

BIOINDICADORES E BIOMONITORES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS): LACUNAS, AVANÇOS E PERSPECTIVAS

Neura Mendes da Silva¹;

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE.

Matheus Andrade Rocha Costa²;

²Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), Recife, PE.

Raphael Henrique de Moura Pereira³;

³CRCN-NE, Recife-PE.

Amanda Katielly Jordão Pessoa Felix da Silva⁴;

⁴CRCN-NE, Recife-PE.

Karolyne Santos da Silva⁵;

⁵CRCN-NE, Recife-PE.

Vinicius Humberto da Silva Bezerra⁶;

⁶CRCN-NE, Recife-PE.

Nathalia Virginia Ferreira pereira⁷;

⁷CRCN-NE, Recife-PE.

Elvis Joacir de França⁸;

⁸CRCN-NE, Recife-PE.

Marcus Metri Correa⁹.

⁹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE.

RESUMO: O modelo convencional de produção de alimentos tem gerado graves impactos ambientais, incluindo emissão de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade e degradação do solo. Nesse contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) emergem como uma alternativa sustentável, integrando espécies arbóreas, cultivos agrícolas e componentes animais. No entanto, persiste uma lacuna significativa quanto ao monitoramento ambiental contínuo e acessível desses sistemas. Este trabalho teve como objetivo analisar as produções científicas recentes sobre o uso de biomonitoramento em SAFs, com ênfase em bioindicadores e biomonitores, bem como na integração do conhecimento tradicional. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura na base Scopus (2021-2026). Os resultados revelaram que, embora existam 7.402 publicações gerais sobre SAFs, apenas

13 documentos abordam a intersecção com bioindicadores, representando menos de 0,2% da produção total. O Brasil destaca-se como o quarto maior produtor de ciência agroflorestal globalmente. Conclui-se que o biomonitoramento participativo e de baixo custo precisa ser urgentemente desenvolvido e validado, de modo a tornar os SAFs não apenas uma alternativa técnica, mas uma prática verdadeiramente sustentável, inclusiva e culturalmente legitimada pelas comunidades que manejam a terra.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Agroflorestais. Bioindicadores. Biomonitoramento.

BIOINDICATORS AND BIOMONITORS IN AGROFORESTRY SYSTEMS (AFS): GAPS, ADVANCES AND PERSPECTIVES

ABSTRACT: The conventional food production model has generated severe environmental impacts, including greenhouse gas emissions, biodiversity loss, and soil degradation. In this context, Agroforestry Systems (AFS) emerge as a sustainable alternative, integrating tree species, agricultural crops, and animal components. However, a significant gap persists regarding continuous and accessible environmental monitoring of these systems. This article aimed to analyze recent scientific publications on the use of biomonitoring in AFS, with emphasis on bioindicators and biomonitors, as well as on the integration of traditional knowledge. A systematic literature review was conducted in the Scopus database (2021-2026). The results revealed that, although there are 7,402 general publications on AFS, only 13 documents address the intersection with bioindicators, representing less than 0.2% of the total production. Brazil stands out as the fourth largest producer of agroforestry science globally. It is concluded that participatory and low-cost biomonitoring needs to be urgently developed and validated, in order to make AFS not only a technical alternative but a truly sustainable, inclusive, and culturally legitimized practice for the communities that manage the land.

KEY-WORDS: Agroforestry systems. Bioindicators. Biomonitoring.

INTRODUÇÃO

O modelo predominante de produção de alimentos, está pautado na monocultura intensiva, no uso excessivo de insumos químicos e na expansão contínua da fronteira agrícola, tem gerado consequências profundas e, muitas vezes, irreversíveis para o equilíbrio ambiental. Estima-se que a agricultura e a pecuária sejam responsáveis por aproximadamente 30% das emissões globais de gases de efeito estufa, enquanto o sistema alimentar como um todo responde por cerca de 60% a 80% da perda de biodiversidade global, além de induzir de 80% a 90% do desmatamento tropical e das perdas de áreas úmidas (CROPLIFE INTERNATIONAL, 2025). Simultaneamente, mais da metade das terras agricultáveis do planeta encontra-se moderada ou severamente degradada, comprometendo a fertilidade

do solo, a capacidade de retenção de água e, por consequência, a própria produtividade agrícola (EUROPEAN COMMISSION, 2025).

