

Métricas para avaliação de perdas e ganhos de biodiversidade em florestas tropicais

Rômulo Pereira da Silva Arantes¹ , Henrique Machado Dias^{1*} , Daniel Medina Corrêa Santos² 

*Contato principal

¹ Universidade Federal do Espírito Santo/UFES, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro/ES, Brasil.
< henrique.m.dias@ufes.br >.

² Instituto Marinho para o Equilíbrio Sócio-Ambiental, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Como citar:

Arantes RPS, Dias HM, Santos DMC. Métricas para avaliação de perdas e ganhos de biodiversidade em florestas tropicais. Biodivers. Bras. [Internet]. 2026; 16(3): e2572. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v16i3.2572>

Recebido em 22/03/2024 – Aceito em 12/08/2026

Editores temáticos: Daniel Luis Zanella Kantek e Livia Corassari

RESUMO – O crescimento industrial impõe pressões significativas sobre a biodiversidade mundial, ameaçando ecossistemas, especialmente os tropicais. A Organização das Nações Unidas, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, destaca a necessidade urgente de preservar a biodiversidade. O recente acordo de Kunming-Montreal, firmando o compromisso de proteger 30% do planeta até 2030, e iniciativas como os padrões do Banco Mundial, visam evitar perdas líquidas de biodiversidade. Contudo, o desafio persiste na falta de uma síntese e análise dos métodos para quantificar tais impactos. Portanto, este estudo se concentrou na análise e seleção de métricas eficazes para a avaliação de perdas e ganhos na biodiversidade em função dos impactos ambientais gerados pela instalação de empreendimentos dos mais diversos setores da economia. Uma revisão sistemática da literatura elencou vinte métricas utilizáveis, das quais cinco métricas foram selecionadas, Biodiversity Significance Index (BSI), Biodiversity Metric 3.0 (Defra), Net Impact Assessment (WBCSD/CSI), Loss Gain Calculator e Disaggregated Model. A análise e escolha dessas métricas foram baseadas nas suas aplicabilidades em florestas tropicais. O agrupamento de métodos e métricas para avaliação da eficácia de compensações auxilia na governança e iniciativas organizacionais públicas e privadas, para um desenvolvimento econômico mais sustentável. Dessa maneira, indicamos parâmetros que amparem a avaliação da mitigação de impactos à biodiversidade nas florestas tropicais. O uso de métricas possibilita calcular as perdas e os ganhos em biodiversidade para dimensionar as áreas de compensação ambiental e avaliar sua efetividade, considerando os serviços ambientais e ecossistêmicos perdidos no tempo, tendo como base indicadores ecológicos.

Palavras-chave: compensação ambiental, governança ambiental, conservação, impacto ambiental, ganho líquido, indicadores ecológicos.

Metrics for assessing biodiversity losses and gains in tropical forests

ABSTRACT – Industrial growth places significant pressures on global biodiversity, threatening ecosystems, especially tropical ones. The United Nations, aligned with the Sustainable Development Goals, highlights the urgent need to preserve biodiversity. The recent Kunming-Montreal agreement commits to protecting 30% of the planet by 2030, and initiatives like the

World Bank standards aim to avoid net biodiversity losses. However, the challenge remains in the lack of a synthesis and analysis of methods to quantify such impacts. Therefore, this study focused on analyzing and selecting effective metrics for assessing biodiversity losses and gains due to environmental impacts generated by various economic sector projects. A systematic literature review identified twenty usable metrics, of which five were selected: Biodiversity Significance Index (BSI), Biodiversity Metric 3.0 (Defra), Net Impact Assessment (WBCSD/CSI), Loss Gain Calculator, and Disaggregated Model. The analysis and selection of these metrics were based on their applicability in tropical forests. Grouping methods and metrics for evaluating the effectiveness of compensations supports governance and both public and private organizational initiatives for more sustainable economic development. Thus, we suggest parameters to support the assessment of impact mitigation on biodiversity in tropical forests. The use of metrics allows for calculating biodiversity losses and gains to size environmental compensation areas and evaluate their effectiveness, considering the environmental and ecosystem services lost over time, based on ecological indicators.

Keywords: environmental compensation, environmental governance, conservation, environmental impact, net gain, ecological indicators.

Indicadores para la evaluación de las pérdidas y ganancias de biodiversidad en los bosques tropicales

RESUMEN – El crecimiento industrial ejerce presiones significativas sobre la biodiversidad global, amenazando ecosistemas, especialmente los tropicales. Las Naciones Unidas, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, destacan la necesidad urgente de preservar la biodiversidad. El reciente acuerdo de Kunming-Montreal se compromete a proteger el 30% del planeta para 2030, y iniciativas como los estándares del Banco Mundial buscan evitar pérdidas netas de biodiversidad. Sin embargo, el desafío persiste en la falta de una síntesis y análisis de los métodos para cuantificar tales impactos. Por lo tanto, este estudio se centró en analizar y seleccionar métricas efectivas para evaluar las pérdidas y ganancias en biodiversidad debido a los impactos ambientales generados por proyectos de diversos sectores económicos. Una revisión sistemática de la literatura identificó veinte métricas utilizables, de las cuales seleccionamos cinco: Índice de Significancia de la Biodiversidad (BSI), Métrica de Biodiversidad 3.0 (Defra), Evaluación de Impacto Neto (WBCSD/CSI), Calculadora de Pérdidas y Ganancias, y Modelo Desagregado. El análisis y selección de estas métricas se basaron en su aplicabilidad en bosques tropicales. Agrupar métodos y métricas para evaluar la efectividad de las compensaciones apoya la gobernanza y las iniciativas organizacionales tanto públicas como privadas para un desarrollo económico más sostenible. Así, sugerimos parámetros para apoyar la evaluación de la mitigación de impactos en la biodiversidad y bosques tropicales. El uso de métricas permite calcular las pérdidas y ganancias en biodiversidad para dimensionar las áreas de compensación ambiental y evaluar su efectividad, considerando los servicios ambientales y ecosistémicos perdidos con el tiempo, basándose en indicadores ecológicos.

Palabras clave: compensación medioambiental, gobernanza medioambiental, conservación, impacto medioambiental, ganancia neta, indicadores ecológicos.

Introdução

A biodiversidade, que abrange todos os níveis de vida na Terra, é crucial para o equilíbrio ecológico e manutenção dos serviços ecossistêmicos. O desenvolvimento industrial eleva a pressão sobre a biodiversidade [1], trazendo desafios que são reconhecidos e abordados por padrões e políticas globais, como aqueles delimitados pelas Conferências das Partes (COP), vinculados à Organização das Nações Unidas (ONU) e também pela International Finance Corporation [2].

O Marco Global de Biodiversidade Kunming-Montreal, aprovado em 2022, estabelece metas para conservação e uso sustentável da biodiversidade [3]. Abordagens corporativas para a biodiversidade

frequentemente visam não causar perda líquida ou, idealmente, gerar um ganho líquido, e as metodologias são desenvolvidas para quantificar os ganhos necessários para compensar as perdas, considerando políticas de compensação variadas, disparidade de recursos e a complexidade dos ecossistemas [4].

