

Aplicações da Linguagem R em Análises de Vegetação

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa
(Organizadores)

Aplicações da Linguagem R em Análises de Vegetação

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa
(Organizadores)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
 (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 Aplicações da linguagem R em análises de vegetação [recurso eletrônico] / Organizadores Écio Souza Diniz, Pedro Manuel Villa. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-35-5
 DOI 10.22533/at.ed.355200903

1. Desenvolvimento sustentável. 2. R (Linguagem de programação de computador). 3. Recursos vegetais – Manejo.
 I. Diniz, Écio Souza. II. Villa, Pedro Manuel.

CDD 333.7511

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Os diferentes tipos de vegetação ao redor do globo, principalmente as florestas tropicais, se destacam por fornecer importantes bens e serviços ecossistêmicos para a humanidade como, por exemplo, regulação climática, provisão de alimentos e diversas fontes de energia. Contudo, as crescentes e rápidas mudanças no meio ambiente causadas por sua intensa exploração no século 21 têm promovido reduções drásticas de importantes vegetações distribuídas em distintos Biomas. O Brasil como um país de dimensão continental e rico em recursos vem atravessando profundas transformações em seus Biomas, o que é destacadamente devido aos usos intensos da terra sem técnicas adequadas de manejo para a sua exploração.

Diante desse panorama de significativas transformações do meio natural, se faz necessário e urgente o estudo de diferentes tipos de comunidades vegetais e ecossistêmicas para definir estratégias de manejo e conservação, assim como pesquisas que visem a otimização de produções agrícolas de forma sustentável. A união de compreensão ecológica precisa e adequadas técnicas de manejo permitem uma exploração sustentável a longo-prazo dos recursos vegetais, assegurando manutenção de diversidade e provisões para o futuro.

A execução de estudos robustos para alcançar essa interface entre conservação e exploração demanda o uso de eficientes ferramentas analíticas. Dentre essas ferramentas, as linguagens de programação têm se sido importantes aliadas para obtenções de predições e resultados estatísticos confiáveis e informativos. A linguagem contida no software R é a mais amplamente utilizada para processamento de dados e análises de vegetação. O R engloba diversos pacotes importantes para análises de dados de plantas em diversos contextos ecológicos e agrários. Com seus diversos pacotes, o R permite a busca mais apurada pela compreensão de padrões e processos ecológicos, avaliação de impactos antrópicos sobre vegetação, monitoramentos e previsões de condições do solo para plantios e predições de efeitos de mudanças climáticas em florestas. Essa gama de possibilidades analíticas amplifica o acerto em tomadas de decisão com relação ao uso dos nossos recursos naturais de forma geral.

Este livro tem como objetivo trazer uma compilação de algumas potencialidades do software R para análise de vegetação, contribuindo para o aumento da capacidade técnica de diversos profissionais das áreas de Ciências da Terra ou Naturais no uso dessa poderosa ferramenta analítica. Para tal, os capítulos aqui presentes discorrem de forma aplicada sob temas em contextos ecológicos e agrários. Todos os capítulos possuem links de compartilhamento livre de dados e scripts com códigos para execução das análises que eles abordam no R. Assim, desejamos que o conteúdo aqui presente auxilie você leitor (a) em sua tarefa analítica, amplificando a obtenção de resultados informativos e potenciais de aplicação prática.

