

**Bases de dados e modelagem para espécies de sempre-
vivas**

**Databases and species distribution models for everlasting
(sempre-vivas)**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para obtenção de Título de Doutor em Ciências Biológicas, na Área de Botânica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Takeo Sano

Renato Ramos da Silva

**Bases de dados e modelagem para espécies de
sempre-vivas**

**Databases and species distribution models for
everlasting (sempre-vivas)**

Tese apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade de São
Paulo, para obtenção de Título de
Doutor em Ciências Biológicas, na Área
de Botânica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Takeo Sano

São Paulo

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca do Instituto de Biociências da USP, com os dados fornecidos pelo (a) autor (a) no formulário: '<https://biblioteca.ib.usp.br/ficha-catalografica/src/ficha.php>'

Silva, Renato Ramos da
Bases de dados e modelagem para espécies de
sempre-vivas / Silva Renato Ramos da ; orientador
Sano Paulo Takeo -- São Paulo, 2023.

426 p.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo. Ciências Biológicas
(Botânica).

1. big data. 2. conservação. 3. mudanças
climáticas. 4. modelos de adequabilidade de
habitat. 5. sempre-vivas. I. Sano, Paulo Takeo,
orient. Título.

Bibliotecária responsável pela catalogação:
Elisabete da Cruz Neves - CRB - 8/6228

Foto capa: Paulo Takeo Sano

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Agradecimentos

Finalizar um doutorado aos 43 anos de idade não era o plano inicial, mas desistir jamais foi uma opção. Dentre os principais agradecimentos, sou grato por chegar até aqui e agradeço a todos que me apoiaram, permitindo transformar a persistência em realização.

Agradeço à Ana Luisa, pela multiplicidade de apoios, pela constância, carinho e doçura, por persistir na batalha ao meu lado, e por tornar essa jornada sempre mais leve. Ter alguém do lado que entende o que se passa na cabeça e coração de um pós-graduando, é um privilégio.

Agradeço à minha família por tornar essa trajetória um sonho coletivo.

Agradeço ao Paulo Takeo Sano, pela confiança e apoio incondicional; pelas palavras escolhidas com extrema precisão; pelo equilíbrio nas tomadas de decisão e liberdade na construção; por manter o sonho sempre vivo, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à CAPES e ao CNPq (Proc. 167311/2017-4) por todo financiamento destinado ao Programa de Pós-Graduação e pelas bolsas que recebi durante o doutorado. Ao Instituto Tecnológico Vale por prover apoio à continuidade do meu doutorado e permitir ampliar as minhas pesquisas, com bolsa de pesquisador bolsista.

Agradeço à USP, especialmente aos meus colegas e amigos, professores, funcionários e voluntários do Laboratório de Sistemática, por todo aprendizado, apoio e convivência. Agradeço professores de outros departamentos da USP e do programa, pelas valiosas contribuições e ensinamento ao longo de toda a trajetória na pós-graduação.

Ao Pró-Espécies, IEF-MG e WWF por acreditar nas nossas propostas e novas abordagens para a Conservação no Espinhaço Mineiro, com todo o apoio dado em equipamentos, especialmente pelo servidor de dados, recursos para

atividades de campo e principalmente nas trocas de saberes. Em especial, agradeço aos companheiros do Grupo de Assessoramento Técnico do Plano de Ação Territorial do Espinhaço Mineiro. Ao IEF-MG e ao ICMBio agradeço por prover as licenças de coleta necessárias aos estudos de campo (IEF-MG 069/2019 e SISBIO-ICMBio 70897-1). Também agradeço à Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, pelo apoio e confiança.

Setor de informática IB, bem como comissão de informática pelo apoio na instalação de um servidor de dados na rede da USP. Sem isso, boa parte do meu trabalho não seria possível. Ao Centro de Estatística Aplicada CEA-USP pelo suporte prestado.

Agradeço a todos as pessoas que sempre nos receberam bem por todos os lugares e serras desse Brasil profundo, que não me canso de encontrar e me propor a construir em conjunto.