A Resolução CONAMA nº 001/1986 define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais [5]. O impacto ambiental destaca o desequilíbrio resultante da interação entre o ser humano e o meio ambiente, caracterizado como uma perturbação na relação natural entre as atividades humanas e o ecossistema, gerando efeitos negativos ao equilíbrio ambiental [6]. Portanto, refere-se às alterações, positivas ou negativas, que as atividades humanas ou eventos naturais causam no meio ambiente, que podem afetar ecossistemas, recursos naturais, biodiversidade, qualidade do ar, água e solo, entre outros componentes ambientais [7].

Como consequência do impacto ambiental, tem-se a ocorrência de danos ambientais, quando o impacto for negativo, e ganhos ambientais, quando o impacto for positivo. Enquanto o dano é compreendido como prejudicial, o impacto é qualquer alteração que ocorra no meio, sendo ela positiva ou negativa. Dessa forma, um dano ambiental sempre está acompanhado de um impacto.

A perda de biodiversidade é um dano, oriundo de um impacto negativo e gera uma preocupação global, já que é resultante de diversas atividades humanas, muitas das quais exercem pressões significativas sobre os ecossistemas naturais. Uma das principais causas para essa perda é o desmatamento, no qual vastas áreas de florestas são convertidas para uso agrícola, expansão urbana ou implantação de infraestruturas. Essa prática leva à destruição de habitats cruciais para inúmeras espécies, resultando na perda direta de biodiversidade [8].

Os Padrões de Desempenho (PD) da International Finance Corporation [8] estabelecem diretrizes socioambientais que empreendedores devem seguir ao receber investimentos de financiadores parceiros para causar impactos ambientais positivos. São oito padrões que cobrem, desde a gestão socioambiental até a herança cultural:

1. Avaliação e Administração Socioambiental (PD 1);
2. Trabalho e Condições de Trabalho (PD 2);
3. Prevenção e Redução da Poluição (PD 3);
4. Saúde e Segurança da Comunidade (PD 4);
5. Aquisição de Terra e Reassentamento Involuntário (PD 5);
6. Preservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais (PD 6);
7. Povos Indígenas (PD 7); e
8. Herança Cultural (PD 8).

O PD 6 é dedicado à importância da conservação da diversidade biológica, manutenção dos serviços ecossistêmicos e promoção da gestão sustentável, como critérios para financiamento a partir do impacto ambiental positivo. Ele alinha-se aos objetivos da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), no que tange às ações que minimizem ameaças à biodiversidade durante a execução de projetos. Também reconhece áreas de 'habitat crítico' por critérios como importância para espécies ameaçadas, significância para espécies endêmicas, suporte a espécies migratórias ou guarda-chuvas, ecossistemas ameaçados e áreas envolvidas em processos evolutivos significativos [9].

Os Padrões de Desempenho da IFC [8] são cada vez mais reconhecidos como fundamentais para a gestão da biodiversidade no setor privado, adotados especialmente pela indústria extrativa, e sua implementação é vista como fundamental para o desenvolvimento sustentável [10]. A aplicação e gestão dessas diretrizes é feita por um sistema de gestão que detalha processos para a identificação de riscos, programas de gestão, capacidades organizacionais, preparação para emergências, monitoramento e análise, engajamento das partes interessadas, comunicações externas e mecanismos de reclamação, e relatórios contínuos para as comunidades afetadas [11].

O Programa de Compensações de Negócios e Biodiversidade (BBOP) reúne diversas entidades visando melhores práticas em compensações para proteção da biodiversidade. Os envolvidos buscam mostrar que as compensações podem ser mais eficazes do que abordagens tradicionais, auxiliando empresas a operar de forma responsável e econômica. O BBOP advoga pelo princípio de "nenhuma perda líquida" (no net loss – NNL) e, preferencialmente, "ganho líquido" (net gain – NG) de biodiversidade.

Em 2012, o BBOP lançou normas orientando o desenvolvimento consciente sem perda de biodiversidade. Essas diretrizes seguem a hierarquia de mitigação, um conceito central na conservação ambiental, que enfatiza a prevenção de danos. A hierarquia possui quatro etapas: evitar o impacto, minimizar danos, restaurar ecossistemas e, finalmente, compensar quando os impactos são inevitáveis (Figura 1).

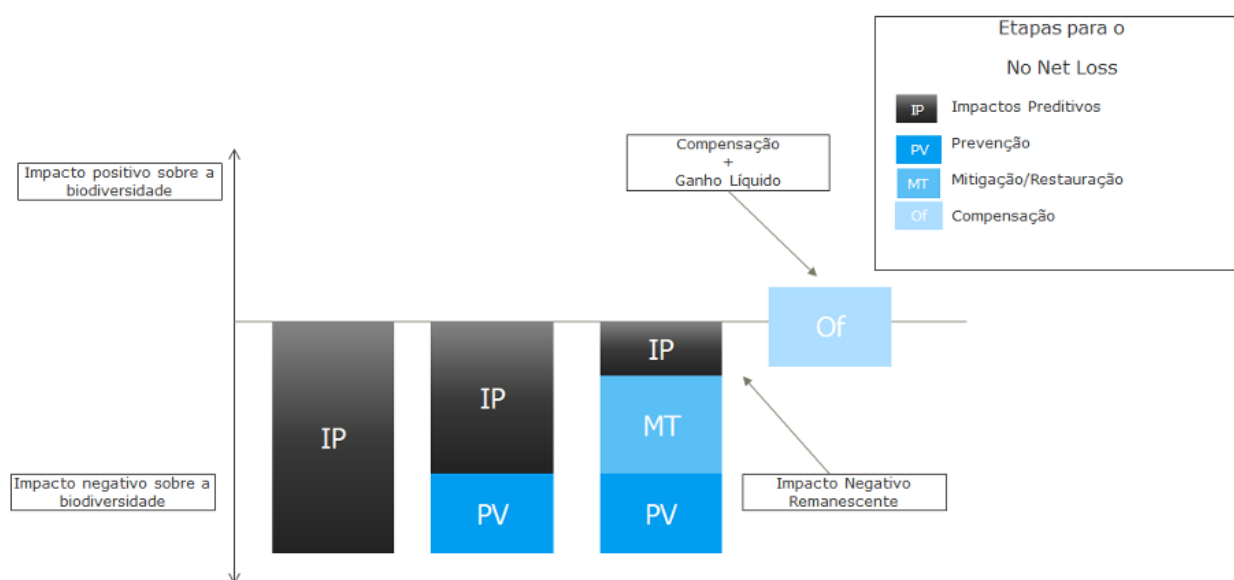


Figura 1 – Hierarquia de mitigação de impactos ambientais usando NNL e NG de biodiversidade.

Fonte: adaptado de Conservation Strategy Fund (CSF-Brasil) [12].

A natureza crítica dos habitats é enfatizada em regulamentações do BBOP, exigindo compensações que não só evitem perdas, mas alcancem um ganho líquido nos casos de habitats críticos. O BBOP estabelece que uma verdadeira NNL é mais viável quando há um processo quantitativo de ganhos, que considera riscos e a imprevisibilidade de projetos de compensação [13].

