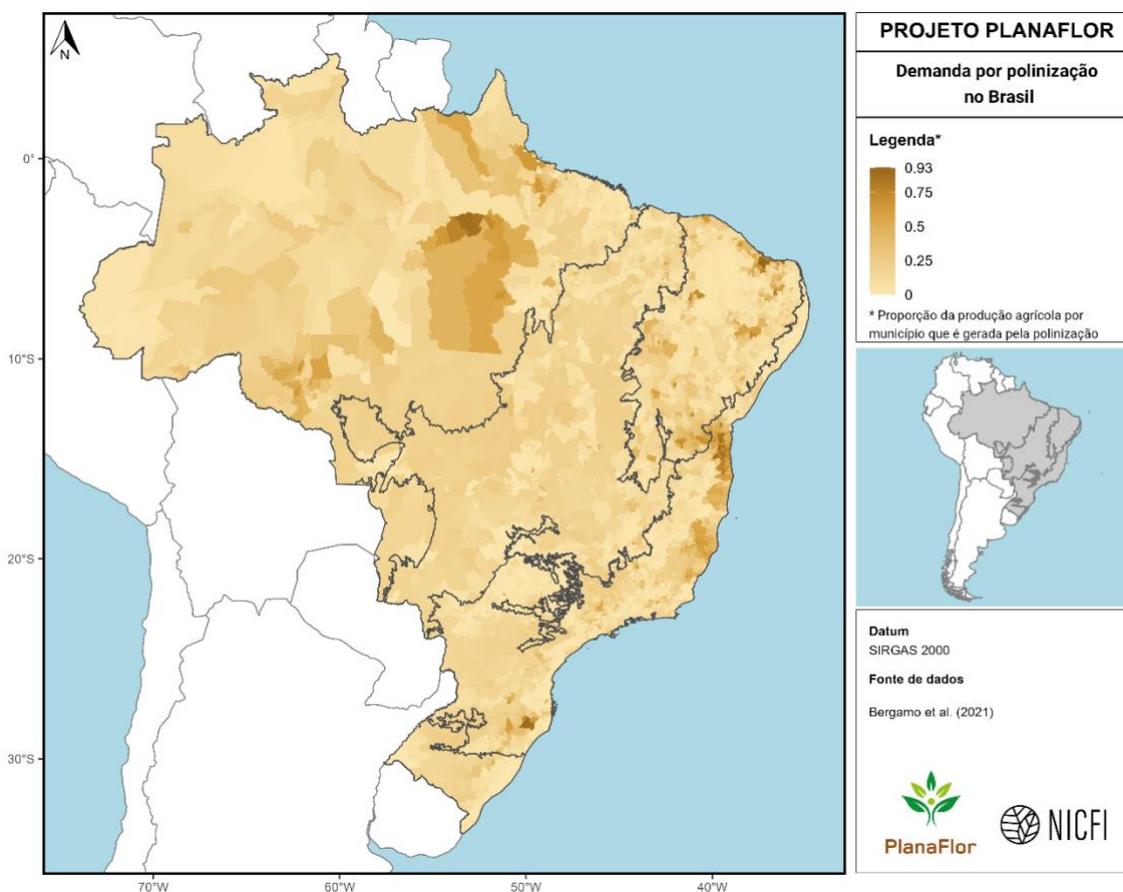


Figura 20. Demanda por polinização nos biomas brasileiros. Valores variam entre 0 (mínimo) e 1 (máximo).

Potencial de regeneração natural

Para a análise do potencial de regeneração foram utilizados dados do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) realizado em 2017 pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2017a). O dado consiste em uma análise de agrupamento de informações edafoclimáticas, ambientais e socioeconômicas na escala de otobacia nível 12 da ANA, cuja área média equivale a 5.000 ha. Os resultados foram validados por especialistas de cada bioma e, posteriormente, revisados e classificados em três categorias de potencial de regeneração: baixo, médio e alto. O dado inicial em formato *shapefile* foi convertido para *raster* em uma resolução de 1 km² com valores de 1 a 3 (baixo, médio e alto). A área (em hectare) de cada categoria de potencial de regeneração e sua distribuição no Brasil estão apresentadas na Tabela 27 e Figura 21, respectivamente.

Tabela 27. Área total (em hectares) das classes de potencial de regeneração natural classificadas em baixo, médio e alto nos biomas brasileiros.

Bioma	Baixo	Médio	Alto
Amazônia	34.186.248,46	15.346.788,22	367.440.495,90
Caatinga	26.052.292,51	18.683.279,13	41.072.339,47
Cerrado	78.758.294,79	8.156.734,47	110.265.651,58
Mata Atlântica	58.149.067,81	31.708.407,27	19.573.080,01
Pampa	5.496.707,95	5.672.493,06	7.093.682,40
Pantanal	2.372.485,61	87.276,18	12.318.913,74
Brasil	205.015.097,12	79.654.978,33	557.764.163,11