Sumário

Resumo	7
Abstract	9
Introdução geral	11
Co-ocorrência de biodiversidade e recorrência de queimadas nas áreas montanhosas na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço: mensurando a intensidade do fogo antrópico com o uso de big data em escala biogeográfica.	Erro! Indicador não definido.
Lacunas de Conservação da flora na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço: megadiversidade na fronteira entre dois hotspots	Erro! Indicador não definido.
Riqueza, distribuição e Conservação de espécies nativas da flora brasileira utilizadas como plantas secas decorativas comercializadas a partir de entrepostos em Minas Gerais	Erro! Indicador não definido.
Mudanças climáticas e conservação da sempre-viva pé-de-ouro (Comanthera elegans): atualizando a avaliação do estado de conservação, projetando ameaças futuras	Erro! Indicador não definido.
Avaliação de modelos nulos com variáveis ambientais edafoclimáticas para quantificar a performance e significância para modelos de adequabilidade de habitat de endemismo restrito de plantas de campos rupestres	Erro! Indicador não definido.
Conclusões	425

Resumo

A Serra do Espinhaço é a cordilheira brasileira com o potencial de abrigar a maior riqueza de espécies da flora brasileira, conhecimento científico que se inicia principalmente com as viagens de coletas dos naturalistas europeus a partir do início do século XIX, se estendendo com as primeiras gerações de botânicos brasileiros. A partir do levantamento da flora da Serra do Cipó publicado em 1987, o Laboratório de Sistemática da Universidade de São Paulo evidenciou a relevância e importância da região para a conservação. Também foram contemplados nesses estudos aspectos da biogeografia, destacando endemismos, bem como o conhecimento da flora de uso econômico da região, com destaque para as sempre-vivas. A evolução do contexto ambiental do Brasil ao longo desses 36 anos vem se transformando, com a ampliação de políticas públicas para a conservação, com listas de espécies ameaçadas regionais ou nacionais e a criação / implementação de Unidades de Conservação, assim como também se amplia os processos de degradação e ameaça. No Espinhaço, novos componentes com potencial para degradação estão emergindo, assim como outros do passado precisam ser revisados. Como exemplo, emergem aspectos da transformação da paisagem em conjunto com as mudanças climáticas, e por outro lado a real necessidade de se avaliar estratégias de uso de recursos ambientais de forma sustentável, conciliando com a dinâmica de comunidades tradicionais da região. Os estudos desenvolvidos e apresentados nessa tese buscam conciliar uma visão de conservação territorial e conciliar um tema que é extremamente importante para os estudos em Eriocaulaceae, que é o uso de produtos florestais não madeireiros dos campos rupestres como plantas decorativas. A partir de uma síntese regional com o uso de ferramentas de big data para a flora, foram apresentados dois capítulos: um do fogo e o outro sobre a mineração, com a interface da riqueza da flora, utilizando ferramentas de big data. Nesse mesmo recorte territorial, foi atualizada a lista de espécies da flora utilizada no extrativismo, também avançando em aspectos da reavaliação do principal produto das flores secas, a sempre-viva-pé-de-ouro (*Comanthera elegans* – Eriocaulaceae), incluindo projeções de mudanças climáticas. Para *Comanthera suberosa*, considerada endêmica da Serra do Ambrósio e alvo do extrativismo vegetal, implementou-se avaliação de modelos nulos em contexto de especialistas edáficas, agregando bases de dados tomados no nível ao envelope

climático, com remoção de autocorrelação espacial. Para o Espinhaço Mineiro foram encontradas 7.314 espécies de plantas, sendo 1.535 espécies são endêmicas do estado e 1.091 são endêmicas exclusivas essa região, destacando-se Eriocaulaceae. 546 estão na lista oficial da flora brasileira ameaçada, sendo que 80% ainda não foram avaliadas. As queimadas de origem não natural têm maior incidência e recorrência nas áreas altas, dos campos rupestres, onde ocorre a maior riqueza de espécies na região. Dentre as espécies da flora, são encontradas 444 espécies de plantas secas decorativas com origem ou comercializadas a partir de entrepostos na região, com origem também de outros biomas, mas principalmente dos campos rupestres do Espinhaço Mineiro. Tratada com destaque no extrativismo, a sempre-viva-pé-de-ouro apresenta dados de ocorrência ampliados e reunidos, com abrangência das Unidades de Conservação, projetando cenário variável de mudança de adequabilidade de habitats até o final do século XXI. Para *C. suberosa*, os métodos aperfeiçoados para a modelagem com espécies especialistas edáficas se mostraram bastante satisfatórios no nível da paisagem, permitindo maior acurácia espacial. A partir dos estudos, o que se mostra são novos impactos e a necessidade de se repactuar as estratégias de conservação para região. Nesse novo cenário, a mineração de quartzito emerge com maior potencial de dado a esse e outros componentes da biodiversidade na região. Os resultados permitem delimitar e avaliar o impacto de políticas públicas para o manejo integrado do fogo, assim como a formulação de novas perguntas em um contexto biogeográfico. Por fim, a valorização da cultura e saberes locais, com o manejo sustentável no extrativismo, apresenta-se como potencial de agregar parceiros para a proteção da biodiversidade das serras mineiras.