Os termos NNL e NG têm obtido destaque nos debates sobre preservação da biodiversidade na última década. Ambas as estratégias são reconhecidas por sua capacidade de equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação da natureza. Na prática, empresas adotam objetivos de NG em seus planos de desenvolvimento sustentável, tornando-se um movimento crescente que reflete o compromisso delineado pela ONU para a Agenda 2030 [14].

No contexto ambiental, "compensação" e "offset" referem-se às medidas para contrabalançar os danos ambientais. Enquanto a compensação ambiental é um termo amplo que abrange ações como restauração ou criação de habitats para equilibrar impactos negativos, o offset é mais específico e quantitativo, visando metas claras de conservação como "nenhuma perda líquida – NNL" ou "ganho líquido – NG" de biodiversidade [15]. Porém, é necessário que a linha base de comparação, para estabelecer o que de fato pode ser perdido ou ganhado, seja muito bem estabelecida; caso contrário, as avaliações podem ser equivocadas [16]. Além disso, é importante destacar que nenhuma perda ou ganho líquido de biodiversidade pode não representar a manutenção adequada dos serviços ecossistêmicos locais [17].

Desde que a compensação ambiental começou, em meados da década de 1970, vários métodos para avaliar a biodiversidade foram concebidos, e a proposição de que os empreendimentos combinados com a compensação poderiam prosseguir sem perda para a biodiversidade, habitats e serviços ecossistêmicos, tem sido compreensível. Apesar de um conjunto de controvérsias, a compensação da biodiversidade ganhou amplo apoio político e empresarial [2].

Em 2016, o setor industrial publicou os princípios de desenvolvimento de boas práticas para ganho líquido de biodiversidade, no intuito de seguir uma 'hierarquia de mitigação' para evitar e minimizar os impactos sobre a biodiversidade e obter ganhos pela criação ou restauração de habitats no local de interferência de empreendimentos ou fora dele [18]. Nesse sentido, os ganhos devem ser obtidos no que diz respeito à composição das espécies, estrutura do habitat, funcionamento dos ecossistemas e valores culturais associados à biodiversidade, e o ponto central para o desenho de uma compensação de biodiversidade é a quantificação transparente das perdas e ganhos de biodiversidade em locais de impacto direto de empreendimentos ou das compensações correspondentes [13]. Os ganhos em relação às perdas são um desafio por duas razões principais:

1. a diversidade biológica, como um amplo conceito unificador, é entendida como abrangendo todas as formas de vida, níveis e combinações de variação natural, em todos os níveis de organização biológica, bem como diferentes tipos de uso humano e valores culturais [19]. Os elementos de composição (como espécie ou grupos de espécies), estruturais (como abundância da vegetação) e funcionais (como ciclagem de nutrientes) são todos essenciais para a biodiversidade. No entanto, as compensações de biodiversidade só podem ser mensuradas para um conjunto pequeno de componentes da biodiversidade [20]; e
2. qualquer projeto de compensação de biodiversidade é caracterizado pelo conjunto de impactos definidos por tipo, escala e intensidade, e pelos locais de compensação, sua condição atual do ambiente e recursos financeiros disponíveis. A variação associada das condições locais é parcialmente refletida na multiplicidade de procedimentos usados para avaliar a perda de biodiversidade, e novos métodos estão sendo desenvolvidos e testados. Não existe uma abordagem única para todos, e por isso uma abordagem flexível e adaptativa é necessária para alcançar resultados de conservação de longo prazo. Para garantir as melhores práticas, projetos individuais podem trabalhar a partir de um conjunto de princípios comuns ao projetar e implementar compensações para não atingir a perda líquida de biodiversidade [13].

A compensação deve atender a critérios como equivalência, adicionalidade, permanência e limites, assegurando que estejam alinhadas com a realidade socioeconômica e governança local, e que as medidas de compensação gerem ganhos ambientais comparáveis às perdas ambientais [17]. Nesse sentido, vários métodos

avaliam a biodiversidade com o propósito de permitir investimentos sem perdas para habitats e serviços ecossistêmicos. As boas práticas desenvolvidas para o setor industrial objetivando o cálculo de ganho líquido de biodiversidade seguem a hierarquia de mitigação, obtendo ganhos por meio da criação ou restauração de habitats, demonstrando uma quantificação transparente de ganhos e perdas de biodiversidade [21]. A hierarquia de mitigação possui abordagens flexíveis necessárias para alcançar resultados de conservação a longo prazo, priorizando rigorosamente a conservação [1].

A utilização de novas metodologias de sustentabilidade no setor industrial enfrenta vários desafios. A cultura organizacional muitas vezes prioriza a eficiência e reduz custos, o que cria resistência a mudanças. Os altos custos iniciais para tecnologias e reestruturações podem ser um obstáculo, assim como a falta de conhecimento sobre práticas sustentáveis. A adaptação a regulamentações mutáveis e a integração de novas metodologias aos sistemas existentes também são complexas. Além disso, alinhar as expectativas de diferentes *stakeholders* e avaliar o desempenho das iniciativas de sustentabilidade pode ser difícil. A sustentabilidade dos fornecedores é outro desafio a ser superado, já que para lidar com isso, as empresas podem investir em capacitação, buscar parcerias estratégicas e participar de iniciativas colaborativas, incorporando práticas sustentáveis no planejamento estratégico para promover uma operação mais sustentável.

Alcançar "nenhuma perda líquida", equilibrando impactos com medidas de conservação, é o alvo central. O termo "impacto líquido positivo" refere-se a quando os ganhos excedem as perdas. A "mitigação compensatória" é usada quando é necessário compensar impactos residuais, mas ainda não é claro como determinar e mensurar essas compensações [2].

A sustentabilidade corporativa permite que o setor privado estabeleça objetivos específicos e mensuráveis em relação à biodiversidade, importantes para o desenvolvimento de métricas e métodos de avaliação eficazes [22]. Ainda que haja progresso, é um desafio aprimorar essas práticas, visando atender aos objetivos de sustentabilidade através da definição e mensuração dos componentes da biodiversidade. Dada a complexidade em medir toda a biodiversidade, foca-se em componentes-chave, mantendo as medidas alinhadas com as metas desejadas [23]. Métricas de biodiversidade bem elaboradas e cientificamente validadas são aplicadas para calcular perdas e ganhos, criando uma "moeda" fiel para o valor da biodiversidade. Uma métrica apropriada permite a comparação de habitats e espécies quantificável e comercializável [24].

A seleção de métricas para quantificar a biodiversidade é um campo em expansão, ainda sem uma abordagem universal. A biodiversidade é intrinsecamente difícil de medir e comparar quantitativamente. Nenhuma métrica pode descrever a biodiversidade como um todo. No entanto, métodos foram desenvolvidos para calcular a perda e ganho de determinados valores de biodiversidade. Estes podem se concentrar no habitat como um *proxy* útil para a biodiversidade como um todo (como 'hectares de qualidade', medida de área de habitat x condição), que são consideradas como métricas agregadas, ou em um pequeno conjunto de espécies-chave (como 'unidades de distribuição', medida da proporção da população de uma determinada espécie em um local definido), serão consideradas como métricas desagregadas [13].