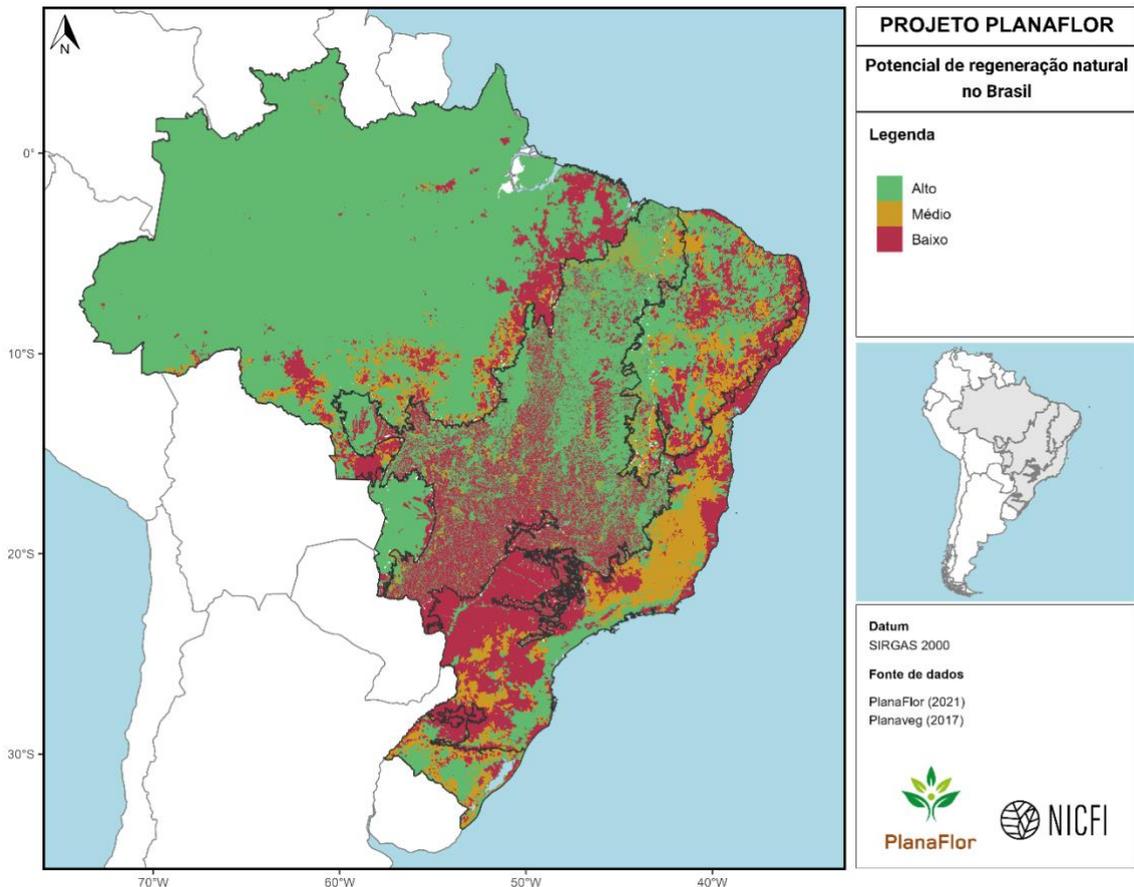


Figura 21. Potencial de regeneração natural da vegetação nos biomas brasileiros.

Aptidão agrícola

Os dados sobre a aptidão agrícola da terra foram obtidos de Sparovek *et al.* (2015), que considera variáveis de qualidade do solo (profundidade do solo, drenagem do solo, teor de argila e fertilidade do solo), declividade e clima (capacidade de água disponível, índice de água e temperatura, que avalia o déficit hídrico no campo) para definir a adequação. Na priorização, foi utilizado um *raster* de inaptidão agrícola gerado a partir da inversão dos valores do *raster* original utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{inaptidão} = [(\text{célula alvo} - \text{valor máximo}) * -1] + \text{valor mínimo}$$

Vale destacar que valores zero não foram invertidos, de forma que o valor mínimo presente na fórmula é sempre o menor valor diferente de zero. A inversão dos valores do *raster* de aptidão agrícola é um fator importante para garantir que, sempre que possível, áreas aptas para agricultura não sejam selecionadas como prioritárias, evitando assim um possível conflito pela demanda de terra para recomposição/compensação e para agricultura. Os valores mínimo, máximo e médio de inaptidão agrícola para cada bioma são apresentados na Tabela 28. A distribuição dos valores de inaptidão no Brasil é representada na Figura 22.

Tabela 28. Descrição dos valores mínimos, máximos e médios de inaptidão agrícola por bioma.

Bioma	Mínimo	Médio	Máximo
Amazônia	<0,01	490,01	893,33
Caatinga	<0,01	520,05	819,22
Cerrado	<0,01	433,45	794,13
Mata Atlântica	<0,01	620,27	960,91
Pampa	<0,01	377,77	776,82
Pantanal	<0,01	419,93	725,24
Brasil	<0,01	493,38	960,91

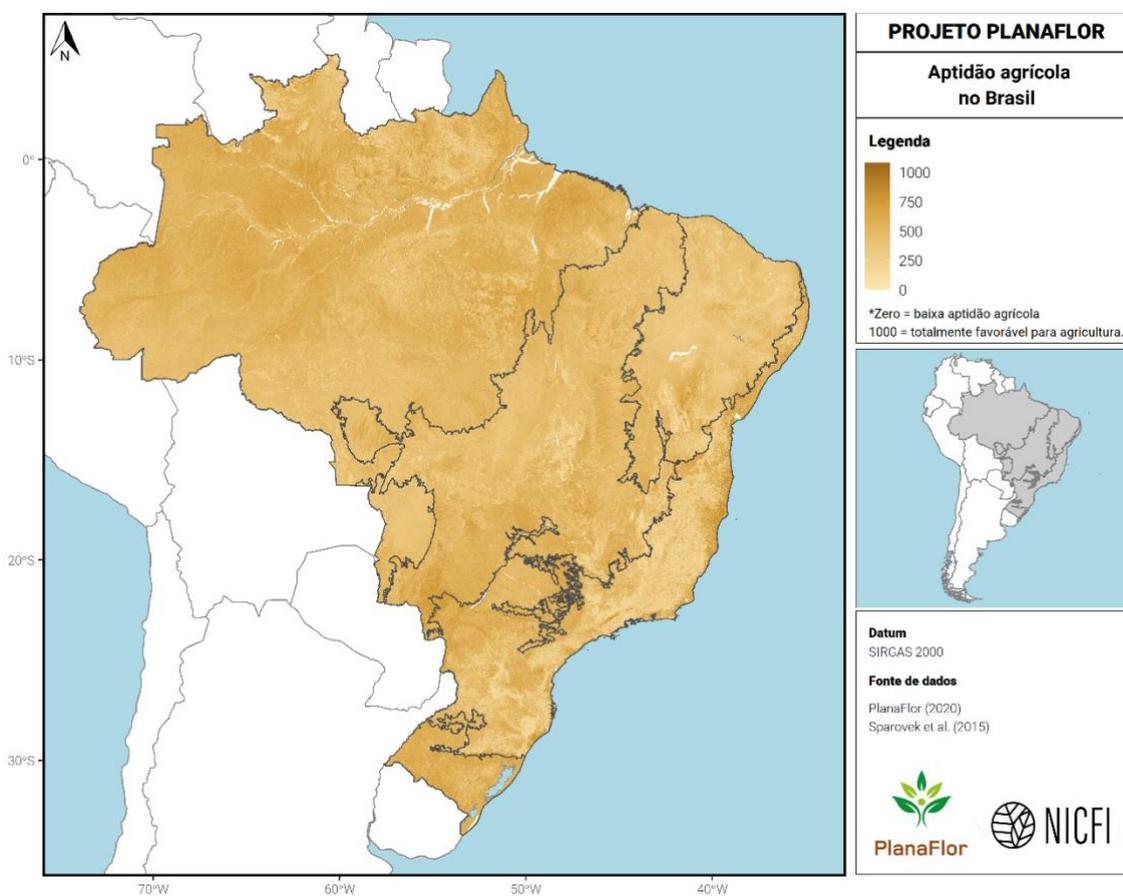


Figura 22. Áreas aptas para agricultura nos biomas brasileiros.

