

XXIV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO – XXIV ENANCIB

ISSN 2177-3688

GT 7 – Produção e Comunicação da Informação em Ciência, Tecnologia & Inovação

AÇÕES E PROCESSOS PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ECOSISTEMA: ESTUDO MÉTRICO DAS PESQUISAS CIENTÍFICAS REALIZADAS SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

ACTIONS AND PROCESSES FOR ECOLOGICAL RESTORATION OF ECOSYSTEM: METRIC STUDY OF SCIENTIFIC RESEARCH CARRIED OUT ON THE DOCE RIVER BASIN

Raimundo Nonato Macedo dos Santos – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Natanael Vitor Sobral – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Ana Sara Pereira de Melo Sobral – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Rinaldo Ribeiro de Melo – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dominique de Lira Vieira Corrêa – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Modalidade: Trabalho Completo

Resumo: Investiga o tema restauração ecológica em pesquisas acadêmico-científicas realizadas no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, inserida no Bioma Mata Atlântica, palco do maior desastre ambiental do Brasil, causado pelo rompimento da barragem do Fundão (Mariana-MG), em novembro de 2015. Tem como objetivo realizar um estudo métrico das pesquisas acadêmico-científicas realizadas no contexto da restauração ecológica e florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Minas Gerais, compreendida no bioma Mata Atlântica. Do ponto de vista metodológico, envolve recuperação dos artigos, teses, dissertações e demais produções acadêmicas e científicas disponíveis em bases de dados especializadas; reformatação dos registros bibliográficos; análise, representação e interpretação dos dados. Os resultados, no contexto da restauração ecológica e florestal, refletem: a preocupação de pesquisadores e instituições de pesquisa e ensino que trabalham com a causa ambiental, abordando tanto a recuperação e restauração dos biomas quanto os impactos nos ecossistemas causados por desastres ambientais, ações humanas, incêndios florestais, desmatamento de florestas maduras, poluição e mudanças climáticas, além de outras práticas econômicas inadequadas; e as ações e atividades mitigadoras empreendidas, envolvendo recuperação, restauração, reflorestamento, regeneração, desflorestamento/desmatamento, revegetação e recomposição, sendo o rompimento da barragem do Fundão produtora de impactos significativos e de custo de reparação inmensuráveis, repercutindo em assuntos de pesquisa relacionados a questões do solo; da camada superficial de sedimentos e da qualidade da água. Em síntese, a restauração dos biomas é uma responsabilidade compartilhada e a cooperação internacional é vital para enfrentar esse desafio.

Palavras-chave: bacia hidrográfica do rio doce; restauração ecológica; bibliometria; bioma mata atlântica.

Abstract: The present work Investigates the theme of ecological restoration in academic-scientific research carried out within the Doce River basin, located in the Atlantic Forest Biome, the scene of the biggest environmental disaster in Brazil, caused by the collapse of the Fundão dam (Mariana-MG), in November 2015. It aims to conduct a metric study of academic and scientific research carried out in the context of ecological and forest restoration in the Doce River basin, Minas Gerais, located within the Atlantic Forest biome. From a methodological point of view, it involves retrieving articles, theses, dissertations and other academic and scientific productions available in specialized databases; reformatting of bibliographic records; analysis, representation and interpretation of data. The results, in the context of ecological and forestry restoration, reflect: the concern of researchers and research and teaching institutions that work with the environmental cause, addressing both the recovery and restoration of biomes and the impacts on ecosystems caused by environmental disasters, human actions, forest fires, deforestation of mature forests, pollution and climate change, in addition to other inappropriate economic practices; and the mitigating actions and activities undertaken, involving recovery, restoration, reforestation, regeneration, deforestation, revegetation and recomposition, with the collapse of the Fundão dam producing significant impacts and immeasurable repair costs, impacting on research issues related to soil issues; of the surface layer of sediments and water quality. In short, restoring biomes is a shared responsibility and international cooperation is vital to face this challenge.

Keywords: doce river basin; ecological restoration; bibliometrics; atlantic forest biome.

1 INTRODUÇÃO

O Guia de Restauração Ecológica para gestores de Unidades de Conservação (1ª. Versão) produzido pelo Instituto Chico Mendes, ICMBio, define “restauração ecológica” como o processo de auxiliar o restabelecimento de um ecossistema após uma perturbação ou degradação. Esta definição é estabelecida pela *Society for Ecological Restoration* (SER), reconhecida pela Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica (SOBRE) e incorporada nas políticas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Sampaio *et al.*, 2021).

Em dimensão global, os ecossistemas naturais têm sofrido transformações significativas em decorrência das atividades e pressões antrópicas; dos grandes desastres provocados pelos mega empreendimentos de exploração ilegal de garimpo, de mineração, a exemplo do que ocorreu na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, inserida no bioma da Mata Atlântica, palco do maior desastre ambiental do Brasil, causado pelo rompimento da Barragem do Fundão, no município de Mariana-MG, em 05 de novembro de 2015, razões pela qual, grande parte do *habitat* natural encontra-se em constante processo de degradação, tornando-se, a passos largos, insustentável devido à crescente exploração de recursos e obtenção de serviços (Kopittke *et al.*, 2019). Segundo a *Global Forest Watch* (2020), de 2001 a 2018, a cobertura florestal global diminuiu 8%, o que representa uma perda de 321 milhões de

hectares de florestas. Isto resultou em reduções no âmbito de bens de serviços, serviços ecossistêmicos e áreas para ocupação dos povos originários (Lamb; Erskine; Parrotta, 2005).