As métricas eficazes contribuem para a conservação do habitat como um índice de saúde geral da biodiversidade. Contudo, nenhum método isolado pode capturar todas as nuances da biodiversidade, exigindo o uso simultâneo de várias abordagens [25]. Os cálculos de compensação variam consideravelmente com base nas peculiaridades de cada projeto, evidenciando a necessidade de adaptar métodos ao contexto local. Essa flexibilidade é vital para enfrentar os desafios colocados pelas compensações, incluindo questões referentes à adequação de intervenções e o estabelecimento de condições de linha de base confiáveis [26].

As métricas são quantitativas e não expressam a totalidade da biodiversidade, logo, é necessário o emprego cuidadoso de regras de troca e outros princípios ecológicos para garantir nenhuma perda líquida [27]. O sucesso

das compensações exige métricas que se alinhem com princípios claros de troca, e a abordagem do ganho líquido deve ser considerada com cautela para garantir resultados de conservação a longo prazo, refletindo além de métricas, a necessidade de soluções que prezem pela sustentabilidade e conservação efetiva da biodiversidade [20].

As disparidades entre os projetos de desenvolvimento e os recursos alocados para a conservação de biodiversidade em diferentes países destacam a complexidade e a falta de uniformidade nos métodos de compensação globais. A estratégia de compensação deve considerar previsões futuras e assegurar que o investimento na conservação não resulte em deslocamento de pressões sobre a biodiversidade, conhecido como "vazamento" [27]. O alcance da "nenhuma perda líquida" geralmente implica na aplicação de multiplicadores, que ajustam as métricas baseando-se em fatores como incerteza e atrasos na provisão de benefícios de biodiversidade [10].

Após essa abordagem conceitual acerca do impacto líquido em biodiversidade, este estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura com análise das métricas que são utilizadas para determinar perdas e ganhos líquidos em biodiversidade e avaliar sua aplicação às florestas tropicais, assim como relacionar as métricas de cálculo para análise das perdas e ganhos líquidos disponíveis na literatura, vislumbrando estabelecer critérios para seleção das métricas disponíveis com potencial de aplicação em florestas tropicais; descrever e analisar os critérios e variáveis de cada métrica selecionada; e discutir cada métrica considerando suas premissas e restrições, estabelecendo uma análise comparativa entre os métodos.

Materiais e Métodos

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura, durante o período de setembro de 2022 e setembro de 2023, sobre métricas de biodiversidade e métodos contábilísticos, seguindo procedimentos padrões para coletar, analisar e compilar literatura relevante. Esse método estruturado permite formular conclusões precisas e eficazes para mitigar vies.

A revisão sistemática da literatura foi organizada em três etapas: levantamento, revisão e análise, e apresentação de resultados [28, 29]. No planejamento, definiram-se as palavras-chave utilizadas para as buscas, sendo elas: *no net loss method*, *net impact assessment method*, *biodiversity offset*, *habitat offset*, *environmental offset*, *offset metric*, *offset method*, *offset gains*, *net positive impact*, *mitigation hierarchy*. Foram utilizadas as seguintes plataformas de pesquisa, para a busca das referências, utilizando as palavras-chave citadas acima: Web of Science, Scopus e Google Scholar. Utilizaram-se apenas referências publicadas em inglês, cujo texto completo estava disponível. A revisão e análise envolveu a coleta de dados considerando artigos científicos, estudos não publicados, políticas públicas e relatórios técnicos. Os textos selecionados foram aqueles que, independentemente do período de publicação: (i) apresentaram relação direta com a temática do estudo; (ii) estabeleceram métodos e métricas para avaliação quantitativa da biodiversidade; e (iii) apresentassem métricas cuja aplicabilidade estivesse relacionada às florestas tropicais e potencial para avaliar nenhuma perda (NNL) ou ganho líquido (NG) de biodiversidade. Sendo excluídos: (i) trabalhos duplicados; (ii) textos conceituais; e (iii) trabalhos sem descrição metodológica suficiente, que inviabilizasse a comparação ou avaliação da eficiência da métrica. No entanto, apesar de estabelecidos os critérios, conforme apresentado acima, os resultados das buscas e o registro de forma detalhada em cada etapa do processo de triagem, como, por exemplo, o número de referências totais retornadas em cada base, bem como as exclusões em cada fase de refinamento e a remoção por duplicidade, não foram

preservados. Dessa forma, a reprodutibilidade integral do processo de busca e seleção, realizado neste trabalho, apresenta limitações.

Dessa maneira, as referências selecionadas permitiram que as métricas analisadas pudessem ser avaliadas quanto à sua aplicabilidade de forma compatível com padrões internacionais como a Performance Standard 6 [8]. A seleção das métricas para a avaliação da biodiversidade levou em consideração seis critérios: Tipo (Agregada ou Desagregada), Objetivo, Vantagens e Desvantagens, Contexto de Paisagem, Controle e seus Multiplicadores. Primeiramente, a importância de utilizar tanto métricas agregadas quanto desagregadas foi destacada, garantindo uma abordagem abrangente. A avaliação comparativa se baseou em padrões que foram principalmente desenvolvidos para habitats terrestres, assegurando que as métricas fossem aplicáveis a contextos relevantes. Além disso, foram analisadas as vantagens e desvantagens de cada métrica para entender melhor suas implicações e eficácia. Outro critério importante foi a consideração de apenas aquelas métricas que incorporam fatores de paisagem, reconhecendo a complexidade e diversidade dos ecossistemas. As métricas selecionadas também precisavam levar em conta uma análise em relação à linha de base, o que é fundamental para medir impactos adequadamente. Por fim, a presença de multiplicadores objetivos e adequados nas métricas foi avaliada, contribuindo para a precisão e aplicabilidade das análises realizadas.

O conjunto desse levantamento vislumbrará as métricas encontradas, descrevendo características como ano de desenvolvimento, desenvolvedor, tipo de métrica e objetivos e uma descrição geral detalhada, assim como as vantagens, desvantagens, contexto de paisagem e outros atributos relevantes para cada métrica, sob uma perspectiva de análise de conteúdo.

Resultados e Discussão

Como resultado, foram selecionadas para análise 20 referências com base nos critérios estabelecidos. No Material Suplementar são apresentadas todas as métricas utilizadas, bem como uma análise comparativa detalhada (Tabela Suplementar 1). Elas foram desenvolvidas em diferentes países, como Austrália, França, Alemanha, África do Sul e Estados Unidos, e algumas estão sendo testadas na Europa e Reino Unido. Nesses países, essas métricas acabaram sendo a maior referência, pois são neles que a compensação ambiental é mais amplamente pesquisada [25].

Foram selecionadas cinco métricas que, em concordância com os parâmetros de avaliação, em conjunto, expressam as perdas e ganhos líquidos em biodiversidade para ecossistemas terrestres, podendo ser aplicadas para o contexto das florestas tropicais:

- Biodiversity Significance Index (BSI) [30];
- Biodiversity Metric 3.0 (Defra) [31];
- Net Impact Assessment (WBCSD/CSI) [32];
- Loss Gain Calculator [33]; e
- Disaggregated Model [34].