Écio Souza Diniz
Pedro Manuel Villa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
BIOVEG – A PROTOCOL TO LEARN AND TEACH STATISTICS IN R USING VEGETATION DATA	
Écio Souza Diniz Jan Thiele	
DOI 10.22533/at.ed.3552009031	
CAPÍTULO 2	11
RAREFACTION AND EXTRAPOLATION OF SPECIES DIVERSITY DURING NEOTROPICAL FOREST SUCCESSION: AN R ROUTINE USING INEXT PACKAGE	
Pedro Manuel Villa Sebastião Venâncio Martins Écio Souza Diniz Antonio J. Pérez-Sánchez Gustavo Heringer Alice Cristina Rodrigues Daniela Schmitz Júnia Maria Lousada Herval Junior Pinto Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009032	
CAPÍTULO 3	20
PHYTOSOCIOLOGY IN R: A ROUTINE TO ESTIMATE PHYTOSOCIOLOGICAL PARAMETERS	
Gustavo Heringer Pedro Manuel Villa Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009033	
CAPÍTULO 4	30
ANÁLISE DE DADOS DE DESMATAMENTO COM R: VISUALIZAÇÃO INTERATIVA COM SHINY	
Carlos Eduardo Cardoso Mauricio Evandro Eloy João Paulo Martins dos Santos Alessandro Firmiano de Jesus	
DOI 10.22533/at.ed.3552009034	
CAPÍTULO 5	43
AVALIAÇÃO DE GRADIENTE PEDOAMBIENTAL USANDO ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) NA ANTÁRTICA MARÍTIMA	
Daniela Schmitz Pedro Manuel Villa Carlos Ernesto G.R. Schaefer Márcio Rocha Francelino	
DOI 10.22533/at.ed.3552009035	

CAPÍTULO 6	56
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FATORES AMBIENTAIS E ATRIBUTOS FLORESTAIS USANDO ROTINAS NO R	
Alice Cristina Rodrigues	
Pedro Manuel Villa	
Andreza Viana Neri	
DOI 10.22533/at.ed.3552009036	
CAPÍTULO 7	69
SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN SOIL AND PHYTOSOCIOLOGICAL INDICATORS OF ECOLOGICAL RESTORATION IN AN ATLANTIC FOREST SITE	
Camila Santos da Silva	
Marcos Gervasio Pereira	
Rafael Coll Delgado	
Emanuel José Gomes de Araújo	
Cristiane Figueira da Silva	
Daniel Costa de Carvalho	
Shirlei Almeida Assunção	
Israel Oliveira Ramalho	
Deyvid Diego Carvalho Maranhão	
Ariovaldo Machado Fonseca Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3552009037	
CAPÍTULO 8	82
MODELAGEM ESPACIALIZADA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO POR MEIO DO PACOTE AGRIWATER EM AMBIENTE R	
César de Oliveira Ferreira Silva	
Pedro Henrique Jandreice Magnoni	
DOI 10.22533/at.ed.3552009038	
CAPÍTULO 9	96
IMPACTO DO FOGO NO BANCO DE SEMENTES DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL ALTOMONTANA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG	
Júnia Maria Lousada	
Pedro Manuel Villa	
Gustavo Heringer	
Sebastião Venâncio Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3552009039	
CAPÍTULO 10	110
EFFECTS OF SPATIAL SCALE ON PEQUI ENTOMOFAUNA	
Gustavo Amorim Santos	
Deomar Plácido da Costa	
Suzana da Costa Santos	
Pedro Henrique Ferri	
DOI 10.22533/at.ed.35520090310	
CAPÍTULO 11	122
PIPELINE DE EXPRESSÃO DIFERENCIAL EM R APLICADO À <i>Arabidopsis thaliana</i>	
Sheila Tiemi Nagamatsu	
Lucas Miguel de Carvalho	

Luciana Souto Mofatto
Nicholas Vinícius Silva
Marcelo Falsarella Carazzolle
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090311

CAPÍTULO 12 138

MODELAGEM DE CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CANA ENERGIA SOB O ESTÍMULO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO

Luís Guilherme Furlan de Abreu
Lucas Miguel de Carvalho
Maria Carolina de Barros Grassi
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090312

CAPÍTULO 13 150

INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO POR FLAVONOIDE NO CRESCIMENTO DE CLONES COMERCIAIS DE *E. urophylla* e *E. urograndis*