Em conta esse sistema existe um movimento ancestral das comunidades que tradicionalmente cultivam a terra com olhar de longo prazo agricultores familiares, povos indígenas e quilombolas nos lembram que produzir alimentos não precisa significar destruir o ambiente que nos alimenta. É nesse encontro entre o conhecimento ancestral e a urgência ecológica contemporânea que surge os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como uma alternativa possível.

Os SAFs são formas de manejo da terra que integram intencionalmente espécies arbóreas com cultivos agrícolas e/ou animais, fundamentando-se nas interações ecológicas e econômicas entre esses componentes (Nair, 1993; Russo, 2022). Ao diversificar a produção ao longo do tempo e do espaço, os SAFs garantem oferta contínua de frutos, grãos, fibras, madeira e medicamentos, reduzindo a sazonalidade e ampliando o acesso a alimentos nutritivos, o que fortalece diretamente a segurança alimentar e nutricional das comunidades praticantes (Almeida *et al.*, 2019; Jamora *et al.*, 2021). Estudos recentes quantificam esses benefícios, demonstrando, por exemplo, que SAFs podem aumentar a biodiversidade em até 20% em comparação com sistemas de monocultura (Choden *et al.*, 2025).

Um dos principais gargalos para a consolidação dos SAFs como estratégia sustentável de produção de alimentos reside no monitoramento ambiental dessas áreas. Então, como avaliar, de forma contínua e acessível, a saúde de sistemas que integram árvores? Nesse contexto, o biomonitoramento, utilizando bioindicadores e biomonitores, se apresenta como uma abordagem central e promissora (EUROPEAN COMMISSION, 2026). Os bioindicadores são organismos vivos sensíveis às alterações ambientais específicas funcionam como verdadeiros “sinais de alerta” da natureza, possibilitando a identificação precoce de impactos antes que se tornem irreversíveis (Oertel; Salánki, 2003; Lobo *et al.*, 2011). Já os biomonitores atuam de forma sistemática, fornecendo dados contínuos ou periódicos sobre o estado ecológico dos sistemas, como “sentinelas” silenciosos do ambiente (Resh *et al.*, 2013).

Apesar desses avanços metodológicos e da crescente validação científica do potencial do biomonitoramento em SAFs, persiste uma lacuna significativa na literatura. Poucos são os estudos que descrevem, com clareza metodológica, como implementar na prática esse tipo de monitoramento de forma contínua, participativa e com indicadores validados tanto pela ciência quanto pelas comunidades (Silva *et al.*, 2024). Avaliações convencionais como análises físico-químicas de solo, monitoramento foliar e ensaios laboratoriais de respiração microbiana continuam sendo o padrão-ouro da comunidade científica, mas permanecem inacessíveis para a maioria das famílias agricultoras que mantêm SAFs, especialmente em regiões periféricas ou de baixa renda (Schuler *et al.*, 2021; Pena-Yewtukhiw *et al.*, 2024). Preencher essa lacuna entre o discurso sobre a importância do biomonitoramento

participativo e sua efetiva implementação no dia a dia das comunidades é um dos desafios centrais para que os SAFs se consolidem não apenas como alternativa técnica, mas como uma prática verdadeiramente sustentável, inclusiva e justa.

OBJETIVO

Neste trabalho, objetivamos analisar as produções científicas recentes referentes ao uso do biomonitoramento em Sistemas Agroflorestais, com ênfase nos conceitos e aplicações de bioindicadores (incluindo os microbianos) e biomonitores, assim como na integração do conhecimento tradicional. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) visando identificar os principais avanços metodológicos (como a co-criação de etnoindicadores, biossensores de baixo custo e protocolos participativos), as lacunas existentes na implementação contínua dessas ferramentas e o potencial de protocolos participativos de baixo custo, de modo a fortalecer práticas de manejo inclusivas, sustentáveis e culturalmente legitimadas.

METODOLOGIA

Esta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi delineada para explorar a aplicação de bioindicadores e biomonitores na avaliação da saúde e da sustentabilidade ambiental de Sistemas Agroflorestais (SAFs). A questão de pesquisa que norteou este estudo buscou identificar como essas ferramentas biológicas vêm sendo utilizadas nesses sistemas produtivos nos últimos cinco anos.