Palavras-chave: *Comanthera*, conservação, megadados, mudanças climáticas, produtos florestais não madeireiros

Abstract

Serra do Espinhaço is the Brazilian mountain range with the potential to contain the most extraordinary richness of Brazilian flora species, scientific knowledge that begins mainly with the collecting trips of European naturalists from the beginning of the 19th century, extending with the first generations of Brazilian botanists. Since the Serra do Cipó flora checklist was published in 1987, the Laboratório de Sistemática da Universidade de São Paulo highlighted the relevance and importance of the region for conservation. Aspects of biogeography were also considered in these studies, highlighting endemism and knowledge of the flora of economic use in the area, emphasizing everlasting flowers. The evolution of Brazil's environmental context over these 36 years has been transformed with the expansion of public policies for conservation, with lists of regional or national threatened species, the creation/implementation of Conservation Units, and the addition of processes of degradation and threat. Throughout the Espinhaço, new components with potential for degradation are emerging, just as others from the past need to be reviewed. As an example, aspects of landscape transformation appear in conjunction with climate change. On the other hand, there is a real need to evaluate strategies for sustainably using environmental resources, reconciling with the dynamics of traditional communities in the region. The studies developed and presented in this thesis seek to negotiate a vision of territorial conservation and a fundamental theme for Eriocaulaceae studies: using non-timber forest products from “campos rupestres” as decorative plants. Based on a regional synthesis using big data tools for flora, two chapters were presented: one on fire and the other on mining, with the interface of flora richness using big data tools. In this same territorial area, the list of flora species used in extractivism was updated, also advancing aspects of the re-evaluation of the leading dry flower product, the everlasting (*Comanthera elegans* – Eriocaulaceae), including projections of climate changes. For *Comanthera suberosa*, considered endemic to Serra do Ambrósio and a target of plant exploitation, an evaluation of null models were implemented in the context of edaphic experts, aggregating databases taken at the climatic envelope level, with the removal of spatial autocorrelation. For Espinhaço Mineiro, 7,314 plant species were found, of which 1,535 are endemic to the state, and 1,091 are endemic exclusively to this region, highlighting Eriocaulaceae. 546 are on

the official list of threatened Brazilian flora, 80% of which have not yet been evaluated. Fires of non-natural origin have a greater incidence and recurrence in higher areas, in the “campos rupestres”, where the most significant species richness occurs in the region. Among the flora species, 444 species of decorative dried plants originate from or are sold from warehouses in the region, also native from other biomes, but mainly from the “campos rupestres” of Espinhaço Mineiro. Treated prominently in extractivism, the *C. elegans* presents expanded and combined occurrence data covering Conservation Units, projecting a variable scenario of changes in habitat suitability until the end of the 21st century. For *C. suberosa*, the improved methods for modeling with edaphic specialist species proved to be satisfactory at the landscape level, allowing greater spatial accuracy. From the studies, what is shown are new impacts and the need to renegotiate conservation strategies for the region. In this new scenario, quartzite mining emerges with more significant potential for this and other components of biodiversity in the region. The results allow us to define and evaluate the impact of public policies for integrated fire management and the formulation of new questions in a biogeographic context. Finally, the valorization of local culture and knowledge, with sustainable management in flora extractive activities, presents a potential to bring together partners to protect biodiversity in the mountains of Minas Gerais.

Key-words: *Comanthera*, big data, conservation, climate changes, non-timber forest products

Introdução geral

As sempre-vivas: flores secas ameaçadas de extinção pelo extrativismo

As incertezas sobre o uso sustentável das sempre-vivas em Minas Gerais emergiram a 26 anos, desde a instituição das listas de espécies ameaçadas de extinção de Minas Gerais, pela Deliberação Normativa COPAM 85/1997. Desde então, o Estado age com suas propriedades de comando e controle, marginalizando os apanhadores de flor, denominação com que se autoidentificam as comunidades que têm a colheita de sempre-vivas como atividade de subsistência e fonte de cultura. A lista de espécies ameaçadas do Estado de Minas Gerais indica a “coleta predatória” (1997), principalmente com referência aos dados de comércio.