Biodiversity Significance Index (BSI) [30]

Essa métrica avalia o valor da biodiversidade considerando três medidas substitutas, o contexto da paisagem (VC), significância de conservação (CS) e condição da vegetação (LC). A avaliação do contexto da paisagem considerou tamanho e localização na paisagem, enquanto a significância de conservação pontuou a quantidade e a probabilidade de persistência de componentes da biodiversidade na paisagem. A condição da

vegetação avaliou a presença de componentes críticos do hábitat (como espécies ameaçadas de extinção) e outros recursos necessários. A pontuação final do índice de significância da biodiversidade (BSI) foi obtida combinando essas medidas. A mudança no uso e ocupação da terra foi avaliada através do índice de benefícios da biodiversidade, considerando a possível alteração na condição da vegetação e na classificação de significância de conservação. Se $BSI_{impacto} \leq BSI_{offset}$, indicava ausência de perda/ganho líquido de biodiversidade.

Cálculo da métrica:

$$BSI_{impacto} = \frac{(LC + CS) \times VC}{200} \times \text{Área}_{impacto} (ha)$$

$$BSI_{offset} = \frac{(LC + CS) \times VC}{200} \times \text{Área}_{offset} (ha)$$

Onde:

LC = Contexto de paisagem

CS = Significado de conservação

VC = Condição da vegetação

Vantagens:

- 1) inclui variáveis da paisagem relevantes para fenômenos ecologicamente significativos;
- 2) inclui a importância da conservação das espécies florestais; e
- 3) fornece uma medida da qualidade da área.

Desvantagens:

- 1) limitações relacionadas aos tipos de vegetação sem presença de árvores;
- 2) os valores individuais são transformados em um único valor final, não sendo possível identificar a causa ou origem do estresse apenas pelo valor da métrica; e
- 3) avalia apenas ao nível do hábitat, embora incorpore o número de árvores.

Biodiversity Metric 3.0 (Defra) [31]

Essa métrica, aliada à orientação profissional e conhecimento ecológico, permite medições consistentes e robustas da biodiversidade. Sua aplicação informa o planejamento, projeto, gestão de terras e tomada de decisões. Usada em todas as fases de um projeto, otimiza o design, testa conformidade com expectativas e avalia o valor da unidade de biodiversidade, perdas e ganhos, eficácia na criação ou melhoria de habitats e comparação de planos.

Projetada para habitats terrestres e intermarés no Reino Unido, reforça a hierarquia de mitigação, priorizando a retenção de habitats existentes. Considera habitats como proxy para biodiversidade, convertendo-os em unidades de biodiversidade. A condição do habitat, uma medida "intra-habitat", compara com o estado ecológico ideal, permitindo aferir a variação na qualidade. O valor estratégico, ligado à localização espacial, atribui valor adicional a habitats de importância estratégica.

Este método calcula o impacto líquido de biodiversidade quando o valor do impacto é menor ou igual ao valor da compensação.

Cálculo da métrica:

$$\text{Impacto} = \{(\text{Nível de importância do habitat} \times \text{Condição do habitat} \times \text{Valor estratégico}) \times \text{Área (ha)}\}$$

$$\text{Offset} = \{(\text{Nível de importância do habitat} \times \text{Condição do habitat} \times \text{Valor estratégico}) \times \text{Área (ha)}\} \times \text{Multiplicadores (tempo, complexidade, localização)}$$

Vantagens:

- 1) fornece uma medida de qualidade de área;
- 2) a métrica pode ser usada em todos os estágios de um projeto, desde a seleção do local e avaliação das opções até o projeto detalhado; e
- 3) pode ser adaptada para ambiente marinho.

Desvantagens:

- 1) desenvolvida para atender os diferentes tipos de ecossistemas do Reino Unido (distinção específica);
- 2) os valores unitários de biodiversidade gerados pela métrica 3.0 são exclusivos dela e não podem ser comparados aos resultados da unidade da versão 2.0, a métrica Defra original ou qualquer outra métrica de biodiversidade. Além disso, os três tipos de unidades de biodiversidade geradas por esta métrica (para áreas, sebes e habitats fluviais) são únicos e não podem ser somados; e
- 3) impactos em habitats críticos não são adequadamente medidos por essa métrica.

Net Impact Assessment (WBCSD/CSI) [32]

A Net Impact Assessment (NIA) é uma métrica desenvolvida para auxiliar empresas de cimento na medição consistente e padronizada de seus impactos na biodiversidade, visando avaliar o impacto líquido de jazidas e áreas de mineração. A localização é baseada na avaliação de habitat e critérios relacionados às espécies, comparando a área de cobertura, importância, qualidade e condição do habitat nos momentos pré, durante e pós-extração/operação.

Para realizar a NIA são necessárias entradas como dados históricos, avaliação prévia de impacto ambiental e social (ESIA), levantamentos de habitat, fotos de satélite/aéreas e depoimentos de especialistas. A metodologia considera tanto impactos negativos (desmatamento, infraestrutura, operações no local), quanto positivos potenciais (restauração de áreas degradadas, contribuições para proteção de áreas de biodiversidade, restauração ecológica).

O impacto líquido é calculado a partir do valor da biodiversidade de cada habitat, do índice de biodiversidade e da comparação entre a linha de base e o momento de análise. A NIA permite que as empresas determinem o status de seu impacto na biodiversidade e seu progresso em alcançar um impacto líquido positivo, envolvendo especialistas e métricas apropriadas em níveis local, nacional e internacional, demonstrado através de um exemplo de aplicação do método Net Impact Assessment (NIA) (Figura 2).

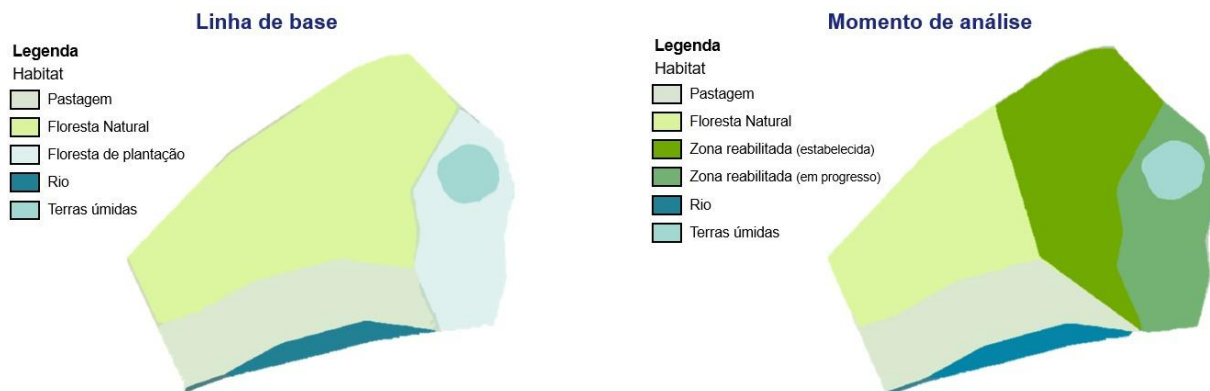


Figura 2 – Classificação e mapeamento de hábitat. Na linha de base e no momento da análise (após 35 anos).