Custo de transação das Cotas de Reserva Ambiental

O *raster* produzido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (Soares-Filho *et al.*, 2016) foi utilizado para mapear os custos de transação das Cotas de Reserva Ambiental (CRAs) para todo o Brasil. Essa base de dados é uma estimativa do preço das CRAs para as propriedades rurais com excedente de vegetação no país.

O preço das CRAs foi calculado pelos autores usando o método de valoração contingente que foi desenhado a fim de estimar a disposição a aceitar (DAA) dos proprietários com excedente de vegetação para a emissão das CRAs. Para isso, foram aplicadas entrevistas em um estado de cada região do Brasil (Pará, Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais e Paraná). Em cada estado, foram selecionados aleatoriamente cinco municípios para aplicação das entrevistas, totalizando 116 proprietários com excedente de vegetação.

O resultado da DAA obtido da amostragem foi extrapolado para o restante do país, considerando também a distribuição espacial do preço da terra. O mapa de preço da terra foi produzido pelos autores considerando os atributos: presença de vegetação nativa, agricultura e pastagem. Nas estimativas foram considerados títulos de CRAs com 30 anos de duração. O *raster* inicial apresenta o preço em US\$ por hectare de vegetação excedente em uma resolução de 500 m², o qual foi convertido para 1 km².

De modo a favorecer a seleção de áreas com menor custo de transação de CRA, os valores do *raster* original foram invertidos utilizando a abordagem descrita no tópico “inaptidão agrícola”. A variação do preço das CRAs entre os biomas e no Brasil é apresentada na Tabela 29. A distribuição dos valores do custo de transição das CRAs no Brasil é apresentada na Figura 23.

Tabela 29. Variação do custo de transição de Cotas de Reserva Ambiental (CRAs; US\$ por hectare) nos biomas e no Brasil.

Bioma	Mínimo	Média	Máximo
Amazônia	0	1.800,75	15.867,00
Caatinga	0	922,95	9.900,00
Cerrado	0	2.467,11	31.833,50
Mata Atlântica	0	1.393,28	36.833,50
Pampa	0	3.431,53	19.667,00
Pantanal	0	4.152,79	12.858,90
Brasil	0	1.890,23	36.833,50

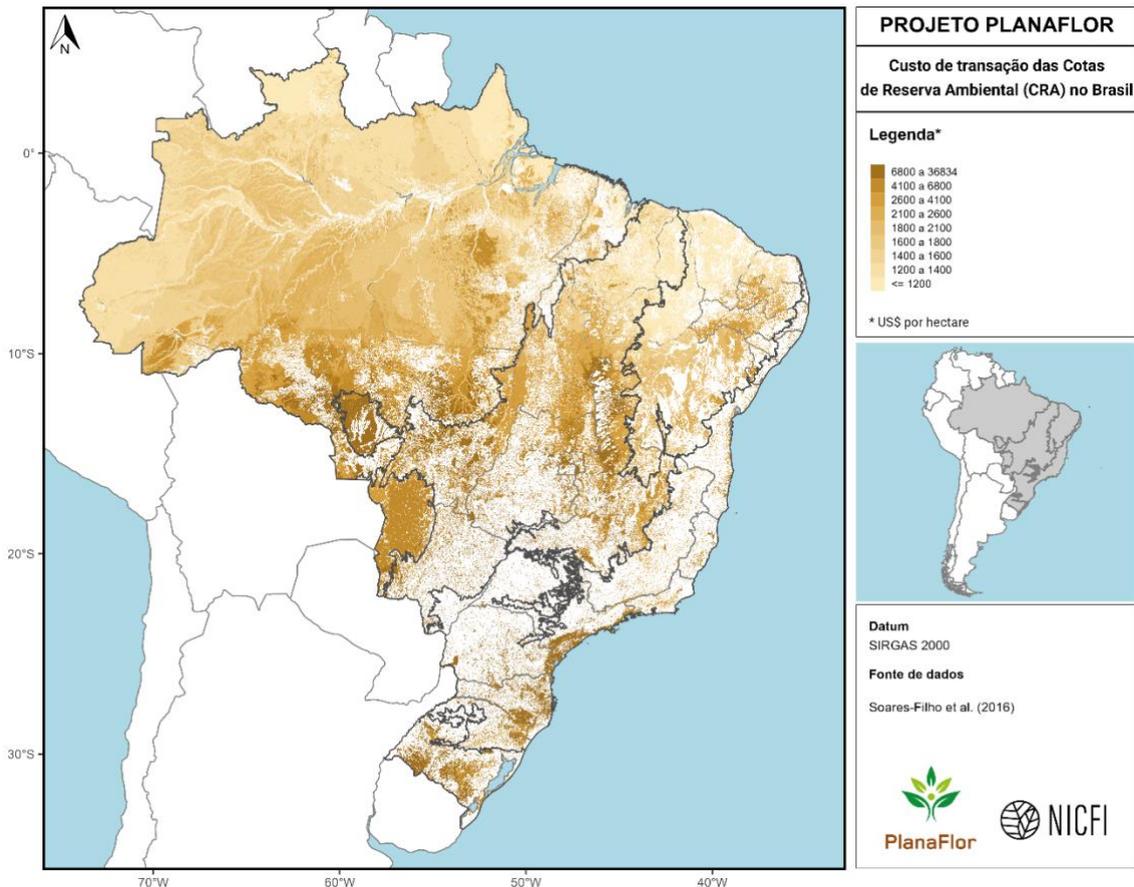


Figura 23. Inverso do custo de transação de cotas de reserva ambiental nos biomas brasileiros.