Uma das estratégias para aumentar a cobertura florestal é incentivar os países a assumirem compromissos de conservação, manejo sustentável e restauração de florestas por meio de iniciativas internacionais. Por exemplo, em 2011, foi lançado durante um evento promovido pelo Ministério do Meio Ambiente da Alemanha e pela organização de conservação IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza), o chamado *Bonn Challenge* que visava restaurar 150 milhões de hectares até 2020 (Lewis *et al.*, 2019). Na mesma direção, A Década da Restauração de Ecossistemas, um chamado das Nações Unidas, iniciado em 2021, agrega o compromisso de lideranças mundiais da ciência, das comunidades e da cultura e tem como objetivo inspirar e apoiar governos, organizações multilaterais, sociedade civil, empresas do setor privado, jovens, grupos de mulheres, povos indígenas, agricultores, comunidades locais e indivíduos em todo o mundo, para colaborar, desenvolver e catalisar iniciativas para, até 2030, restaurar 1 bilhão de hectares em todos os continentes e oceanos.

Desafio de monta para o Brasil, 5º lugar em extensão no mundo, abrigando seis biomas diferentes: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal de Pampa (MMA, 2020), ao tempo em que, a Mata Atlântica, um *hotspot* de biodiversidade, fonte de água e alimentos para milhões de pessoas, eleita internacionalmente nesta década como uma das áreas estratégicas para conservação e restauração (United Nations [...], 2021), em contrapartida, é o bioma que sofreu a maior redução da cobertura vegetal nativa, representando agora menos de 14% da floresta original, e que vem sendo explorada desde a colonização do país (IBGE, 2020; MMA, 2020; Rodrigues *et al.*, 2009).

Como estratégias mitigadoras desse quadro desolador, o Brasil, um dos principais atores no que diz respeito à restauração do meio ambiente em nível mundial é signatário de iniciativas globais, assumindo compromissos com metas ambiciosas de recuperação ambiental. Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima, o país responsabilizou-se pelo reflorestamento de 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030 (Fredes, 2016).

Nesses mesmos propósitos, a restauração de ecossistema no Brasil, assumida como uma grande prioridade na sustentabilidade a longo prazo, é tema de estudo para inúmeros autores (Wuethrich, 2007; Rodrigues *et al.*, 2009; Oliveira, 2011; Holl, 2017; Oliveira, Engel, 2017). Existem registros de iniciativas de restauração florestal no país desde o século XIX, e

desde então a maioria das iniciativas foi motivada pela tentativa de garantia de serviços ambientais como manutenção da qualidade da água em áreas ciliares e de mananciais, contenção de processos erosivos e de perda de solo, e pela necessidade de cumprimento de passivos ambientais, tipo de dano ao ambiente que resulta da acumulação de contaminantes ao longo do tempo como resultado de atividades industriais legalmente desenvolvidas (Durigan; Engel, 2013).

Campo fértil à pesquisa, muitos estudos no contexto da temática “restauração ecológica e florestal”, tais como: domínio da restauração e preservação de ambientes degradados; aspectos silviculturais aplicados à restauração; avaliação de áreas degradadas com uso de indicadores; discussão e apresentação de aspectos socioeconômicos; aspectos políticos e/ou legais; aspectos culturais, de descrição, caracterização, evolução e mudança da paisagem relacionados à restauração florestal vêm sendo realizados nos últimos anos no Brasil.

Assim, essa produção acadêmico-científica, gerada no contexto da temática “restauração ecológica e florestal”, visa cumprir o seu papel social, político e econômico. Para isso, conclama pesquisadores do campo métrico a realizarem estudos de síntese e pesquisas bibliométricas, propondo e construindo indicadores, mapas, séries históricas, a partir da mineração de dados disponíveis e repositórios de Universidades, centros de pesquisa, organismos públicos e privados.

Estudos dessa ordem, em geral, produzidos sob demanda, têm como propósito: subsidiar decisões de gestores e formuladores de políticas públicas; conhecer o estado da arte das pesquisas já produzidas e seu grau de maturidade; identificar domínios de conhecimento, competências, recursos humanos, infraestrutura de ensino e pesquisa instalada; e mapear aspectos de internacionalização, mobilidade e colaboração.

Assim, este trabalho busca responder à questão norteadora: Quais esforços traduzidos em pesquisas científicas enfocam a restauração ecológica e florestal do Bioma Mata Atlântica, no *locus* da bacia hidrográfica do Rio Doce?

Acerca de tais propósitos, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo métrico das pesquisas acadêmico-científicas realizadas no contexto da restauração ecológica e florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Minas Gerais, compreendida no bioma Mata Atlântica.