Fonte: adaptado de WBCSD [32].

Cálculo da métrica:

$$BV = (I \times C \times A)$$

$$BI = (\sum BV) / (\sum A)$$

$$NI = BI \text{ momento da análise} - BI \text{ linha de base}$$

Onde:

I = Importância do habitat

C = Condição do habitat

A = Área de cobertura do habitat

NI = Impacto líquido

Vantagens:

- 1) dependendo dos objetivos da avaliação e dos resultados desejados, uma empresa pode decidir aplicar a metodologia em um único local ou em todo o portfólio (nível corporativo). A seleção do local, no entanto, não deve ser limitada apenas aos de alto valor de biodiversidade;
- 2) a metodologia NIA focada na biodiversidade foi demonstrada como eficaz;
- 3) robustez e credibilidade; a metodologia compara a situação pré-pedreira/operação e aquela no momento da análise, com base numa ampla gama de informações disponíveis; e
- 4) facilidade de uso para não ser proibitivamente caro ou demorado para implementar. A metodologia foca exclusivamente na biodiversidade, ao invés de aspectos sociais ou ambientais mais amplos, e envolve o uso de informações existentes (dados secundários). Quando esta informação não for adequada para avaliação, especialmente em locais de alto valor de biodiversidade, inventários de campo devem ser realizados para identificar os tipos de hábitat.

Desvantagens:

- 1) métrica relativamente recente; e
- 2) desenvolvida e projetada para medir o impacto líquido sobre a biodiversidade das atividades de mineração de uma empresa de cimento. Precisa de mais testes para outras atividades.

Loss Gain Calculator [33]

A métrica proposta tem como objetivo criar uma calculadora simples para quantificar o ganho de biodiversidade necessário para compensar uma quantidade conhecida de perda de biodiversidade. É uma métrica

desagregada, calculando o valor presente líquido da perda (PVL_i) e ganho (PVLG_i) para cada atributo de biodiversidade desejado. Define-se o valor presente da perda (PVL) para um atributo de biodiversidade de um projeto, considerando o impacto previsto (I), a proporção dessa perda atribuível ao desenvolvimento (PI) e o desconto (r) ao longo dos anos do projeto (tn). O impacto (I) é estimado separadamente para cada atributo de biodiversidade, usando unidades específicas para aquele atributo. A proporção do impacto do projeto em um atributo é dada por PI, considerando fatores como ameaças não relacionadas ao projeto.

O valor presente do ganho (PVG) gerado pela compensação para cada atributo de biodiversidade impactado pelo projeto é definido levando em consideração a quantidade bruta de compensação (O), proporção adicional (PO) e taxa de eficácia da ação de gestão proposta (E) ao longo dos anos (Tn).

A métrica visa equilibrar PVL e PVG para cada atributo de biodiversidade, resultando em nenhuma perda líquida se PVG = PVL para todos os atributos. O deslocamento total (O) necessário para compensar uma quantidade específica de perda (PVL) pode ser calculado combinando as equações de valor presente da perda (PVL) e valor presente do ganho (PVG).

Cálculo da métrica:

$$PVL_i = \frac{(I) \times (Pi)_i}{(1 + r)^{tn}}$$

$$PVG_i = \frac{(O) \times (Po) \times (Pi)_i}{(1 + r)^{tn}}$$

$$O_i = \frac{(PVL \times (1 + r)^{tn})}{(E \times Po)_i}$$

Onde:

PVL = Valor presente da perda

PVLG = Valor presente do ganho

I = Área de Impacto previsto

Pi = % de impacto previsto

O = Área de offset

Po = % de offset

Vantagens:

- 1) metodologia fácil de ser aplicada;
- 2) métrica desagregada, pode ser combinada com uma métrica agregada para determinar espécies ou aspectos do habitat específicos; e
- 3) fornece uma compensação de biodiversidade antes dos impactos do desenvolvimento.

Desvantagens:

- 1) metodologia nova, pouco aplicada. Poucos exemplos práticos de aplicação; e
- 2) o uso de compensações de restauração é ainda mais restrito em áreas onde há pouca ou nenhuma obrigação existente de conservar a biodiversidade. Assim, as circunstâncias em que nenhuma perda líquida pode ser alcançada usando compensações de restauração são restritas.

Disaggregated Model [34]

O Modelo Desagregado utiliza o Valor Presente Líquido da Biodiversidade (NPBV) para fornecer uma medida de equidade na troca de biodiversidade. Ele e

estrutura hierarquicamente os elementos da biodiversidade em três níveis: tipo, componente e atributo. Cada atributo é avaliado individualmente usando o NPBV, demonstrando nenhuma perda líquida no nível de atributo. Ao agregar para o nível de componente, o NPBV é retido como saída, identificando explicitamente quaisquer compensações entre os atributos. No entanto, a agregação só ocorre dentro dos componentes da biodiversidade, não entre eles.

O modelo identifica "vencedores e perdedores" na troca, destacando áreas onde nenhuma perda líquida é demonstrada para alguns atributos, mas não para outros. Isso permite ajustes nas ações de compensação, como aplicá-las a uma área maior ou modelar ações adicionais para aumentar o ganho de biodiversidade no local de compensação. Os resultados podem ser avaliados no nível do componente, produzindo um NPBV no nível primário de interesse.

Cálculo da métrica:

$$BV \text{ local de offset} = \left\{ \frac{(Atributo \text{ pós offset} - Atributo \text{ pré offset})}{Benchmark} \times \frac{Incerteza}{(1+d)^t} \times \frac{Offset}{1} \right\}$$

$$BV \text{ local impacto} = \left\{ \frac{(Atributo \text{ pós offset} - Atributo \text{ pré offset})}{Benchmark} \times \frac{Offset}{1} \right\}$$

$$NPBV = BV \text{ local de offset} - BV \text{ local impacto}$$

Onde:

d = taxa de desconto

t = tempo para se alcançar o objetivo

Vantagens:

- 1) metodologia fácil de ser aplicada;
- 2) métrica desagregada, pode ser combinada com uma métrica agregada para determinar espécies ou aspectos do habitat específicos;
- 3) possui potencial de aplicação do Modelo Desagregado para estimar trocas desiguais da biodiversidade;
- e
- 4) para apreciar totalmente essa vantagem, voltamos a atenção para a importância das moedas no comércio de biodiversidade e porque a (des)agregação é importante.

Desvantagens:

- 1) métricas mais desagregadas podem ser mais caras e complicadas de usar do que métricas mais agregadas, uma vez que substituem medidas compostas únicas por muitas medidas separadas, cada uma das quais deve ser contabilizada separadamente. Métrica tecnicamente mais complexa e com maior custo de execução;
- 2) cenários contrafactuais irrealistas são um problema na prática de compensação de biodiversidade. Assume um cenário em uma linha de base estática (sem perda ou ganho de fundo esperado). Ao fazer essa suposição, o Modelo Desagregado desconsidera os ganhos obtidos ao evitar perdas (como através da proteção e manutenção da condição que de outra forma diminuiria) e aceita os ganhos que teriam ocorrido

de qualquer maneira na ausência da compensação (como a condição de um local está melhorando sem intervenção); e

3) o Modelo Desagregado depende de um multiplicador simplista para explicar a incerteza das ações de compensação, não levando em consideração quaisquer outras formas teóricas, técnica, operacional, institucional e financeira de incerteza que deve ser tratada fora do modelo durante o design offset.