Custo de recomposição

Apesar de não ter sido diretamente usado como um indicador na priorização, o custo de recomposição da vegetação também foi mapeado e contabilizado (Tabela 30). Esse dado foi utilizado após finalizar as análises de priorização com o intuito de estimar o valor necessário para recomposição da vegetação nas microbacias identificadas como prioritárias no cenário de recomposição. A camada de custos da recomposição da vegetação foi gerada a partir dos valores reportados por (Tymus *et al.*, 2018), que caracterizaram as técnicas e estimaram os custos como subsídio a programas de políticas públicas e privadas de restauração em larga escala para os biomas brasileiros (Tabela 30). Neste trabalho, os autores fizeram consultas a empresas, organizações sem fins lucrativos, especialistas da academia e gestores públicos, por meio de questionários online para obtenção de informações relacionadas às técnicas utilizadas, insumos necessários, tempo de duração dos projetos e custos. A partir do levantamento dos dados, as informações foram consolidadas e validadas junto a especialistas por meio de oficinas.

Tabela 30. Descrição das técnicas utilizadas para elaboração da camada de custos da recomposição da vegetação para o PlanaFlor a partir do levantamento realizado por Tymus *et al.* (2018).

Técnica	Descrição
Plantio total com mudas ou sementes	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de mudas em área total, podendo haver variações quanto à distribuição dos indivíduos (espaçamento, desenho das linhas etc.) • Plantio de sementes em área total, com possíveis variações quanto à distribuição das sementes (muvuca ou semeadura direta em linhas).
Adensamento/ Enriquecimento com mudas ou sementes	<ul style="list-style-type: none"> • Adensamento: plantio de mudas e/ou sementes no intuito de aumentar a densidade da vegetação em ambiente onde já existem indivíduos remanescentes. • Enriquecimento: plantio de mudas e/ou sementes no intuito de aumentar a riqueza de espécies em ambiente onde há vegetação em densidade próxima à satisfatória.
Condução da regeneração natural	Técnica embasada na assistência aos processos naturais de regeneração da vegetação, otimizando processos desejáveis (recrutamento, estruturação vertical e horizontal, aumento de diversidade) e controlando processos indesejáveis (formigas e espécies invasoras ou superdominantes).
Regeneração natural	Técnica embasada apenas no isolamento da área degradada de fatores de perturbação (fogo, gado, trânsito humano, descarga de águas pluviais etc.).

Outras técnicas, como sistemas agroflorestais, nucleação, transposição de plântulas, bombas de biodiversidade e técnicas mistas foram apontadas na publicação de Tymus *et al.* (2018). Entretanto, não foram consideradas no PlanaFlor, pois optou-se por destacar as técnicas mais amplamente utilizadas no Brasil, independentemente do bioma, para fins de comparação. Foram considerados os valores de custos em dois cenários ambientais diferentes (Tabela 31):

i) condições ambientais favoráveis (CAF): com pluviosidade adequada, solo fértil e sem restrições, baixa presença de pragas, proximidade ao viveiro;

ii) condições ambientais desfavoráveis (CAD): presença de espécies indesejáveis em abundância, veranicos, solos degradados, alta presença de formigas cortadeiras, distante do viveiro.

Vale ressaltar que para composição de custos no PlanaFlor levou-se em conta somente o bioma e não o tipo de formação da vegetação (florestal, campestre ou savânica), considerado por Tymus *et al.* (2018). Deste modo, para o Bioma Cerrado considerou-se a média dos valores obtidos entre a formação florestal e savânica, e para o Bioma Pampa considerou-se a média dos valores obtidos entre a formação florestal e campestre. Por fim, os custos (R\$/hectare) foram compilados em três técnicas principais (Tabela 31):

i) R\$/hectare do plantio total = média entre os custos estimados de plantio com mudas e plantio com sementes por Bioma;

ii) R\$/hectare do adensamento/enriquecimento = média entre os custos estimados do adensamento/enriquecimento com mudas e adensamento/enriquecimento com sementes por Bioma;

iii) R\$/hectare da condução da regeneração/regeneração natural = média entre os custos estimados da condução da regeneração e regeneração natural por Bioma.

Para o PlanaFlor, os custos médios em R\$/hectare por técnica, bioma e condição ambiental foram atualizados para 2021, a partir do índice de inflação IGP-DI acumulado entre dezembro de 2018 a setembro de 2021. Deste modo, aplicou-se o fator de correção de 1,518 aos valores estimados por Tymus *et al.* (2018). O IGP-DI registra a alta de preços de matérias-primas agrícolas e industriais, além de bens e serviços ao consumidor final, por isso reflete a flutuação dos preços dos insumos e serviços comumente utilizados em projetos de recuperação da vegetação.

Para a espacialização dos custos da recomposição da vegetação, além do Bioma, foram combinadas duas condições distintas: a camada de potencial de regeneração natural obtida através dos dados do PLANAVEG (Brasil, 2017a), detalhada previamente, e uma camada de condição ambiental, uma vez que os custos reportados por Tymus *et al.* (2018) diferem entre condições favoráveis e desfavoráveis.

A camada de potencial de regeneração natural foi utilizada para inferir sobre a técnica de recomposição utilizada, conforme explicitado a seguir:

- 1. Em áreas com baixo potencial de regeneração natural adotou-se a técnica de plantio total de mudas ou sementes;**
- 2. Em áreas com médio potencial de regeneração natural adotou-se a técnica de adensamento/enriquecimento com mudas ou sementes;**
- 3. Em áreas com alto potencial de regeneração natural adotou-se a técnica de condução da regeneração natural e/ou regeneração natural.**

Para definir a camada de condição ambiental foram considerados os parâmetros de pluviosidade e declividade, adaptando-se a proposta de Antoniazzi et al. (2016). Esta adaptação foi validada após consulta a Tymus et al. (2018), uma vez que estes autores não consideraram os mesmos parâmetros de Antoniazzi *et al.* (2016) para definir as condições ambientais. Desse modo, foram definidas as seguintes condições:

- 1. Condições ambientais favoráveis (CAF): Pluviosidade acima de 1200 mm e Declividade abaixo de 12%;**
- 2. Condições ambientais desfavoráveis (CAD): Pluviosidade abaixo de 1200 mm e declividade acima de 12%.**

Os dados de pluviosidade anual foram obtidos para o Brasil através da plataforma WorldClim (www.worldclim.org/curren), que representa a média anual de precipitação entre os anos de 1970 e 2000. Os dados de declividade foram obtidos na plataforma EarthEnv (www.earthenv.org/topography) e estão associados à publicação de Amatulli et al. (2018), que contém informações mundiais sobre a inclinação média (em graus) de terreno. A partir do valor de inclinação média em graus foi calculado o valor de porcentagem de declividade usando a seguinte fórmula:

$$\text{Porcentagem} = (\text{Tan} (\pi/(180*\text{grau}))) * 100$$

A pluviosidade e declividade foram rasterizadas para 1 km². Embora seja uma simplificação das condições ambientais encontradas em campo, esses dois parâmetros ambientais permitiram um refinamento da espacialização dentro da escala de análise do PlanaFlor.