Nicholas Vinícius Silva
Luciana Souto Mofatto
Mariana Teixeira Rebouças
Lucas Miguel de Carvalho
Sheila Tiemi Nagamatsu
Marcelo Falsarella Carazzolle
Jorge Lepikson Neto
Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

DOI 10.22533/at.ed.35520090313

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 166

ÍNDICE REMISSIVO 167

SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN SOIL AND PHYTOSOCIOLOGICAL INDICATORS OF ECOLOGICAL RESTORATION IN AN ATLANTIC FOREST SITE

Data de aceite: 12/02/2020

Data de submissão: 21/11/2019

Camila Santos da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/5813811233254259

Marcos Gervasio Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/3657759682534978

Rafael Coll Delgado

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/1178948690201659

Emanuel José Gomes de Araújo

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/3124188823262093

Cristiane Figueira da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/5734423515627169

Daniel Costa de Carvalho

Universidade de Brasília, Brasília – DF
lattes.cnpq.br/6394423734483181

Shirlei Almeida Assunção

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/3592454473382052

Israel Oliveira Ramalho

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/2994569158207067

Deyvid Diego Carvalho Maranhão

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/7821807823585233

Ariovaldo Machado Fonseca Junior

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Seropédica – RJ
lattes.cnpq.br/3170882049619127

ABSTRACT: The objective of this study was to assess spatial relationships between soil and phytosociological indicators in an Atlantic Forest site under ecological restoration. Soil samples (0–10 cm depth) were collected from 49 points within the study area. Total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), mineral-associated organic carbon (MOC), permanganate oxidizable carbon (POXC), total nitrogen, glomalin-related soil protein easily extractable fraction (GRSP-EF), and arbuscular mycorrhizal fungal spore abundance were determined. The structure and diversity of tree and regenerating individuals were also assessed. Semivariogram data were subjected to ordinary kriging, and prediction maps were generated. All variables were spatial dependent. A high spatial correlation was observed between

GRSP-EF and density of tree and regenerating individuals. Glomalin has important functions in the soil, favoring the development of microorganisms and plants. TOC, POC MOC, and POXC were spatially correlated with structure and diversity parameters of tree individuals. These relationships were likely due to the presence of leaf litter, which contributes to soil organic matter content. Pearson correlation analysis showed that related variables were highly correlated. However, low or insignificant correlations were found among vegetation structure and soil attributes. Overall, phytosociological indicators showed little correlation with soil indicators.

KEYWORDS: soil attributes, phytosociological characterization, geostatistics, forest planting, forest restoration.

RELAÇÃO ESPACIAL ENTRE INDICADORES EDÁFICOS E FITOSSOCIOLÓGICOS EM UMA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NA FLORESTA ATLÂNTICA

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi relacionar espacialmente indicadores do solo e fitossociológicos em uma área em processo de restauração ecológica, em uma floresta da Mata Atlântica. Foram coletadas amostras de solo (0-10 cm) distribuídas em 49 pontos na área de estudo. Em cada amostra foram determinados: o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e associado aos minerais (COam), carbono oxidável permanganato (POXC), nitrogênio total, proteína do solo relacionada à glomalina – facilmente extraível (PSRG-FE) e abundância de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. Nos componentes arbóreo e regenerante foram determinados os parâmetros de estrutura e diversidade. O semivariograma foi ajustado para cada variável, posteriormente foi realizada a Krigagem Ordinária. Todas as variáveis apresentaram dependência espacial. De acordo com a espacialização, a PSRG-FE apresentou correlação espacial com a densidade de indivíduos arbóreos e regenerantes. Essa relação pode ter ocorrido porque a glomalina possui diferentes funções no solo, favorecendo o desenvolvimento dos organismos e plantas. O COT, COp COam e POXC apresentaram correlações espaciais com os parâmetros de estrutura e diversidade do componente arbóreo. Esse padrão, provavelmente, foi encontrado devido à deposição de resíduos vegetais, contribuindo com a adição de matéria orgânica no solo. Em relação à correlação de Pearson, as variáveis de mesma natureza apresentaram maiores correlações entre si, enquanto a estrutura da vegetação apresentou correlações baixas e insignificantes com os indicadores edáficos. Em geral, os indicadores relacionados aos atributos do solo apresentaram pouca correlação com os parâmetros fitossociológicos dos componentes arbóreos e regenerantes.