Tomadas de decisões utilizando diferentes metodologias podem sugerir avaliações de estado de conservação com "vários pesos, várias medidas". Contudo, a decisão por um *status* de conservação a partir de dados fidedignos pode ter referência em diferentes contextos da biologia das espécies avaliadas. Variáveis qualitativas podem influenciar na opção metodológica e no resultado da elaboração de listas de espécies ameaçadas, na mesma proporção em que que não são bem mensurados aspectos quantitativos. Apesar dos esforços para se refinar a metodologia de avaliação de *status* de ameaça, permitindo a análise de dados de maneira mais consistente, essa é apenas uma etapa no processo de tomada de decisões. A partir dessa etapa, outras, como conselhos consultivos de caráter deliberativo na esfera do executivo de estados/departamentos ou nações, bem como a instância máxima do executivo (normalmente secretários e ministros de meio ambiente), são esses os tomadores de decisão. Nesse aspecto, a esfera política tem ainda outras variáveis que as metodologias de análise incluem e o processo de mediação entre as diferentes partes interessadas normalmente existe para a conclusão dessa cadeia: análise técnico-científica seguida por tomada de decisões.

Ainda com relação a aspectos políticos envolvidos na compilação de listagens de espécies ameaçadas, persistia a prática de não reconhecimento de listas de entes estaduais pela federação no processo de elaboração das listas de espécies

ameaçadas federais. Não se atribui uma justificativa a isso, já que a mesma metodologia proposta pela IUCN (2001) é utilizada pelos diferentes entes federativos. Considera-se, porém, que aquelas espécies que se apresentam como endêmicas de um dado Estado e que, em suas listagens são indicadas como ameaçadas, essas espécies devem automaticamente ser também consideradas ameaçadas na lista federal, ainda que a análise apresente imperfeições ou os bancos de dados não estejam organizados como desejado por aqueles que compilam e realizam análises de *status* de ameaça.

Dentre as listas oficiais aplicadas às delimitações políticas avaliadas nesse estudo, destacam-se a lista do Conselho Estadual de Políticas para o Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais - COPAM-MG e a lista oficial brasileira do Ministério do Meio Ambiente - MMA. A lista da Organização Não-governamental Biodiversitas, apesar de apresentar processo de avaliação compatível com aquele determinado pelos regulamentos da IUCN, foi validada parcialmente na lista do MMA de 2008. O trabalho para a elaboração dessa listagem considerou a participação de especialistas de todas as famílias indicadas. A lista do COMPAM-MG de 1997 foi revogada e atualizada por outra listagem atualizada pela resolução COMPAM 367/2008. Essa listagem foi revogada pela resolução COMPAM nº 424/2009, permanecendo sem uma lista oficial de espécies ameaçadas para o Estado de Minas Gerais. Já em lista oficial nacionais, foram três versões: 2008, 2014 e 2022. A primeira não apresenta as categorias e critérios, diferentemente da segunda. A listagem da CITES e IUCN não apresenta espécies de Eriocaulaceae indicadas como ameaçadas, mesmo com a importância econômica das sempre-vivas no mercado externo para exportação e a presença em listas de espécies ameaçadas de extinção no Estado de Minas Gerais (revogada) ou nacional, do MMA.

Para além da escala nacional ou estadual, persiste uma lacuna quanto à definição de estratégias de conservação para Eriocaulaceae, uma família em que existe pressão sobre populações nativas para o comércio, que não apresentava espécies nas listagens da IUCN e CITES. Quanto ao comércio, não existe controle em outros países, apesar de o histórico remontar há mais de 100 anos de história da atividade

extrativa de um espectro da biodiversidade do Espinhaço, com listas de espécies ameaçadas oficiais que as compreenderam em outros momentos.