Em síntese, a camada de custos de recomposição do PlanaFlor foi elaborada seguindo a chave de decisão apresentada na Figura 24. Como resultado, foi obtido um raster com o custo de recomposição em uma resolução de 1km² para todo o Brasil.

Os custos do cercamento e aceiramento não foram considerados na espacialização dos dados, uma vez que são aplicados em nível de propriedade (pecuária x agricultura ou silvicultura), que é incompatível com a escala de análise do PlanaFlor. Entretanto, na Tabela 31 estão sintetizados os valores estimados deste componente de custo, que é relevante em projetos de recomposição da vegetação, principalmente em propriedades que desenvolvem a atividade de pecuária.

Tabela 31. Custo (R\$/ha) de diferentes técnicas de recomposição da vegetação, em condições ambientais favoráveis (CAF) e desfavoráveis (CAD) e custos de cercamento e aceiramento para cada Bioma. Os custos foram adaptados de Tymus *et al.* (2018) e atualizados para setembro de 2021 utilizando o IGP-DI (fator de correção de 1,518).

Técnica	Condição ambiental	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pantanal	Pampa
Plantio total (mudas ou sementes)	CAF	7.357,23	10.946,23	13.691,52	11.828,67	16.806,65	16.777,03
Plantio total (mudas ou sementes)	CAD	20.206,56	30.297,68	35.308,31	32.307,10	37.737,69	37.358,36
Adensamento/ Enriquecimento (mudas ou sementes)	CAF	3.273,84	3.734,05	1.631,61	3.183,47	1.974,48	1.813,11
Adensamento/ Enriquecimento (mudas ou sementes)	CAD	8.110,57	15.975,85	12.730,48	14.453,22	4.030,98	12.290,78
Condução da regeneração/ Regeneração natural	CAF	1.383,66	390,34	2.311,66	479,95	479,95	693,73
Condução da regeneração/ Regeneração natural	CAD	1.947,90	2.051,94	1.968,79	2.373,18	2.500,00	2.654,16
Cercamento e aceiramento*		7.117,25	12.809,84	11.515,79	14.492,71	12.809,84	12.193,19

*Os custos de cercamento e aceiramento consideraram a construção de 400 metros lineares de aceiros e cercas para o cálculo do custo por hectare, levando em conta os seguintes insumos para construção de cercas: mourão, palanque, arame, balancim, grampo.

Custos da recomposição da vegetação (R\$/ha)

POR BIOMA



Figura 24. Chave de decisão dos custos de recomposição adotados no PlanaFlor, adaptado de Tymus *et al.* (2018).

Priorização espacial

A seleção de áreas prioritárias para recomposição e compensação da vegetação nativa foi realizada com o auxílio do programa *Zonation* versão 4.0 (www.helsinki.fi/en/researchgroups/digital-geography-lab/software-developed-in-cbig). A seleção de áreas prioritárias é realizada por meio da remoção hierárquica de unidades de planejamento (nesse caso, microbacias hidrográficas), de forma que aquelas com menor contribuição relativa para o objetivo do planejamento são removidas primeiro. Ao final, um ranque de prioridades das unidades de planejamento é gerado. Este ranque geralmente é apresentado em recortes de prioridades, por exemplo, 25%, 50%, 75% e 100% do total de microbacias. Note que os recortes de prioridades são alinhados, de forma que as microbacias prioritárias identificadas no recorde de 25% estão presentes no recorte de 50%.

A importância relativa de cada microbacia, por sua vez, é determinada por regras de remoção de unidades de planejamento. O programa *Zonation* possui quatro regras de remoção que visam priorizar desde a escolha de locais importantes para conservação de indicadores com distribuição restrita (por exemplo, espécies raras), até locais importantes para conservação ou recomposição de um maior número de indicadores (p. ex., locais com alta riqueza de espécies ou concentração de serviços ecossistêmicos). Neste relatório, utilizou-se a regra de remoção de Função de Benefício Aditivo (em inglês, *Additive Benefit Function*), segundo a qual a importância relativa de microbacia é dada pela soma da importância relativa dos indicadores ali presentes (Moilanen, 2007). Assim, quanto mais indicadores ocorrerem em uma determinada unidade de planejamento, e quanto maior for a importância daquela unidade para representar a distribuição dos indicadores, maior será a importância relativa dessa área.

Além da regra de remoção, a importância relativa de um indicador em particular também pode ser determinada por meio da atribuição de diferentes pesos (Tabela 34). Apesar do peso atribuído a cada indicador ser uma escolha arbitrária, ele deve refletir os objetivos do planejamento. Assim, para evitar possíveis vieses na seleção dos locais prioritários devido à ausência de critérios na escolha dos pesos, foi adotado um critério em que a soma dos pesos seja sempre cem. Isso garante uma constância do critério na escolha dos pesos nos diferentes cenários (Tabela 32). Deste modo, um mesmo indicador pode receber diferentes pesos para atender aos objetivos dos cenários de priorização (Tabela 32). Por fim, também foram atribuídos diferentes pesos às espécies conforme seu risco de extinção, sendo: espécies CR - criticamente em perigo = 2; EN - em perigo = 1,5; VU - vulnerável = 1,25. Assim, espécies criticamente em perigo foram consideradas 25 e 50% mais importantes do que espécies em perigo e vulnerável, respectivamente. Da mesma forma, espécies em perigo foram consideradas como sendo 25% mais importantes do que espécies vulneráveis.

Por fim, uma solução focada apenas na distribuição dos indicadores no bioma pode gerar prioridades enviesadas concentradas apenas em alguns estados. Para evitar esse problema e

gerar uma solução mais balanceada, foi utilizado o componente Unidades Administrativas (em inglês, *Administrative Units*) do programa Zonation. Este componente gera várias análises de priorização, uma global em nível de bioma, e uma para cada estado. Dessa forma, o valor de conservação de uma microbacia é computado considerando a distribuição dos indicadores em escala global (no bioma) e regional (nos estados). O componente Unidades Administrativas permite a atribuição de diferentes pesos aos estados. Após realizar testes com e sem atribuição de pesos aos estados, foi notado que a solução gerada sem atribuição de pesos gerou melhores resultados. Isso ocorreu, pois, alta ênfase (pesos) em determinados estados reduzir a razão custo-eficiência da solução global.