A perda de biodiversidade, um dos desafios ambientais mais críticos que enfrentamos hoje, é resultado de uma interação complexa de fatores antropogênicos [4]. A degradação do habitat devido à expansão urbana, desmatamento, introdução de espécies invasoras, agricultura intensiva e mineração, juntamente com a poluição do ar e da água, tem um impacto significativo na redução das populações de espécies [6].

O IPBES (Plataforma Intergovernamental de Ciência e Política sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos) identifica diversas fontes de pressão sobre a biodiversidade que levam à sua diminuição e degradação. Entre elas, destacam-se a alteração no uso e ocupação da terra, que transforma habitats naturais em áreas agrícolas ou urbanas, resultando em fragmentação de ambientes. A exploração excessiva de recursos, como pesca e caça insustentáveis, que juntos contribuem para a redução das populações de espécies nativas.

Além disso, as mudanças climáticas afetam os padrões de migração e reprodução das espécies, aumentando sua vulnerabilidade [3]. A poluição, impulsionada por produtos químicos e plásticos, degrada os ecossistemas, enquanto as espécies invasoras competem com as nativas, desestabilizando os habitats. Intervenções como a construção de barragens e drenagens de pântanos alteram ainda mais a dinâmica natural. Essas pressões interagem de forma complexa, intensificando a perda de biodiversidade e prejudicando os serviços ecossistêmicos essenciais à vida e à economia. A mitigação desses impactos requer ações coordenadas em níveis global e local [35], já que esses fatores atuam sinergicamente, exacerbando a perda de biodiversidade e ameaçando a estabilidade dos ecossistemas em todo o mundo [36].

Alcançar compensações de biodiversidade ecologicamente viáveis a longo prazo requer a consideração do contexto mais amplo da paisagem. Isso envolve a integração de informações sobre a paisagem terrestre ou marinha de forma mais ampla (como dados espaciais sobre uso e ocupação da terra, propriedades particulares e biodiversidade) no processo de implementação de projetos de compensação. A escolha da métrica ou abordagem de compensação de biodiversidade mais apropriada depende das circunstâncias específicas e deve ser adaptada às condições locais [23].

Pode ser necessário o uso de várias métricas, e uma combinação de métricas agregadas e desagregadas pode proporcionar uma compreensão melhor dos resultados de compensação. Além disso, avaliações qualitativas baseadas em opiniões de especialistas podem ser úteis para informar a tomada de decisões juntamente com as métricas [22]. Nesse sentido, este estudo buscou contribuir no agrupamento de métodos e métricas de compensação eficazes, que auxiliem iniciativas organizacionais públicas e privadas, para um desenvolvimento industrial e econômico mais sustentável, subsidiado a partir de parâmetros que mitiguem impactos à biodiversidade nas florestas tropicais. No entanto, cabe ressaltar que os impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas requerem atenção, pois ainda há equívocos na avaliação de impactos positivos, apesar do longo histórico de desenvolvimento do processo de licenciamento ambiental no Brasil [37].

Considerações Finais

Este estudo promoveu uma discussão sobre métricas que se utilizam de indicadores ecológicos com o objetivo de quantificar perdas e ganhos líquidos em biodiversidade para fins de compensação. Trata-se de uma

abordagem relativamente recente proveniente de um movimento mundial que vem ganhando escala e com potencial de ser implementada no Brasil.

Trazer subsídios para dimensionar perdas e ganhos líquidos em biodiversidade possibilita o estabelecimento de políticas públicas mais adequadas com vistas a reduzir o impacto ambiental à sociedade, causado pelas próprias atividades antrópicas e proporciona que as áreas de compensação ambiental alcancem ganhos positivos líquidos, resultando na melhoria da qualidade ecológica do habitat.

Existem diversas métricas disponíveis na literatura para se avaliar perdas e ganhos líquidos em biodiversidade e este estudo demonstra o potencial de utilização dessas métricas para se avaliar o desempenho das compensações ambientais pela supressão de florestas tropicais.

Por fim, é importante que se definam as métricas para que se tenha uma boa medida de nenhuma perda ou algum ganho líquido de biodiversidade para que as medidas de compensação sejam eficazes e eficientes. A partir desse levantamento e das métricas selecionadas, será viável a aplicação dessas metodologias para se mensurar a biodiversidade sob a ótica de nenhuma perda ou ganho líquido, sendo um passo importante para o efetivo ganho ambiental nas áreas de compensação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização desta pesquisa. Ao Núcleo de Pesquisa Científica e Tecnológica em Meio Ambiente, Silvicultura e Ecologia (NUPEMASE), pelo apoio técnico-científico e pelo ambiente de discussão que contribuiu para o desenvolvimento e o aprimoramento deste trabalho.

Declaração de uso de inteligência artificial

Os autores declaram que não foi utilizada inteligência artificial em nenhuma etapa do manuscrito.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses, de natureza pessoal, comercial, política, acadêmica ou financeira, que possa ter influenciado a elaboração, condução ou publicação deste trabalho.

Contribuição de autores (Taxonomia CRediT)

Papel CRediT	Descrição	Autores
Conceitualização	Ideação do projeto, formulação da pesquisa	Rômulo Arantes; Henrique Dias
Curadoria de dados	Gerenciamento, limpeza e manutenção de dados	Rômulo Arantes
Análise formal	Aplicação de técnicas estatísticas ou matemáticas	Rômulo Arantes

Aquisição de financiamento	Obtenção de recursos financeiros	Não se aplica
Investigação	Execução do estudo, coleta de dados, experimentos	Rômulo Arantes
Metodologia	Desenvolvimento ou design de métodos e procedimentos	Rômulo Arantes; Henrique Dias; Daniel Santos
Administração do projeto	Gestão e coordenação do projeto	Henrique Dias
Recursos	Fornecimento de materiais, reagentes, equipamentos	Não se aplica
Software	Desenvolvimento de software, códigos ou algoritmos	Não se aplica
Supervisão	Orientação e supervisão geral do projeto	Henrique Dias; Daniel Santos
Validação	Verificação da precisão e consistência dos resultados	Rômulo Arantes; Henrique Dias; Daniel Santos
Visualização	Preparação de figuras, gráficos e representações visuais	Rômulo Arantes
Redação – rascunho original	Preparação do manuscrito inicial	Rômulo Arantes
Redação – revisão e edição	Revisão crítica e edição do manuscrito	Rômulo Arantes; Daniel Santos

Depósito dos dados da pesquisa

Não aplicável.