PALAVRAS-CHAVE: atributos do solo, caracterização fitossociológica, geoestatística, plantio florestal, restauração florestal.

1 | INTRODUCTION

Centuries of deforestation have reduced the Atlantic Forest to about 8.5% of its original cover (Fundação SOS Mata Atlântica, 2016). This situation has prompted an increasing interest in the preservation of forest landscapes (Miranda et al., 2007), evidenced by the growing number of ecological restoration initiatives seen in Brazil.

Ecological restoration can be defined as the process of assisting in the recovery of an ecosystem that has been disturbed, damaged, or degraded. The aim may vary from protecting biodiversity to restoring ecosystem services (SER, 2004). A critical step in ecological restoration is the evaluation and monitoring of the forest site (Brancalion et al., 2015). Different parameters may need to be examined to determine whether the site is responding positively to the adopted strategies. The most commonly used indicators are related to plant community structure and composition (Brancalion et al., 2015), but chemical, physical, and biological attributes of soil can also be used. If the results suggest low long-term sustainability, the restoration project may need to be revised (Brancalion et al., 2015).

Biological parameters often show spatial variability. However, most restoration studies disregard this information (Dormann, 2007). Structural attributes of tree individuals, such as height, basal area, biomass, carbon content, and species diversity, may show spatial dependence according to microclimatic conditions, species characteristics, and biotic factors (Rode et al., 2010).

The high spatial variability of variables has been a subject of geostatistical investigations (Yun-Qiang et al., 2009; Silva et al., 2017). In geostatistics, interpolation methods are used to predict variables for unsampled locations (Landim, 2006). This study aimed to investigate spatial relationships between soil and phytosociological indicators in an Atlantic Forest site under restoration in Brazil. We explored the following research question: How do soil attributes influence the spatial variations of forest structure? We hypothesized that plant species distribution depends on terrain relief, soil quality, and nutrient availability, that vegetation influences soil attributes, and that soil and phytosociological parameters are interdependent and spatially correlated.

2 | MATERIAL AND METHODS

The study area occupies 14,902 m² in the municipality of Magé, Rio de Janeiro, Brazil, under coordinates 43°01'W 22°35'S. Classified as Af in the Köppen system, the climate of the region is hot and humid, with no dry season. The average annual temperature is 21.9 °C and the average annual rainfall 2,050 mm. The soil is Gleysol

and Latosol (Santos et al., 2013), corresponding to Entisol and Oxisol, respectively, in the US Soil Taxonomy system (Soil Survey Staff, 2014). Dense ombrophilous forest is the primary vegetation (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2013), but, prior to restoration, the area was mostly covered by *Brachiaria* sp. and *Imperata brasiliensis* Trin.

Tree species native to the Atlantic Forest and an exotic tree species, *Khaya ivorensis* A. Chev. (African mahogany), were planted in 2009, with a spacing of 2.5 × 2.5 m. Seedlings received a starter fertilization of 150 g/hole NPK (06-30-06), 300 g/hole limestone, and 3 L/hole composted cattle manure.

Plot corners were georeferenced using mono- and dual-frequency global positioning system (GPS) receivers. Then, 49 sampling points, 20 m apart from one another, were systematically distributed across the area using ArcGIS 10.5. Sampling point coordinates were transferred to a GPS receiver, and soil samples were collected from the 0–10 cm depth.