Não existe nenhuma evidência que comprove, de fato, como se deu início ao uso das flores e o seu comércio em maior escala. O início da utilização comercial das flores não tem uma data precisa, contudo há relatos que remetem ao início do século XX, com alcance de mercados e volumes amplos já na Segunda Guerra Mundial. O que se pode supor é que, quanto à logística de transporte e comercialização das flores, antes de 1913, o único modal de transportes na região era feito por caminhos, por tropeiros e suas tropas, seria inviável para se transportar grandes quantidades desse produto. Após 1913, o trem torna-se um modal de logística essencial, substituindo o precário transporte pelos tropeiros. Como hipótese inicial, imaginou-se que a interrupção do ramal ferroviário que ligava Diamantina à rede Central do Brasil, poderia ter influenciado a exportação das flores. Mas constata-se em relatórios da RFFSA que esse ramal foi interrompido em 1970, antes do apogeu de volumes e preços alcançados entre 1977 e 1980. O transporte rodoviário substituiu então o ferroviário, dando seguimento na possibilidade de transportar e comercializar os produtos nas mesmas escalas em que o trem permitia.

A partir da implementação da logística de transporte de produtos via trem, inicia-se, então, o que se convencionou a chamar, no discurso conservacionista, de sobreexploração, único critério utilizado para se incluir dezenas de espécies de sempre-vivas em listas de espécies ameaçadas de extinção. Mas estamos avaliando *status* de ameaça em função de características ecológicas ou econômicas? Os gráficos de exportação que foram evidência para a definição de categorias IUCN de ameaça tem conexão com a diminuição de população em campo? Estamos respondendo as perguntas certas com os parâmetros corretos? O que se descreve a partir daqui são conclusões de que não, que os critérios adotados até então devem ser revistos.

Conclusões

Trazer as diferentes perspectivas dos dados para a construção de modelos permitiu a avaliação tanto de aspectos da distribuição das espécies, em especial das sempre-vivas (*Comanthera* subg. *Comanthera*), como também subsídios já em aplicação para a conservação em escala territorial. O processo que se cumpriu na síntese e no levantamento de dados da flora, incorporando diferentes métodos de análise, com bases de dados de variáveis ambientais, permitiu modelos com diferentes níveis de acurácia. As ferramentas que se desenvolvem para a síntese e análise dos dados são ampliadas e possíveis pela base dos estudos taxonômicos compilados na Flora do Brasil. Para os estudos com fogo, as incertezas emergem pela própria dimensão da escala da área avaliada, potencializada pela heterogeneidade do esforço de coleta e de conhecimento da flora no Espinhaço Mineiro. Ainda assim, demonstra-se o histórico de longo prazo, apontando mudanças na sazonalidade, indicando a importância de se monitorar e ampliar o conhecimento das transformações com as mudanças climáticas.

Para a flora dos campos rupestres da Reserva da Biosfera do Espinhaço Mineiro, bem como para os seus ecossistemas no entorno das serras, depois de décadas de estudos, novas descobertas ainda são possíveis e a riqueza de espécie segue incrementando. Novas espécies, espécies desaparecidas reencontradas, novos registros com coordenadas geográficas, essas informações mostram-se cada vez mais confiáveis e relevantes para estratégias de planejamento territorial não apenas para a conservação. De toda forma, é preciso conservar e, para isso, conhecer. Novas antigas fronteiras do conhecimento são evidenciadas pela ausência de dados ao norte, no Espinhaço Setentrional.

Para os diferentes contextos das sempre-vivas, a partir da base territorial, passando pelo comércio de plantas decorativas, pela relevância de modelos com acurácia em bases edafoclimáticas, pelas projeções futuras; todos esses aspectos nos mostraram como esse ainda é um tema que demanda atenção e inspira novas pesquisas. Parece-

nos muito pouco provável a possibilidade de dissociar a conservação das espécies da conservação das serras, dos saberes, das práticas e do manejo sustentável. O amplo histórico que foi possível resgatar demonstra o quanto se acertou e o quanto ainda é preciso aperfeiçoar nas políticas ambientais que miram a flora dos campos rupestres e o extrativismo sustentável. Passados pelo menos 100 anos do uso das flores, há que se constatar que existe muito mais conhecimento nas práticas adotadas localmente do que as nossas pesquisas foram capazes de apreender até o momento. As perspectivas temporais evidenciam tanto incertezas como elementos para tomadas de decisão para as políticas públicas para a conservação da biodiversidade. O que se espera é que a construção do conhecimento científico prossiga, contribuindo para processos e contextos mais amplos, onde haja diálogo e respeito às diversidades.