Referências

1. Jacob C, Van Bochove J-W, Livingstone S, White T, Pilgrim J, Bennun, L. Marine biodiversity offsets: Pragmatic approaches toward better conservation outcomes. *Conservation Letters* 2020; 13(3): e12711. <https://doi.org/10.1111/conl.12711>
2. Rainey HJ, Pollard EHB, Dutson G, Jonathan MM, Ekstrom JMM, Livingstone SR, et al. A review of corporate goals of No Net Loss and Net Positive Impact on biodiversity. *Oryx*. 2015; 49(2): 232–238. <https://doi.org/10.1017/S0030605313001476>
3. Ma K. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: An important global agenda for biodiversity conservation. *Biodiversity Science*. 2023; 31(4): 23133. <https://doi.org/10.17520/biods.2023133>
4. Scarano FR, Ceotto P. A importância da biodiversidade brasileira e os desafios para a conservação, para a ciência e para o setor privado. In: Rolim SG, Menezes LFT, Srbek-Araujo AC. (Coord.) Floresta Atlântica de Tabuleiro: Diversidade e Endemismo na Reserva Natural Vale. Editora Rona. 2016. p. 483–495.
5. Brasil. Resolução CONAMA no 1, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso: 14 fev. 2024.
6. Sanchez LE. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

7. Newbold T, Hudson L, Hill S, Contu S, Lysenko I, Senior RA, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*. 2015; 520: 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
8. Gibbons P, Lindenmayer DB. Offsets for land clearing: No net loss or the tail wagging the dog? *Ecological Management and Restoration*. 2007; 8(1): 26–31. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2007.00328.x>
9. International Finance Corporation. Padrão de Desempenho 6 – Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos. 2012.
10. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Nature protects if she is protected – Decisions of the eleventh meeting of the conference of the parties to the Convention on Biological Diversity. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2013.
11. Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). Biodiversity Offset Design Handbook. Washington, D.C.: Forest Trends. 2009.
12. Conservation Strategy Fund (CSF-Brasil). Definição de níveis de equivalência ecológica para a lei de compensação ambiental [Internet]. São Paulo: CSF-Brasil; 2017. Disponível em: https://www.conservation-strategy.org/sites/default/files/field-file/PORT_ST_CSF_Equivalencia_Ecologica_2017.pdf
13. Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). Resource Paper: No Net Loss and Loss-Gain Calculations in Biodiversity Offsets. Washington, D.C.: Forest Trends. 2012.
14. The Biodiversity Consultancy. A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy – Understanding biodiversity impacts. Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy. 2015.
15. Maron M, Ives CD, Kujala H, Bull JW, Maseyk FJF, Bekessy S, et al. Taming a Wicked Problem: Resolving Controversies in Biodiversity Offsetting. *BioScience*. 1º de junho de 2016; 66(6): 489–98. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw038>
16. McVittie A, Faccioli M. Biodiversity and ecosystem services net gain assessment: A comparison of metrics. *Ecosystem Services*. 2020; 44: 101145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101145>
17. Bull JW, Suttle KB, Gordon A, Singh NJ, Milner-Gulland EJ. Biodiversity offsets in theory and practice. *Oryx*. 2013; 47(3): 369–380. <https://doi.org/10.1017/S003060531200172X>
18. Wentworth J. POSTbrief 34: Net gain. London: UK Parliament. 2019.
19. Gardner T. Monitoring Forest Biodiversity. 1st ed. London: Earthscan; 2010.
20. Caro T. Conservation by Proxy: Indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species. First ed. Washington, D. C.: Island Press, 2010.
21. Bezombes L, Gaucherand S, Kerbiriou C, Reinert M, Spiegelberger T. Ecological Equivalence Assessment Methods: What Trade-Offs between Operationality, Scientific Basis and Comprehensiveness? *Environmental Management*. 2017; 60: 216–230. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0877-5>
22. Orsato RJ, Alexandre Garcia A, Mendes-da-Silva W, Simonetti R, Monzoni M. Sustainability indexes: why join in? A study of the ‘Corporate Sustainability Index (ISE)’ in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2015; 96: 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.071>
23. Cousins LJ. Biodiversity assessment: moving towards an evidence-based index for biodiversity offsetting. [thesis], Colchester: University of Essex. 2016. 230 f.
24. Maron M, Brownlie S, Bull JW, Evans MC, Von Hase A, Quétier F, et al. The many meanings of No Net Loss in environmental policy. *Nature Sustainability*. 2018; 1: 19–27. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0007-7>
25. Rayment M, Haines R, McNeil D, Conway M, Tucker G, Underwood E. Study on specific design elements of biodiversity offsets: biodiversity metrics and mechanisms for securing long term conservation benefits. Brussels: European Commission, DG Environment; 2014. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/995706>
26. Bull JW, Milner-Gulland EJ, Suttle KB, Singh NJ. Comparing biodiversity offset calculation methods with a case study in Uzbekistan. *Biological Conservation*. 2014; 178: 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.006>
27. McVittie A, Faccioli M. Biodiversity and ecosystem services net gain assessment: A comparison of metrics. *Ecosystem Services*. 2020; 44: 101145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101145>
28. Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration. 2011 [Internet]. Disponível em: www.training.cochrane.org/handbook.
29. Conforto EC, Amaral DC, da Silva SL. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Trabalho apresentado, v. 8, 2011.

30. Oliver I, Ede A, Hawes W, Grieve A. The NSW Environmental Services Scheme: Results for the biodiversity benefits index, lessons learned, and the way forward. *Ecological Management and Restoration*. 2005; 6(3): 197–205.
<https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2005.00237.x>
31. Panks S, White N, Newsome A, Potter J, Heydon M, Mayhew E, et al. Biodiversity Metric 3.0: Auditing and accounting for biodiversity – User Guide. UK: Natural England and other parties. 2021.
32. WBCSD. Methodology for the Net Impact Assessment of Biodiversity in the Cement Sector. Geneva, SW: WBCSD. 2018.
33. Gibbons P, Evans MC, Maron M, Gordon A, Le Roux D, Von Hase A, et al. A Loss-Gain Calculator for Biodiversity Offsets and the Circumstances in Which No Net Loss Is Feasible. *Conservation Letters*. 2016; 9(4): 252–259.
<https://doi.org/10.1111/conl.12206>
34. Maseyk FJF, Barea LP, Stephen RTT, Possingham HPG, Dutson G, Maron M. A disaggregated biodiversity offset accounting model to improve estimation of ecological equivalency and no net loss. *Biological Conservation*. 2016; 204: 322–332. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.016>
35. IPBES. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services [Internet]. Bonn: IPBES; 2019. Available from: <https://ipbes.net/global-assessment>
36. Butchart SHM, Walpole M, Collen B, Van Strein A, Scharlemann JPW, Almond REA, et al. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*. 2010; 328(5982): 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
37. Almeida FS de, Pereira SH, Vassar MPB, Garrido F de SRG. Impactos ambientais causados por empreendimentos em unidades de conservação da natureza na região Sudeste do Brasil. *Biodivers. Bras.* [Internet]. 2023; 13(3).
<https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v13i3.2305>

Biodiversidade Brasileira

Fluxo Contínuo

v. 16 n.3, 2026

<https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a difusão de experiências em conservação e manejo de unidades de conservação, gestão e uso sustentável de recursos naturais renováveis, biodiversidade e espécies ameaçadas, fiscalização e proteção da biodiversidade e patrimônio natural, e educação e formação para a conservação da sociobiodiversidade.

ISSN: 2236-2886