Samples were evaluated for total organic carbon (TOC) content (Donagemma et al., 2011), particle size fractionation of soil organic matter (Cambardella and Elliot, 1992), permanganate oxidizable carbon (POXC) content (Weil et al., 2003), and total nitrogen content (Tedesco et al., 1995). The following biological parameters were also analyzed: arbuscular mycorrhizal fungal spore abundance (SA) (Gerdermann and Nicolson, 1963) and glomalin-related soil protein easily extractable fraction (GRSP-EF) (Wright and Upadhyaya, 1998; Rillig, 2004).

Plants were sampled from 6 m radius circular plots (113.10 m²) centered at each sampling point. All arboreal and regenerating plants were measured and identified. Tree individuals with a circumference at breast height equal to or greater than 15.7 cm (diameter at breast height, DAB ≥ 5 cm) were analyzed. Plants that did not meet this criterion but had a height greater than 60 cm were considered regenerating individuals, and only the number of individuals of each species was recorded. Circumference and height measurements were taken with a metric tape and hypsometer, respectively.

In order to characterize the tree stratum, we calculated the following dendrometric and phytosociological indicators: height (m), basal area (m² ha⁻¹), richness, density (ind ha⁻¹), Shannon–Wiener diversity index (H'), and number of individuals belonging to the family Fabaceae—the most important family for regeneration of the studied area. The following indicators were estimated for regenerating individuals: richness, density, H' , and number of Fabaceae individuals.

Dendrometric and phytosociological indicators were subjected to an experimental semivariogram analysis using R software 3.4.0 (R Core Team, 2017). The nugget effect, sill, and range were calculated, and spherical, exponential, and

Gaussian models were fitted by the maximum likelihood method using the geoR package in R (Ribeiro Júnior and Diggle, 2001). The used routine for geostatistical analysis we used R can be accessed and downloaded in the link: doi.org/10.13140/RG.2.2.31036.80005. The best-fitting semivariogram model was selected according to the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the coefficient of determination (r^2), Willmott's concordance index (d), and the degree of spatial dependence (DSD). DSD was classified as follows: strong spatial dependence ($DSD \leq 25\%$), moderate spatial dependence ($25\% \leq DSD \leq 75\%$), and weak spatial dependence ($DSD \geq 75\%$). A DSD of 100% indicates a pure nugget effect. Dendrometric and phytosociological parameters for unsampled locations were predicted by the ordinary kriging method using ArcGIS 10.5 software. Kriging maps were interpolated two by two, and a Pearson correlation matrix was constructed. This procedure allowed to assess the similarity between maps. Correlation (r) was classified as very high ($r \geq 0.90$), high ($0.90 > r \geq 0.70$), moderate ($0.70 > r \geq 0.50$), low ($0.50 > r \geq 0.30$), or insignificant ($r < 0.30$) (Mukaka, 2012).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Spatial dependence was observed for all variables (Table 1). Grego and Vieira (2005) found that physical and hydraulic properties of surface soil (0–25 cm depth) were spatial dependent, in agreement with the results of the current study. The spherical model, followed by the Gaussian model, showed the best fit to semivariograms. The exponential model had a poor fit to the data.

Parameter	Soil attributes						
	TOC	POC	MOC	POXC	N	GRSP-EF	SA
	-----g kg ⁻¹ -----					mg g ⁻¹	spores 50 cm ⁻³ soil
AIC	333.59	212.36	317.47	-57.52	11.40	141.89	677.81
BIC	341.15	219.85	324.96	-50.48	18.96	149.45	685.38
r^2	0.09	0.14	0.00	0.00	0.00	0.21	0.18
d	0.57	0.54	0.38	0.34	0.46	0.65	0.64
C ₀	33.33	1.62	33.27	0.01	0.04	0.00	29855.73
C ₀ +C	47.94	4.55	37.73	0.01	0.06	1.00	86103.26
a	67.58	41.84	39.69	41.84	39.12	33.39	45.75
DSD (%)	69.52	35.57	88.18	81.25	69.33	0.00	34.67
Model	Sph	Sph	Gaus	Sph	Sph	Sph	Gaus