Destaca-se que, dadas as características morfológicas do trabalho de evento, optou-se por apresentar a discussão teórica ao longo do texto, relacionando-a com os elementos introdutórios, metodológicos e com os resultados, e não em uma seção específica.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar o objetivo proposto, cumpriram-se, respectivamente, as seguintes etapas metodológicas: I) Recuperação de informações científicas nas bases de dados das plataformas *Web of Science* (WoS), *Scopus* e Oasisbr. As duas primeiras foram selecionadas por serem os dois principais sistemas de indexação de informação científica com características internacional e interdisciplinar. O acesso foi realizado via Portal Periódicos Capes, sendo a busca executada no dia 10 de junho de 2024.

O Oasisbr foi escolhido por ser um mecanismo de busca multidisciplinar que permite o acesso gratuito à produção científica de autores vinculados a universidades e institutos de pesquisa brasileiros (Oasisbr, 2024)¹. Similarmente às principais bases de dados internacionais, essa fonte possibilita a obtenção dos registros da produção para estudos bibliométricos. Além disso, o Oasisbr permite a coleta de dados sobre artigos, teses, dissertações, livros e capítulos de livro, ampliando a diversidade de fontes disponíveis.

A expressão de busca utilizada foi comum em todas as plataformas, a saber: (*restoration OR recomposition OR regeneration OR reforestation OR revegetation OR recovery OR deforestation*) AND ("rio doce" OR "doce river") aplicada nos campos "título, resumo e palavras-chave", sem limite temporal, A expressão de busca utilizada foi comum em todas as plataformas, a saber: (*restoration OR recomposition OR regeneration OR reforestation OR revegetation OR recovery OR deforestation*) AND ("rio doce" OR "doce river") aplicada nos campos "título, resumo e palavras-chave", sem limite temporal, com o propósito de contemplar o máximo de esforços em pesquisa com enfoque na restauração ecológica e florestal da bacia do Rio Doce.

Nos resultados da WoS e Scopus foram considerados apenas artigos. Na base Oasisbr, além de artigos, foram incluídas teses, dissertações e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Esta estratégia resultou na recuperação de um total de 340 produções, distribuídas da seguinte forma: 99 da Scopus, 80 da Web of Science e 161 da Oasisbr (51 artigos, 30 teses, 72 dissertações e 8 TCC). No geral, quanto às tipologias documentais, obteve-se o seguinte panorama: 230 artigos, 72 dissertações de mestrado, 30 teses de doutorado e 8 trabalhos de conclusão de curso. Após a remoção das duplicatas, resultaram 272 registros, 79.77% do valor

¹ Disponível em: <https://oasisbr.ibict.br>

encontrado inicialmente, compondo o *corpus* definitivo da pesquisa. Os idiomas originais das publicações são: português (n=151), inglês (n=120) e espanhol (n=1).

II) Padronização e Processamento dos dados. Foi necessário tratar e organizar os dados para gerar as redes. Para isso, utilizou-se o *software The Vantage Point* (Porter; Cunningham, 2005). Os registros foram padronizados com o uso de *thesaurus* capazes de realizar a limpeza e a organização dos nomes dos autores, palavras-chave e demais metadados. Como nem todos os artigos continham termos-chave, realizou-se o *Natural Language Processing (NLP)* dos títulos dos artigos e resumos, associando-os às palavras-chave do autor para assegurar que todos os textos fossem devidamente indexados. Em seguida, foram geradas matrizes que serviram de base para a criação dos grafos.

III) Análise dos Dados. Optou-se pela técnica de Análise de Redes Sociais (ARS) com base na teoria dos grafos, utilizando a ferramenta *VOSviewer* (Van Eck; Waltman, 2010). Nos grafos, foram consideradas as relações, sua intensidade, a quantidade de produções e clusterização, sendo estas variáveis expressadas nos nós, vínculos e cores. Paralelamente, foi criado um gráfico de colunas mostrando a produção por ano, utilizando uma ferramenta de planilha de cálculo, permitindo uma interpretação com foco historiográfico-bibliométrico.

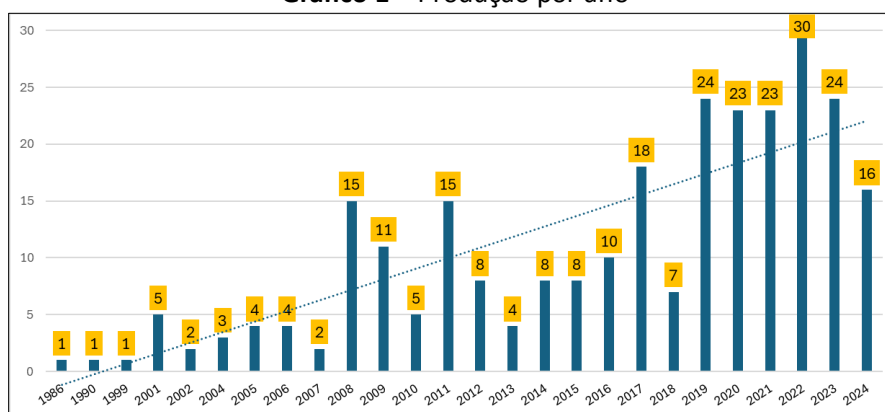
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção discute os resultados da pesquisa na seguinte ordem: 3.1) Encontra-se a produção por ano analisada sob o enfoque da historiografia bibliométrica e da análise de tendências; 3.2) Rede de autores com relações representativas e análise de coautoria; 3.3) Grafo de palavras geradas a partir dos descritores do autor e termos extraídos dos títulos e resumos a partir de técnica de *NLP*; e 3.4) Análise dos esforços de pesquisa.