A busca por publicações relevantes foi realizada na Scopus, base de dados científica reconhecida globalmente por sua vasta cobertura de periódicos em diversas áreas do conhecimento. Para dimensionar o estado da arte e refinar os resultados, a estratégia de busca foi dividida em duas etapas, utilizando operadores booleanos e limitando o período de publicação entre 2021 e 2026.

Na primeira etapa, investigou-se de forma ampla o interesse global pelos sistemas produtivos por meio da *string*: (“sistemas agroflorestais” OR “agroforestry systems” OR “agroforests” OR “SAF”). Na segunda etapa, aplicou-se o cruzamento restritivo com o eixo do monitoramento biológico, resultando na sintaxe final: ((“sistemas agroflorestais” OR “agroforestry systems” OR “agroforests” OR “SAF”) AND (“bioindicadores” OR “biomonitors” OR “biomonitoring”)). Para uma maior abrangência sobre o tema, os resultados da busca foram inicialmente filtrados por ano, de 2021 até 2026 (maio). Em seguida, realizou-se o refinamento dos dados por países, sendo selecionado os 10 principais países com maiores números de publicações sobre os termos de busca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa, onde pesquisou-se de forma ampla o interesse global pelos sistemas produtivos, utilizando a string (“sistemas agroflorestais” OR “*agroforestry systems*” OR “*agroforests*” OR “SAF”), retornou um total de 7.402 documentos. Ao considerar o cruzamento restritivo com o eixo do monitoramento biológico ((“sistemas agroflorestais” OR “*agroforestry systems*” OR “*agroforests*” OR “SAF”) AND (“*bioindicators*” OR “*biomonitors*” OR “*biomonitoring*”)), o resultado desta busca específica recuperou apenas 13 documentos, o que demonstra a escassez de trabalhos relacionados ao tema. Análise quantitativa dos dados extraídos da base Scopus revela um cenário de contrastes profundos na literatura científica recente. Conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição temporal das publicações na base Scopus sobre Sistemas Agroflorestais (pesquisa geral) versus o cruzamento específico com Bioindicadores (2021–2026).

Ano de Publicação	Pesquisa Geral em SAFs	Pesquisa Específica (SAFs +Bioindicadores)
2026 (até maio)	844	4
2025	1.780	4
2024	1.469	3
2023	1.136	1
2022	1.133	1
2021	1.040	0
Total	7.402	13

Fonte: Dados de pesquisa extraídos da base Scopus (2026).

O interesse acadêmico por Sistemas Agroflorestais (SAFs) é crescente, conforme observado na Tabela 1 para os últimos 5 anos. Destaca-se o ano de 2025, que registrou o ápice histórico com 1.780 documentos publicados. No entanto, ao afunilar a busca para a intersecção metodológica deste estudo a utilização de bioindicadores ou biomonitores, o número de publicações cai drasticamente para apenas 13 documentos em âmbito global.

Esse abismo bibliométrico (onde os estudos de biomonitoramento representam menos de 0,2% do total das pesquisas em SAFs) comprova a principal hipótese deste trabalho: embora os sistemas agroflorestais sejam reconhecidos e estudados por sua sustentabilidade, as ferramentas práticas e biológicas para monitorar essa qualidade ecológica ainda são negligenciadas ou insuficientemente relatadas na ciência de alto impacto. Felizmente, os dados da Tabela 1 demonstram uma discreta tendência de surgimento do tema nos últimos anos, passando de apenas 1 trabalho em 2022 para 4 publicações anuais em 2025 e 2026 (até maio).

O Cenário Geográfico e o Papel do Brasil do ponto de vista geopolítico, a Tabela 2 demonstra que a pesquisa macrodinâmica sobre SAFs é liderada pela China (1.290

documentos) e pelos Estados Unidos (959 documentos). O Brasil figura em uma posição de notável destaque, consolidando-se como o quarto maior produtor global de ciência agroflorestal (659 trabalhos), superando nações europeias tradicionais em pesquisa agrária, como Alemanha e França. Deve se levar em consideração que estes números da Tabela 2 podem estar inflados, visto que a plataforma da Scopus alerta para duplicação de publicação quando ocorrem autores em diferentes países.

Tabela 2: Os 10 países com maior volume de publicações científicas sobre Sistemas Agroflorestais na base Scopus (2021–2026 (até maio)).