Tabela 32. Importância (peso) dos indicadores utilizados nos cenários de priorização espacial para recomposição e compensação de áreas com déficit de vegetação nativa no Brasil.

Nome	Importância (Pesos)	
	Recomposição	Compensação
Déficit de Áreas de Preservação Permanente	12	0
Déficit de Reserva Legal	12	0
Excedente de Reserva Legal	0	30
Remanescentes de vegetação nativa florestal	2,5	10
Remanescente de vegetação nativa não florestal	2,5	10
Áreas utilizadas para agropecuária	2,5	0
Áreas de Proteção Ambiental (APAs)	2,5	5
Pastagens degradadas	12	0
Áreas com alto potencial de regeneração natural	12	0
Área com baixa aptidão para agricultura	12	0
Microbacias hidrográficas de cabeceira	7	5,6
Estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo	7	5,6
Proporção da produção agrícola dependente de polinização pela fauna	4	3,2
Alta vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica	7	5,6
Custo de transação das Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	0	10
Distribuição geográfica da fauna ameaçada de extinção	2,5	7,5
Distribuição geográfica da flora ameaçada de extinção	2,5	7,5

Pós-processamento das áreas prioritárias

Após finalizar a análise de priorização espacial, foi calculada a representação dos indicadores nas microbacias identificadas como prioritárias em ambos os cenários (a lista de indicadores utilizados em cada cenário pode ser encontrada na Tabela 1). Para gerar resultados mais refinados, foram utilizados os dados espaciais com a resolução original para cada um dos indicadores, ou seja, antes de terem a resolução alterada (veja a descrição dos dados originais de cada indicador na seção “Base de dados”). Abaixo estão descritos os detalhes das análises para calcular a representação dos indicadores nas microbacias prioritárias.

Tabela 33. Detalhes sobre o cálculo da representação dos indicadores nas microbacias prioritárias para compensação e restauração da vegetação nativa. A área foi calculada em hectares.

Indicador	Descrição
Área de Proteção Ambiental (APA)	Área de APAs dentro das microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área de APAs nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Déficit e excedente de vegetação nativa	Área de déficit (APP e RL) e excedente (RL) nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área desses indicadores nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Vegetação nativa florestal	Área de remanescentes de vegetação nativa florestal nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Vegetação nativa não florestal	Área de remanescentes de vegetação nativa não florestal nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Agropecuária	Área das áreas utilizadas para agropecuária nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Pastagem degradada	Área de pastagens degradadas nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área de pastagens degradadas nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil. Pastagens degradadas incluem pastagens com nível médio e alto de degradação.
Animais ameaçados de extinção	Porcentagem média, mínima e máxima da distribuição geográfica das espécies de animais ameaçados de extinção nas microbacias prioritárias. Porcentagem calculada considerando a distribuição das espécies em cada bioma e no Brasil.
Plantas ameaçadas de extinção	Porcentagem média, mínima e máxima da distribuição geográfica das espécies de plantas ameaçadas de extinção nas microbacias prioritárias. Porcentagem calculada considerando a distribuição das espécies em cada bioma e no Brasil.
Bacias de cabeceira	Área das bacias de cabeceira nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.
Vulnerabilidade à erosão hídrica	Total de áreas de alta vulnerabilidade à erosão hídrica nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.

Indicador	Descrição
Estoque de carbono	<p>Estoque de carbono na vegetação excedente e quantidade de carbono potencialmente sequestrada pela recomposição do déficit de vegetação nas microbacias prioritárias no cenário de compensação e de recomposição, respectivamente. No cenário de compensação, o estoque de carbono na vegetação excedente das microbacias prioritárias foi calculado como a área (em hectares) de excedente de vegetação de cada microbacia prioritária multiplicada pelo estoque de carbono médio (em tonelada C/hectare) da vegetação original na microbacia. No cenário de recomposição, o sequestro de carbono da recomposição do déficit de vegetação foi calculado como a área (em hectares) de déficit de APP/RL de cada microbacia prioritária multiplicada pelo estoque de carbono médio (em tonelada C/hectare) da vegetação original na microbacia. O cálculo para a recomposição parte do pressuposto que a vegetação recomposta deverá atingir o estoque de carbono da vegetação original na microbacia. A abordagem para o cálculo do estoque de carbono em ambos os cenários foi selecionada seguindo a literatura especializada (Soares-Filho <i>et al.</i> 2014; Vieira <i>et al.</i> 2018). Foi considerado 50% da biomassa como carbono.</p>
Demanda por polinizadores	<p>Média da porcentagem da produção agrícola dependente da polinização nas microbacias prioritárias. Primeiramente, a porcentagem da produção agrícola dependente de polinização por município foi convertida para a escala de microbacias de nível 5 da ANA. Nessa conversão, foi associado às microbacias valores proporcionais a área sobreposta por cada município.</p>
Potencial de regeneração natural	<p>Total das áreas com alto potencial de regeneração natural presentes nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.</p>
Aptidão agrícola	<p>Total das áreas de baixa aptidão agrícola presentes nas microbacias prioritárias. Também foi calculada a porcentagem da área do indicador nas microbacias prioritárias, em nível de biomas e Brasil.</p>
Custo de transação das CRAs	<p>Soma do custo de transação das CRAs nas microbacias prioritárias do cenário de compensação. O custo foi calculado como a área (em hectares) de excedente de vegetação de cada microbacia prioritária multiplicada pelo custo de transação médio (em US\$/hectare) da vegetação nativa na microbacia. O custo em US\$ foi convertido para real (US\$1 = R\$5,42; 26 janeiro de 2022).</p>
Custo de recomposição	<p>Soma do custo médio de recomposição nas microbacias prioritárias do cenário recomposição. O custo foi calculado como a área (em hectares) do déficit total de RL e APP de cada microbacia multiplicado pelo custo médio de recomposição (em R\$) da vegetação nativa na microbacia.</p>