3.1 Análise Historiográfica-Bibliométrica e de Tendências da Produção

Inicialmente, elaborou-se a série histórica com a produção por ano, visando mapear os artigos seminais e a progressão das publicações ao longo dos anos a partir da análise de tendência. Ressalta-se que a produção de 2024 considera apenas a metade do ano devido à data de coleta dos dados.

Gráfico 1 – Produção por ano



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Ao todo, 26 anos de publicações foram identificados e o conjunto de dados possui tendência ascendente, demonstrando que a produção é crescente e tende a manter-se em evolução, especialmente, ao notar-se que 2024, período com dados coletados até a metade, já possui mais da metade da produção ($n=16$) do ano mais produtivo, 2022 ($n=30$). Ademais, observa-se que a produção passa a ser ininterrupta a partir de 2004, indicando que deste momento em diante o tema estudado se consolida como uma agenda, alcançando característica de perenidade.

O artigo seminal, denominado *Brazilian Titanium*, de autoria de Turner Rik, foi publicado em 1986 no *Engineering & Mining Journal (E&MJ)*. Chama a atenção que a *Scopus* faz constar o documento como um artigo de periódico, porém, especifica que se trata de um veículo de comunicação comercial especializado no tema mineração. Segundo o *website* institucional do periódico, seu perfil de leitores é composto, principalmente, por engenheiros de minas, metalúrgicos, gerentes de minas, de fábricas e geólogos. O foco editorial está na mineração de rochas duras e no processamento de metais básicos, metais ferrosos/não ferrosos, metais preciosos e minerais industriais. Além dos artigos, as edições trazem notícias internacionais sobre a indústria do carvão.

O trabalho pioneiro no Oasisbr é a dissertação “Influência de diferentes níveis de exploração florestal em uma floresta tropical na região de Marabá-PA (1990)”, do autor Alvaro Garcia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes intensidades de exploração em uma área de floresta tropical, sugerindo o desenvolvimento de estudos sobre amostragem para monitorar a regeneração

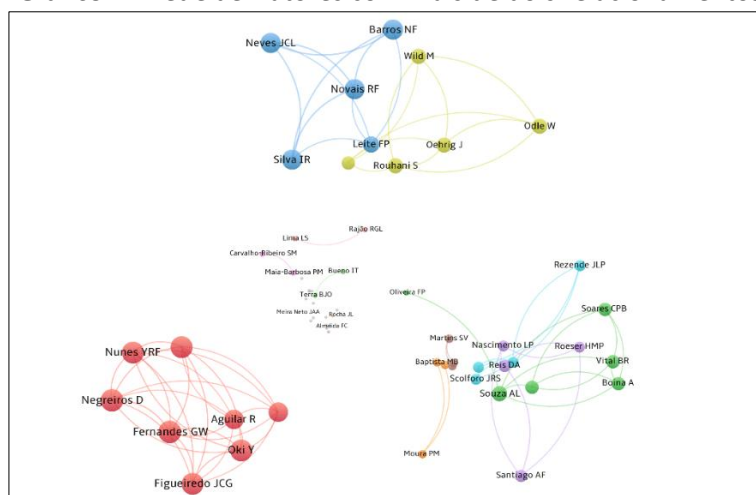
natural em diferentes intensidades de exploração florestal e a implantação de unidades demonstrativas de manejo florestal sustentado na região amazônica (Garcia, 1990).

Na WoS, as pesquisas iniciam-se com o artigo *Biological quality of waters from an impacted tropical watershed (middle Rio Doce basin, southeast Brazil), using benthic macroinvertebrate communities as an indicator*, assinado por Marques e Barbosa (2001) e publicado na revista *Hydrobiologia*. Objetivou avaliar a qualidade da água ao longo de um trecho de bacia hidrográfica do Rio Doce, utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, juntamente com características físicas e químicas para a classificação de 20 estações amostrais. Ao contrastar as produções supramencionadas com as pesquisas atuais, verifica-se que o perfil temático é semelhante, todavia, após o rompimento da barragem do Fundão em 2015, o enfoque passou a ser os impactos decorrentes deste evento.

3.2 Análise de Coautoria a partir da Técnica de Análise de Redes Sociais

A rede de coautoria entre os autores pode ser visualizada no Gráfico 2, contemplando os pesquisadores que possuem mais de dois relacionamentos. A rede conta com 66 atores distribuídos em 33 *clusters*, com 80 ligações e um *total link strenght (TLS)* de 570. No gráfico, é possível identificar os *clusters* mais proeminentes e suas formações diferenciadas definidas pela quantidade de membros dos grupos e seus relacionamentos.

Gráfico 2 - Rede de Autores com mais de dois relacionamentos



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Os autores mais representativos da rede são: Souza AL (n=9); Meira Neto JAA (n=8); Novais RF (n=7); Barros NF; Fernandes GW; Neves JCL; Silva IR (n=6); Bernardino AF; Negreiros D; Oliveira FP; Reis DA; Scotti MR (n=5). Esses autores, além de possuírem o maior número de coautorias, também desempenham o papel de conectar diferentes subgrupos dentro da rede.