Posição	País de Afiliação	Número de Documentos
1º	China	1.290
2º	Estados Unidos	959
3º	Índia	838
4º	Brasil	659
5º	Alemanha	506
6º	Indonésia	467
7º	França	375
8º	Reino Unido	345
9º	Espanha	278
10º	Itália	258

Fonte: Dados de pesquisa extraídos da base Scopus (2026).

O protagonismo brasileiro é reflexo direto da vocação nacional para arranjos como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e os sistemas agroflorestais sucessoriais implantados em biomas críticos como a Amazônia e o Cerrado. Contudo, a escassez global de estudos com bioindicadores (apenas 13 no total) indica que há um vasto campo aberto para os pesquisadores brasileiros, que podem liderar não apenas a implantação agrônoma dos SAFs, mas também a criação de protocolos participativos de baixo custo para atestar a saúde ambiental desses ecossistemas produtivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática da literatura evidenciou um paradoxo central na produção científica sobre Sistemas Agroflorestais (SAFs). Se, por um lado, o interesse acadêmico pelo tema cresceu expressivamente nos últimos cinco anos, totalizando mais de sete mil publicações globais e consolidando o Brasil como um dos protagonistas na geração de conhecimento agroflorestal, por outro lado, a intersecção entre SAFs e ferramentas de biomonitoramento revelou-se dramaticamente reduzida: apenas 13 documentos

recuperados na base Scopus entre 2021 e 2026, o que representa menos de 0,2% da produção total na área.

Esse dado confirma a hipótese central que orientou este trabalho: embora os sistemas agroflorestais sejam amplamente reconhecidos por seu potencial ecológico e produtivo, as metodologias práticas e acessíveis para monitorar continuamente sua saúde ambiental especialmente por meio de bioindicadores e biomonitores ainda ocupam uma posição marginal na agenda de pesquisa de alto impacto. A discreta tendência de crescimento observada nos anos de 2025 e 2026 (com quatro publicações anuais) sugere um despertar tardio, porém promissor, da comunidade científica para essa lacuna.

Conclui-se, portanto, que a consolidação dos SAFs como prática verdadeiramente sustentável, inclusiva e justa dependerá do preenchimento da lacuna identificada: transformar o biomonitoramento hoje restrito a poucos grupos de pesquisa e a métodos laboriosos em uma ferramenta cotidiana, acessível e culturalmente legitimada pelas comunidades que mantêm a floresta em pé enquanto dela produzem alimentos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. E. et al. Agroforestry systems and food security: a systematic review. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 93, n. 4, p. 1567-1585, 2019.
- CHODEN, T. et al. Biodiversity responses to agroforestry systems: a global meta-analysis. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 158, 2025.
- CROPLIFE INTERNATIONAL. **Agriculture and climate change: global emissions and environmental impact**. Washington, DC: Croplife International, 2025.
- EUROPEAN COMMISSION. **Global assessment of agricultural land degradation**. Brussels: European Commission, Directorate-General for Environment, 2025.
- EUROPEAN COMMISSION. **Biomonitoring frameworks for sustainable agriculture**. Brussels: European Commission, Joint Research Centre, 2026.
- JAMORA, R. O. et al. Agroforestry for food security and nutrition: a review of evidence. **Food Security**, Dordrecht, v. 13, n. 5, p. 1123-1142, 2021.
- LOBO, J. et al. Bioindicadores ambientais: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Ecotoxicologia**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 45-58, 2011.
- NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- OERTEL, N.; SALÁNKI, J. Bioindicators in environmental monitoring. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 1, n. 1-2, p. 1-14, 2003.
- PENA-YEWTUKHIW, E. et al. Accessible soil monitoring methods for family farmers in agroforestry systems. **Journal of Rural Studies**, Exeter, v. 108, 2024.

RESH, V. H. et al. Biomonitoring and bioindicators in aquatic and terrestrial environments. **Freshwater Science**, Chicago, v. 32, n. 4, p. 1123-1135, 2013.

RUSO, D. **Sistemas Agroflorestais: fundamentos e práticas**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2022.

SCHULER, J. et al. Conventional soil analysis versus participatory biomonitoring: challenges for smallholder farmers. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 308, 2021.

SILVA, M. et al. Participatory biomonitoring in agroforestry systems: methodological gaps and perspectives. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, Philadelphia, v. 48, n. 2, p. 210-235, 2024.