Tree individuals						
	h (m)	G (m ² ha ⁻¹)	S	D (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae
AIC	195.77	283.33	214.12	636.14	93.31	198.74
BIC	203.09	290,37	221.44	643.45	100.63	206.31
r ²	0.06	0.02	0.02	0.26	0.04	0.30
d	0.49	0.53	0.44	0.67	0.45	0.66
C ₀	1.73	28.57	4.78	24090.40	0.34	1.57
C ₀ + C	3.62	36.65	5.34	58618.40	0.39	3.59
a	37.38	71.79	67.09	58.00	59.28	76.20
DSD (%)	47.73	77.96	89.52	41.10	87.78	43.71
Model	Sph	Sph	Gaus	Sph	Gaus	Sph
Regenerating individuals						
	S	D (ind ha ⁻¹)	H'	Fabaceae		
AIC	140.67	563.49	30.61	227.38		
BIC	147.00	569.82	36.95	234.94		
r ²	0.00	0.28	0.02	0.01		
d	0.29	0.70	0.42	0.50		
C ₀	1.74	0.00	0.08	3.92		
C ₀ + C	2.37	344343.01	0.11	6.05		
a	43.58	39.74	51.88	59.42		
DSD (%)	73.32	0.00	72.00	64.82		
Model	Sph	Sph	Sph	Sph		

Table 1. Semivariogram model parameters for soil and phytosociological variables of an Atlantic Forest site undergoing ecological restoration.

TOC, total organic carbon; POC, particulate organic carbon; MOC, mineral-associated organic carbon; POXC, permanganate oxidizable carbon; N, nitrogen; GRSP-EF, glomalin-related soil protein easily extractable fraction; SA, arbuscular mycorrhizal fungal spore abundance; h, height; G, basal area; S, richness; D, density; H', Shannon-Wiener diversity index; AIC, Akaike information criteria; BIC, Bayesian information criteria; C₀, nugget effect; C₀ + C, sill; a, range; DSD, degree of spatial dependence; Sph, spherical; Gaus, Gaussian.

Our results corroborate previous reports. Yun-Qiang et al. (2009) used statistics and geostatistics to characterize and compare the spatial distribution of soil organic carbon and related factors in the Liudaogou basin, northern China. The authors found that the spherical model was best suited to describe the spatial dependence of soil organic carbon. Meng et al. (2009), in estimating the basal area of pines in Georgia using geostatistics, observed that the spherical model provided the best fit to data.

Most variables had moderate spatial dependence, but GRSP-EF and species density showed strong spatial dependence. Range varied from 33.39 (GRSP-EF) to 67.58 (TOC) for soil attributes, from 37.38 (h) to 76.20 (Fabaceae) for tree individuals, and from 39.74 (density) to 59.42 (Fabaceae) for regenerating individuals. Range represents the distance limit beyond which samples are no longer correlated. High

range indicates that sample points are influenced by other sample points located far apart (Isaaks and Srivastava, 1989). Thus, Fabaceae tree individuals correlate with each other even when at great distances apart.

Semivariogram parameters were used for ordinary kriging to generate prediction maps (Figures 1, 2, and 3). The distribution patterns in the northern region of the study site may be related to soil mineral content (Figure 1A–D). Carbon content is higher in soils with higher clay content. Soil organic matter interacts with the mineral fraction, resulting in the formation of organo-mineral complexes (Signor et al., 2014).