Destacam-se as relações entre os autores: Novais RF & Barros NF (6); Novais RF & Neves JCL (6); Barros NF & Neves JCL (6); Silva IR & Novais RF (6); Barros NF & Silva IR (6); Neves JCL & Silva IR (6). Esses autores, descritos no *cluster* azul da zona superior do grafo, são afiliados à mesma instituição de ensino, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), e pesquisam temas relacionados a reflorestamento, solos florestais e conservação do solo.

O *cluster* vermelho é formado por oito pesquisadores: Nunes YRF; Negreiros D; Fernandes GW; Aguilar R; Figueiredo JCG; Oki Y; Santos RM; Ramos L. Sobre as afiliações institucionais, é diversificado, sendo constituído por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o *Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal* (Argentina). Possui três pesquisadores bolsistas de produtividade do CNPq – Nível 1A, 1D e 2, dedicados a estudos sobre ecologia florestal, restauração ambiental e mudanças climáticas.

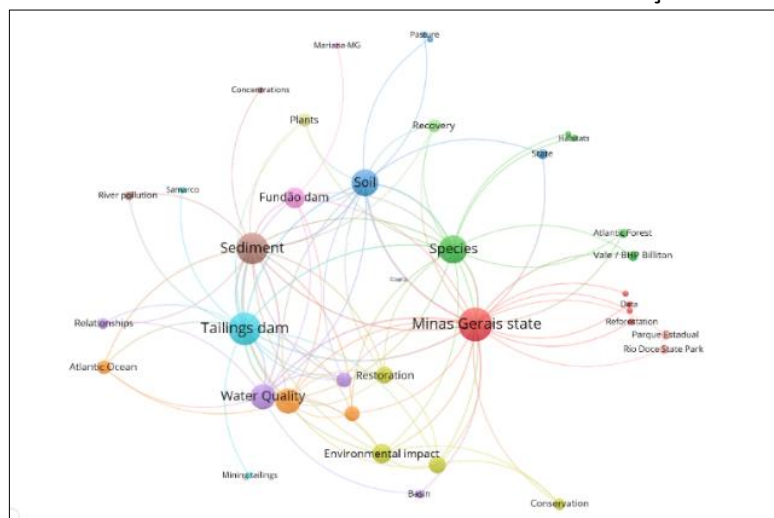
O último *cluster* de destaque tem seis pesquisadores: Souza AL; Boina A; Soares CPB; Vital BR; Oliveira FP, Lana JM. Esse grupo é formado exclusivamente por pesquisadores afiliados à UFV, com destaque para Souza AL, o autor mais produtivo da rede e com relação de orientação e coorientação de três pesquisadores deste *cluster*. Esse grupo publica sobre temas relacionados à gestão ambiental, produtos florestais e manejo florestal.

Foi possível identificar, por meio da análise da rede complementada por uma busca nos currículos Lattes dos pesquisadores, uma relação direta das pesquisas com discussões relacionadas ao Bioma Mata Atlântica e à bacia Hidrográfica do Rio Doce. Compreender essa dinâmica permite às instituições e aos pesquisadores identificarem lacunas de pesquisa que merecem atenção, contribuindo para o desenvolvimento de políticas institucionais e públicas que promovam redes de pesquisa ainda mais integradas e produtivas.

Em seguida, são apresentados os principais periódicos e repositórios onde as produções foram publicadas: Repositório Institucional da UFV (LOCUS) (n=26); Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFRRJ (n=23); Repositório Institucional da UFMG (n=17); Repositório Institucional da UFOP (n=9); Revista Brasileira de Ciência do Solo (n=9); Revista Arvore (n=7); *Science of the Total Environment* (n=7); *Environmental Monitoring and Assessment* (n=6) e *Integrated Environmental Assessment and Management* (n=6).

3.3 Temas de pesquisa e suas relações

Gráfico 3 – Grafo de termos com mais de 9 relações



Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

O grafo acima possui 77 itens, 52 clusters, 98 ligações e um TLS de 2942. As palavras-chave mais representativas são: *Doce River* (n=167); *Minas Gerais State* (n=116); *Brazil* (n=113); *Soil* (n=78); *Species* (n=74); *Tailings dam* (n=69); *Water Quality* (n=66); *Sediment* (n=63); *Doce River Basin* (n=46); *Rio Doce Disaster* (n=45); *Fundão dam* (n=44); *Area* (n=37); *Environmental impact* (n=35); *Region* (n=34); *Vale / BHP Billiton* (n=34); *Biodiversity* (n=33); *Restoration* (n=30); *Recovery* (n=29); *Environmental Monitoring* (n=27); *Impact* (n=25); *Plants* (n=25). Para qualificar a análise de rede no que diz respeito à construção de semântica, foram excluídas as palavras *Doce River*, *Brazil*, *Doce River Basin*, *Area* e *Region*.

Os pares de relações entre os termos mais prolíficos são: *Tailings dam & Sediment* (n=43); *Tailings dam & disaster* (n=38); *Minas Gerais state & Soil* (n=36); *Minas Gerais state & Species* (n=33); *Soil & Species* (n=32); *Water quality & Sediment* (n=28); *Minas Gerais state & Water quality* (n=27); *Tailings dam & Water quality* (n=27); *Minas Gerais state & Rio doce disaster* (n=26); *Fundão dam & Tailings dam* (n=26).