Referências bibliográficas

- Amatulli, G., Domisch, S., Tuanmu, M.-N., Parmentier, B., Ranipeta, A., Malczyk, J., Jetz, W., 2018. A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. *Sci. Data* 5, 180040. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.40>
- ANA, 2021. Agência Nacional de Águas [WWW Document]. URL www.ana.gov.br (accessed 8.3.21).
- Antoniazzi, L., Sartorelli, P., Costa, K., Basso, I., 2016. RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM CADEIAS AGROPECUÁRIAS PARA ADEQUAÇÃO AO CÓDIGO FLORESTAL: Análise econômica de oito estados brasileiros. São Paulo, SP.
- Bergamo, P.J., Wolowski, M., Tambosi, L.R., Garcia, E., Agostini, K., Garibaldi, L.A., Knight, T.M., Nic Lughadha, E., Oliveira, P.E.A.M., Marques, M.C.M., Maruyama, P.K., Maués, M.M., Oppata, A.K., Rech, A.R., Saraiva, A.M., Silva, F.D.S., Sousa, G., Tsukahara, R.Y., Varassin, I.G., Viana, B.F., Freitas, L., 2021. Areas Requiring Restoration Efforts are a Complementary Opportunity to Support the Demand for Pollination Services in Brazil. *Environ. Sci. Technol.* 55, 12043–12053. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02546>
- Bertol, I., de Maria, I.C., Souza, L.S. (Eds.), 2019. Manejo e Conservação do Solo e da Água. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, MG.
- Brasil, 2017a. Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação, Brasília, DF.
- Brasil, 2017b. Potencial de Regeneração Natural da vegetação no Brasil. Brasília, DF.
- Brasil, 2012. Lei n°. 12.651 de 25 de maio de 2012. Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Brasília, DF.
- Bungenstab, D.J., Almeida, R.G., Laura, V.A., Balbino, L.C., Ferreira, A.D. (Eds.), 2019. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Embrapa, Brasília, DF.
- Calmon, M., 2021. Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. *Environ. Sci. Technol.* 73, 44–48. <https://doi.org/10.21800/2317-66602021000100009>
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S., Naeem, S., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Cook-Patton, S.C., Drever, C.R., Griscorn, B.W., Hamrick, K., Hardman, H., Kroeger, T., Pacheco, P., Raghav, S., Stevenson, M., Webb, C., Yeo, S., Ellis, P.W., 2021. Protect, manage and then restore lands for climate mitigation. *Nat. Clim. Chang.* 11, 1027–1034. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01198-0>
- Cullen Jr, L., 2020. Um Pontal Bom para todos: Modelos para Uso Econômico de Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente no Pontal do Paranapanema - SP.
- EMBRAPA, 2019. Mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil [WWW Document]. URL <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/2918> (accessed 8.3.21).
- Freitas, F.L.M. de, Sparovek, G., Mörtberg, U., Silveira, S., Klug, I., Berndes, G., 2017. Offsetting legal deficits of native vegetation among Brazilian landholders: Effects on nature protection and socioeconomic development. *Land use policy* 68, 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.014>
- FUNAI, 2019. Fundação Nacional do Índio [WWW Document]. URL <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas> (accessed 8.3.21).
- Guerra, A., Oliveira, P.T.S. de, Roque, F. de O., Rosa, I.M.D., Ochoa-Quintero, J.M., Guariento, R.D., Colman, C.B., Dib, V., Maioli, V., Strassburg, B., Garcia, L.C., 2020. The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. *J. Environ. Manage.* 260, 110128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128>
- Guidotti, V., Ferraz, S.F. de B., Pinto, L.F.G., Sparovek, G., Taniwaki, R.H., Garcia, L.G., Brancalion, P.H.S., 2020. Changes in Brazil's Forest Code can erode the potential of riparian buffers to supply watershed services. *Land use policy* 94, 104511. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104511>
- Honda, E.A., Durigan, G., 2017. A restauração de ecossistemas e a produção de água. *Hoehnea* 44, 315–327. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-82/2016>
- Hua, F., Bruijnzeel, L.A., Meli, P., Martin, P.A., Zhang, J., Nakagawa, S., Miao, X., Wang, W., McEvoy, C., Peña-Arancibia, J.L., Brancalion, P.H.S., Smith, P., Edwards, D.P., Balmford, A., 2022. The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. *Science* (80-). <https://doi.org/10.1126/science.abi4649>
- IBGE, 2019. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000 / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, RJ.
- IUCN, 2021. IUCN Red List of Threatened Species [WWW Document]. 2021. URL www.iucn-%0Aredlist.org/ (accessed 8.3.21).
- Joly, C.A., Scarano, F.R., Bustamante, M., Gadda, T.M.C., Metzger, J.P.W., Seixas, C.S., Ometto, J.P.H., Pires, A.P.F., Boesing, A.L., Sousa, F.D.R., Quintão, J.M.B., Gonçalves, L.R., Padgurschi, M. de C.G., Aquino, M.F. dos S. de, Castro, P.F.D. de, Santos, I.L. dos, 2019. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: summary for policy makers. *Biota Neotrop.* 19. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>
- Lima, W.D.P., 2008. HIDROLOGIA FLORESTAL APLICADA AO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz,” Piracicaba, SP.
- MAPA, 2021. Pecuária e Abastecimento. PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO. Brasil 2020/21 a 2030/31.
- MapBiomas, 2020. Projeto MapBiomas – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil [WWW Document]. URL <https://mapbiomas.org/> (accessed 8.3.21).
- Martinelli, G., Moraes, M.A. (Eds.), 2013. Livro vermelho da flora do Brasil. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Mello, K. de, Fendrich, A.N., Sparovek, G., Simmonds, J.S., Maron, M., Tavares, P.A., Brites, A.D., Rodrigues, R.R., Joly, C.A., Metzger, J.P., 2021. Achieving private conservation targets in Brazil through restoration and compensation schemes without impairing productive lands. *Environ. Sci. Policy* 120, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.014>
- Mello, K. de, Taniwaki, R.H., Paula, F.R. de, Valente, R.A., Randhir, T.O., Macedo, D.R., Leal, C.G., Rodrigues, C.B., Hughes, R.M., 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *J. Environ. Manage.* 270, 110879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>
- Metzger, J.P., Bustamante, M.M.C., Ferreira, J., Fernandes, G.W., Librán-Embid, F., Pillar, V.D., Prist, P.R., Rodrigues, R.R., Vieira, I.C.G., Overbeck, G.E., 2019. Why Brazil needs its Legal Reserves. *Perspect. Ecol. Conserv.* 17, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>
- MMA, 2019. Ministério do Meio Ambiente [WWW Document]. URL <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm> (accessed 8.3.21).
- Moilanen, A., 2007. Landscape Zonation, benefit functions and