As palavras-chave predominantes nos trabalhos analisados refletem o contexto específico da pesquisa sobre restauração ecológica e florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Os termos mais utilizados incluem “solo”, “espécies”, “barragem de rejeitos”, “qualidade da água” e “sedimentos”. Além disso, destacam-se ações como restauração e monitoramento ambiental, que se relacionam aos impactos causados pela mineração na região.

O primeiro grupo de palavras-chave (barragem de rejeitos e sedimentos) está conectada com o segundo grupo (Minas Gerais). O Rio Doce atravessa os estados de Minas

Gerais e Espírito Santo, com uma extensão de aproximadamente 853 km. Foi em Minas Gerais que ocorreram os principais rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, a exemplo da barragem de Fundão, em Mariana, e a barragem de Córrego do Feijão, no município de Brumadinho. Notavelmente, o termo “qualidade da água” também está entre as 20 principais palavras. Isso ocorre porque o rompimento da barragem liberou milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração no Rio Doce, causando a contaminação da água, morte de peixes e outros organismos aquáticos, e impactos negativos nas comunidades ribeirinhas.

Na bacia do Rio Doce, diversos danos socioambientais foram causados ou mesmo aumentados, devido ao rompimento da barragem de Fundão. Este desastre causou danos críticos à flora e à fauna, bem como ao uso dos recursos naturais, à vida das pessoas e às atividades econômicas (Macêdo *et al.*, 2024). A partir da análise das principais temáticas utilizadas, foi possível observar que os termos de maior destaque giram em torno dos impactos socioambientais na bacia do Rio Doce causados pelas atividades de mineração, e agravados pelo rompimento da barragem de Fundão.

Em seguida, realizou-se a sistematização dos enfoques das pesquisas identificadas no *corpus*. Para isso, foram escolhidas as palavras-chave utilizadas na busca, que representam as principais temáticas relacionadas aos processos ou ações voltados para a restauração de ecossistemas após perturbação ou degradação. Essas palavras foram vinculadas aos termos extraídos dos resumos das referências bibliográficas, com o objetivo de descrever tematicamente os estudos. Durante esse processo, foram excluídos termos genéricos, sem potencial interpretativo, que não contribuem para a análise das ações e dos processos.

Tabela 1 – Enfoques temáticos nas ações ou processos para o reestabelecimento de ecossistemas

Ações ou processos para o reestabelecimento dos ecossistemas	Enfoques
Recuperação (n=109): É aplicado a todas as atividades que visam melhorar as condições ambientais de um dado ecossistema degradado, podendo incluir ações de engenharia ecológica, recuperação de áreas degradadas, reabilitação ecológica e restauração ecológica (São Paulo, 2011).	<i>tailings dam</i> (n=39), <i>SOIL</i> (n=37), <i>WATER quality</i> (n=32), <i>sediment</i> (n=32), <i>species</i> (n=28), <i>Fundão dam</i> (n=27), <i>restauração</i> (n=25), <i>Rio doce disaster</i> (n=25), <i>environmental impact</i> (n=16), <i>Vale/BHP billiton</i> (n=16), <i>environmental monitoring</i> (n=12), <i>reflorestamento</i> (n=11), <i>biodiversity</i> (n=10), <i>Mariana-MG</i> (n=10), <i>atlantic ocean</i> (n=10), <i>Samarco</i> (n=10).
Restauração (n=82): É o processo e a prática de auxiliar a recuperação de um <i>ecossistema</i> que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004).	<i>tailings dam</i> (n=31), <i>sediment</i> (n=30), <i>soil</i> (n=29), <i>species</i> (n=27), <i>recuperação</i> (n=25), <i>Doce River Basin</i> (n=25), <i>water quality</i> (n=23), <i>Fundão dam</i> (n=19), <i>biodiversity</i> (n=16), <i>environmental impact</i> (n=13), <i>conservation</i> (n=13), <i>environmental monitoring</i> (n=11), <i>plants</i> (n=11), <i>Samarco</i> (n=10).

XXIV Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação – XXIV ENANCIB
Vitória-ES – 04 a 08 de novembro de 2024

Reflorestamento (n=34): Plantação de árvores, nativas ou não, em povoamentos puros ou não, para formação de uma estrutura florestal em área que foi desmatada há menos de 50 anos (São Paulo, 2011).	<i>soil</i> (n=11), <i>recuperação</i> (n=11), <i>water quality</i> (n=5), <i>species</i> (n=5), <i>agriculture</i> (n=5), <i>Vale / BHP Billiton</i> (n=5), <i>IEF</i> (n=4), <i>development</i> (n=4), <i>impact</i> (n=4), <i>pasture</i> (n=4), <i>forest fomentation</i> (n=4), <i>tree</i> (n=4), <i>influence</i> (n=4), <i>fauna</i> (n=4).
Regeneração (n=31): É parte do ciclo de crescimento da floresta e refere-se às bases iniciais de seu estabelecimento e desenvolvimento, decorrendo da interação de processos naturais de restabelecimento do ecossistema florestal (Gama; Botelho; Bentes-Gama, 2002).	<i>soil</i> (n=12), <i>species</i> (n=12), <i>Vale / BHP Billiton</i> (n=8), <i>recuperação</i> (n=6), <i>restauração</i> (n=5), <i>flora</i> (n=5), <i>tree</i> (n=5), <i>biodiversity</i> (n=5), <i>forest</i> (n=4), <i>atlantic forest</i> (n=4), <i>occupation</i> (n=4), <i>environmental impact</i> (n=4), <i>plots</i> (n=4).
Desflorestamento / Desmatamento (n=20): É resultado da combinação de atividades ligadas à extração comercial de madeira, cultivo permanente, desenvolvimento da pecuária e extensão da infraestrutura de transporte terrestre (Angelsen; Kaimowitz, 1999). No <i>corpus</i> selecionado, encontra-se associado à qualidade da água e pastagem.	<i>water quality</i> (n=8), <i>pasture</i> (n=7), <i>sediment</i> (n=6), <i>basin</i> (n=6), <i>soil</i> (n=5), <i>species</i> (n=5), <i>land use</i> (n=5), <i>forest</i> (n=5), <i>atlantic forest</i> (n=5), <i>stations</i> (n=5), <i>land cover</i> (n=5), <i>urbanity</i> (n=5), <i>environmental monitoring</i> (n=4), <i>recuperação</i> (n=4), <i>tailings dam</i> (n=4), <i>degradation</i> (n=4), <i>relationships</i> (n=4).
Revegetação (n=11): É o restabelecimento de cobertura vegetal de qualquer natureza (independente de origem, forma de vida ou número de espécies) em terreno exposto (Aronson <i>et al.</i>, 2011).	<i>plants</i> (n=7), <i>tailings dam</i> (n=7), <i>sediment</i> (n=7), <i>recuperação</i> (n=5), <i>soil</i> (n=5), <i>species</i> (n=5), <i>restauração</i> (n=5), <i>Mariana-MG</i> (n=5), <i>Fundão dam</i> (n=4), <i>affected áreas</i> (n=4).
Recomposição (n=6): Consiste no plantio de vegetação nativa de determinada região a fim de recompor o que foi desmatado (Limoeiro, 2020).	<i>soil</i> (n=4), <i>recuperação</i> (n=3), <i>reflorestamento</i> (n=2).

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Os resultados apresentados na Tabela 1 consagram o núcleo das pesquisas nas atividades e nos processos de recuperação e restauração. Do ponto de vista de todas as ações e atividades mitigadores empreendidas (recuperação, restauração, reflorestamento, regeneração, desflorestamento/desmatamento, revegetação e recomposição), o rompimento da barragem do Fundão produziu impactos significativos e de custo de reparação incomensuráveis, sem considerar os insuperáveis, como as perdas de vida humanas, com grande destaque para questões de solo; da camada superficial de sedimentos; e mais particularmente sobre a qualidade da água.

No que diz respeito aos impactos significativos no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, os principais efeitos observados são: poluição por metais pesados; impacto na vegetação e nos animais, em que cerca de 1.469 hectares de terra foram destruídos, incluindo áreas de proteção permanente e unidades de conservação; e, principalmente, as mudanças na paisagem terrestre (Macêdo, *et al.* 2024).

Ainda sobre os efeitos dos impactos significativos nas questões relativas à camada superficial de sedimentos e da qualidade da água, respectivamente, são destaques das pesquisas questões sobre: poluição de metais pesados, ressuspensão de contaminantes e a persistência de altos níveis de metais. No caso do rio Doce, a contaminação por metais pesados persiste desde o desastre ambiental causada pelo rompimento da barragem do Fundão. Estudos mostram que tanto a água quanto os peixes da região continuam apresentando níveis elevados de metais pesados, o que representa um risco contínuo para a saúde pública e a biodiversidade local (Macêdo *et al.*, 2024).

Todos esses aspectos ora apontados são registros de pesquisas que vêm sendo realizadas desde o rompimento da barragem. Estes estudos foram empreendidos como forma de compreender e mitigar os impactos desse desastre, produzindo iniciativas fundamentais para a saúde da Bacia do Rio Doce e das comunidades que dela dependem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas investigações no contexto do tema “restauração ecológica e florestal” vêm sendo concretizadas nos últimos anos no Brasil. Nota-se uma preocupação dos pesquisadores e das instituições que trabalham com a causa ambiental acerca da recuperação e restauração dos biomas, bem como os impactos causados pela mineração na Bacia do Rio Doce.

Integrando este conjunto de iniciativas, este estudo métrico analisou pesquisas científicas realizadas no contexto da restauração ecológica e florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – MG, inserida no bioma da Mata Atlântica. A análise, considerou a produção por ano sob o enfoque da historiografia bibliométrica e da análise de tendências; a rede de autores e a análise de coautoria; as palavras-chave para análise temática dos esforços da produção relacionada à restauração ecológica e florestal do Rio Doce.

Observou-se que os termos de maior destaque giram em torno dos impactos socioambientais causados pelas atividades de mineração, e agravados pelo rompimento da barragem de Fundão. E nas principais redes mapeadas, foram preponderantes temas relacionados a reflorestamento, solos florestais, conservação do solo, ecologia florestal, restauração ambiental e mudanças climáticas. Temas como gestão ambiental, produtos florestais, manejo florestal também foram destacados.