- target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biol. Conserv.* 134, 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.008>
- Novais, S.M.A., Nunes, C.A., Santos, N.B., D'Amico, A.R., Fernandes, G.W., Quesada, M., Braga, R.F., Neves, A.C.O., 2016. Effects of a Possible Pollinator Crisis on Food Crop Production in Brazil. *PLoS One* 11, e0167292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167292>
- OCF, 2022. Observatório da restauração e reflorestamento [WWW Document]. Obs. DO CÓDIGO Florest. URL <https://observatoriodarestauracao.org.br/app/home> (accessed 5.5.22).
- Pires, A.P.F., Farjalla, V.F., Faria, B.M., Rodriguez, D.A., Gomes, E.A.T., Santos, E.C., Sodré, F.N.G.A.S., Sabino, J., Espécie, M.A., Pinheiro, M.R.C., Ribeiro, M.L., Bozelli, R.L., Panosso, R.F., Mormul, R.P., Barthem, R., Scofield, V., Dib, V., 2019. Sumário para Tomadores de Decisão (STD) do Relatório Temático Água: biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem estar humano no Brasil. São Carlos.
- PlanaFlor, 2021. Áreas recomendadas para expansão da agricultura no Brasil. Rio de Janeiro, RJ.
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneith, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Cheung, W.L., Donatti, C., Duarte, C., Einsenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M.A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Inzarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A.P.F., Popp, A., Reyes-García, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y.J., Sintayehu, D.W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parnesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Diaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T., 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change. Bonn, Germany. <https://doi.org/DOI:10.5281/zenodo.4659158>
- Posonski, M., Arnelin, M.J., 2021. O Código Florestal como ferramenta de valorização da commodity agrícola brasileira, in: *Código Florestal: Avaliação 2017-2020. Observatório do Código Florestal e Ipam*.
- Resende, F.M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L., Joner, D.C., Loyola, R., 2021. The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado. *Ecosyst. Serv.* 49, 101282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101282>
- Ribeiro, B.R., Martins, E., Martinelli, G., Loyola, R., 2018. The effectiveness of protected areas and indigenous lands in representing threatened plant species in Brazil. *Rodriguésia* 69, 1539–1546. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869404>
- Rudorff, B., Risso, J. (Eds.), 2018. *Análise Geoespacial da Dinâmica das Culturas Anuais no Bioma Cerrado: 2000 a 2014*. Agrosatélite, Florianópolis.
- Silva, F.D.S., Carvalheiro, L.G., Aguirre-Gutiérrez, J., Lucotte, M., Guidoni-Martins, K., Mertens, F., 2021. Virtual pollination trade uncovers global dependence on biodiversity of developing countries. *Sci. Adv.* 7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe6636>
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., Alencar, A., 2014. Cracking Brazil's Forest Code. *Science* (80-.). 344, 363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Merry, F., Rodrigues, H., Davis, J., Lima, L., Macedo, M., Coe, M., Carneiro, A., Santiago, L., 2016. Brazil's Market for Trading Forest Certificates. *PLoS One* 11, e0152311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152311>
- Soares, D.S., Calmon, M., Matsumoto, M., 2021. Reflorestamento com espécies nativas: estudo de casos, viabilidade econômica e benefícios ambientais.
- Sparovek, G., Barretto, A.G. de O.P., Matsumoto, M., Bemdes, G., 2015. Effects of Governance on Availability of Land for Agriculture and Conservation in Brazil. *Environ. Sci. Technol.* 49, 10285–10293. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01300>
- Strassburg, B.B.N., Beyer, H.L., Crouzeilles, R., Iribarrem, A., Barros, F., de Siqueira, M.F., Sánchez-Tapia, A., Balmford, A., Sansevero, J.B.B., Brancalion, P.H.S., Broadbent, E.N., Chazdon, R.L., Filho, A.O., Gardner, T.A., Gordon, A., Latawiec, A., Loyola, R., Metzger, J.P., Mills, M., Possingham, H.P., Rodrigues, R.R., Scaramuzza, C.A. de M., Scarano, F.R., Tambosi, L., Uriarte, M., 2019. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 62–70. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0743-8>
- Strassburg, B.B.N., Iribarrem, A., Beyer, H.L., Cordeiro, C.L., Crouzeilles, R., Jakovac, C.C., Braga Junqueira, A., Lacerda, E., Latawiec, A.E., Balmford, A., Brooks, T.M., Butchart, S.H.M., Chazdon, R.L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P.F., Kapos, V., Leclère, D., Miles, L., Obersteiner, M., Plutzer, C., de M. Scaramuzza, C.A., Scarano, F.R., Visconti, P., 2020. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* 586, 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Strassburg, B.B.N., Latawiec, A.E., Barioni, L.G., Nobre, C.A., da Silva, V.P., Valentim, J.F., Vianna, M., Assad, E.D., 2014. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Glob. Environ. Chang.* 28, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>
- Tymus, J.R., Lanti, F.E.B., Silva, A.P., Benini, R.M., Isernhagen, I., 2018. Restauração da vegetação nativa no Brasil: caracterização de técnicas e estimativas de custo como subsídio a programas e políticas públicas e privadas de restauração em larga escala: relatório de pesquisa. Brasília, DF.
- Valente, R.A., de Mello, K., Metedieri, J.F., Américo, C., 2021. A multicriteria evaluation approach to set forest restoration priorities based on water ecosystem services. *J. Environ. Manage.* 285, 112049. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112049>
- Wolowski, M., Agostini, K., Rech, A.R., Varassin, I.G., Maués, M., Freitas, L., Carneiro, L.T., Bueno, R. de O., Consolaro, H., Carvalheiro, L., Saraiva, A.M., Silva, C.I. da, 2019. Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. Editora Cubo, São Carlos. <https://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>

Apêndices

Os apêndices I e II contém resultados por bioma dos cenários compensação e recomposição, respectivamente.

Cenários de Compensação:

<https://drive.google.com/file/d/1K1Vm0cBl6p4nq9u0YqFp8d1IBvEQhd5p/view?usp=sharing>

Cenários de Recomposição:

https://drive.google.com/file/d/1vv49Po2YXvtkbv_iS-Xb3hI4eCWYs5nH/view?usp=sharing



PlanaFlor

**Definição dos critérios e desenvolvimento da
priorização espacial para determinação das
áreas para recomposição da vegetação nativa em
Áreas de Preservação Permanente e
compensação de Reserva Legal**

Projeto PlanaFlor



Financiamento