Os esforços em prol da restauração de ecossistemas não devem se limitar a um grupo, instituição ou pesquisadores, visto que existem vários biomas sendo afetados por desastres

naturais e humanos. Por se tratar de um grande desafio, é necessário que questões de recuperação do meio ambiente abranjam o maior número de interessados. Uma das estratégias para aumentar a cobertura florestal é incentivar os países a assumirem compromissos de conservação, manejo sustentável e restauração de florestas por meio de iniciativas internacionais compostas por grupos interdisciplinares.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas PCI-E1 - Programa de Capacitação Institucional (2018-2023) (Instituto Nacional da Mata Atlântica) e Produtividade em Pesquisa (PQ-1C).

REFERÊNCIAS

ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models. **The world bank research observer**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 73-98, 1999.

ARONSON, J. *et al.* **Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica**. IF Sér. Reg. n. 44 p. 1-38 ago. 2011.

DURIGAN, G.; ENGEL, V. L. Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir? *In*: MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 2013, p. 41-68.

FREDES, A. **Direito ao meio ambiente e aquecimento global: Sobrevivendo ao acordo de Paris (COP-21)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Direito) – Faculdade de Direito, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/6812>. Acesso em: 12 jul. 2024.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. de M. Composição florística e estrutural da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p. 559-566, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/S7TTDmr56gJTrrMgjjYJH6m/?lang=pt#>. Acesso em 18 set. 2024.

GARCIA, A. **Influência de diferentes níveis de exploração florestal em uma floresta tropical na região de Marabá-PA**. 1990. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-20191218-111056/>. Acesso em: 14 jul. 2024.

GLOBAL FOREST WATCH. **Monitoramento de Florestas Projetado para a Ação**. 2020. Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org/>. Acesso em: 11 jun. 2024.

HOLL, K. D. Restoring tropical forests from the bottom up: How can ambitious forest restoration targets be implemented on the ground? **Science**, [s. l.], v. 355, n. 6324, 2017. p. 455-457. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aam5432>. Acesso em: 11 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2024.

KOPITTKKE, P. M. *et al.* Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, [s. l.], v. 132, n. 105078, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019315855?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jun. 2024.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D., PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, [s. l.], v. 310, n. 5754, p. 1628-1632, 2005. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1111773>. Acesso em: 08 jun. 2024.

LEWIS, S. L. *et al.* Regenerate natural forests to store carbon. **Nature**, [s. l.], v. 568, n. 7750, p. 25-28, 2019. Disponível em: <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-019-01026-8/16588506>. Acesso em: 08 jun. 2024.

LIMOEIRO, M. de. A. **Uso de geospatial big data para análise de favorabilidade à recomposição florestal em regiões degradadas por exploração onshore de petróleo e gás**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Ba, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/33029/1/Dissertao_Milena_Limoeiro_SIGAA_ok%20%281%29%20%283%29.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

MACÊDO, A. K. S. *et al.* Socio-environmental impacts on the Doce River basin, Brazil: a review from historic pollution to large disaster events. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 2339-2356, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-023-05350-5>. Acesso em 20 jun. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OLIVEIRA, R. E. **O estado da arte da ecologia da restauração e sua relação com a restauração de ecossistemas florestais no bioma Mata Atlântica**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/106664>. Acesso em: 18 set. 2024.

OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. **Ciência, Tecnologia & Ambiente**, [s. l.], v.5, n. 1, p. 40-48, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323623850>. Acesso em: 09 jun. 2024.

PORTER, A. L.; CUNNINGHAM, S. W. **Tech Mining**: exploiting new technologies for competitive advantage. Nova Jersey: Wiley Online Library, 2005.

RODRIGUES, R. R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 142, n. 6, 2009, p. 1242-1251. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320708004771>. Acesso em: 09 jun. 2024.

SAMPAIO, A. B. *et al.* **Guia de restauração ecológica para gestores de unidades de conservação**. versão 1. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes, 2021. E-book. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/restaura%C3%A7%C3%A3o/Guia-de-Restauracao-Ecologica_digital.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio ambiente. Instituto Florestal. **Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica**. IF Série Registro, São Paulo, n. 44, p. 1-38, ago. 2011. Disponível em: <http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/recomendados/artigos/aronson2011.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL (SER). **The SER primer on ecological restoration**. Society for Ecological Restoration International, Science and Policy Working Group, 2004. Disponível em: <http://www.ser.org>. Acesso em: 20 jun. 2011.

UNITED NATIONS DECADE ON ECOSYSTEM RESTORATION 2021-2030. 2021. Preventing, halting and reversing loss of nature. Disponível em: <https://www.decadeonrestoration.org/>. Acesso em: 22 maio 2024.

VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v. 84, p. 523-538, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-0146-3>. Acesso em: 18 set. 2024.

WUETHRICH, B. Biodiversity reconstructing Brazil's Atlantic rainforest. **Science**, [s. l.], v. 315, n. 5815, Feb. 2007, p. 1070-1072. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.315.5815.1070>. Acesso em: 09 jun. 2024.