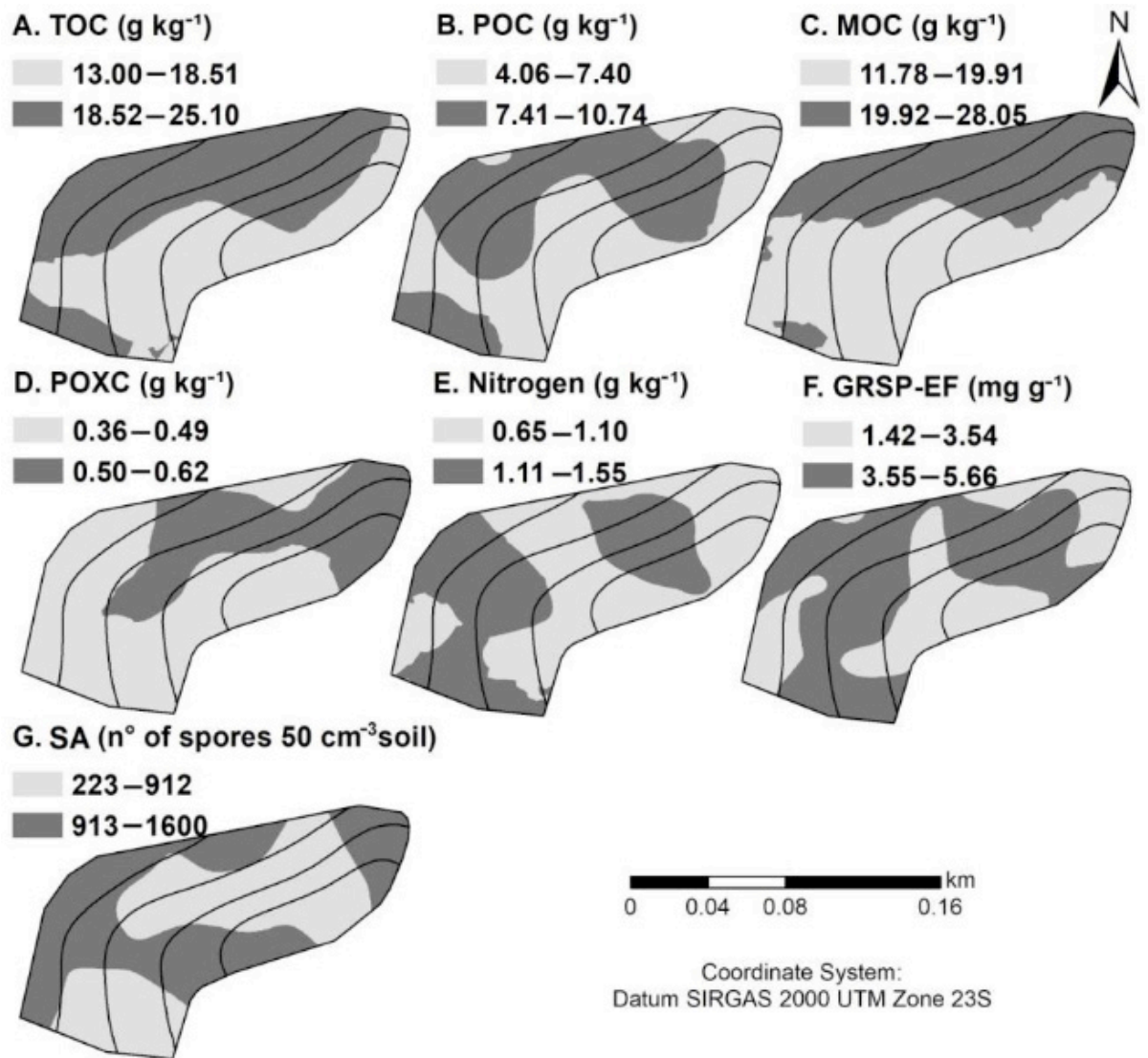


Figure 1. Spatial prediction maps of (A) total organic carbon (TOC), (B) particulate organic carbon (POC), (C) mineral-associated organic carbon (MOC), (D) permanganate oxidizable carbon (POXC), (E) nitrogen, (F) glomalin-related soil protein easily extractable fraction (GRSP-EF), and (G) arbuscular mycorrhizal fungal spore abundance (SA) in soil from an Atlantic Forest site under restoration. Contour lines indicate terrain elevation.

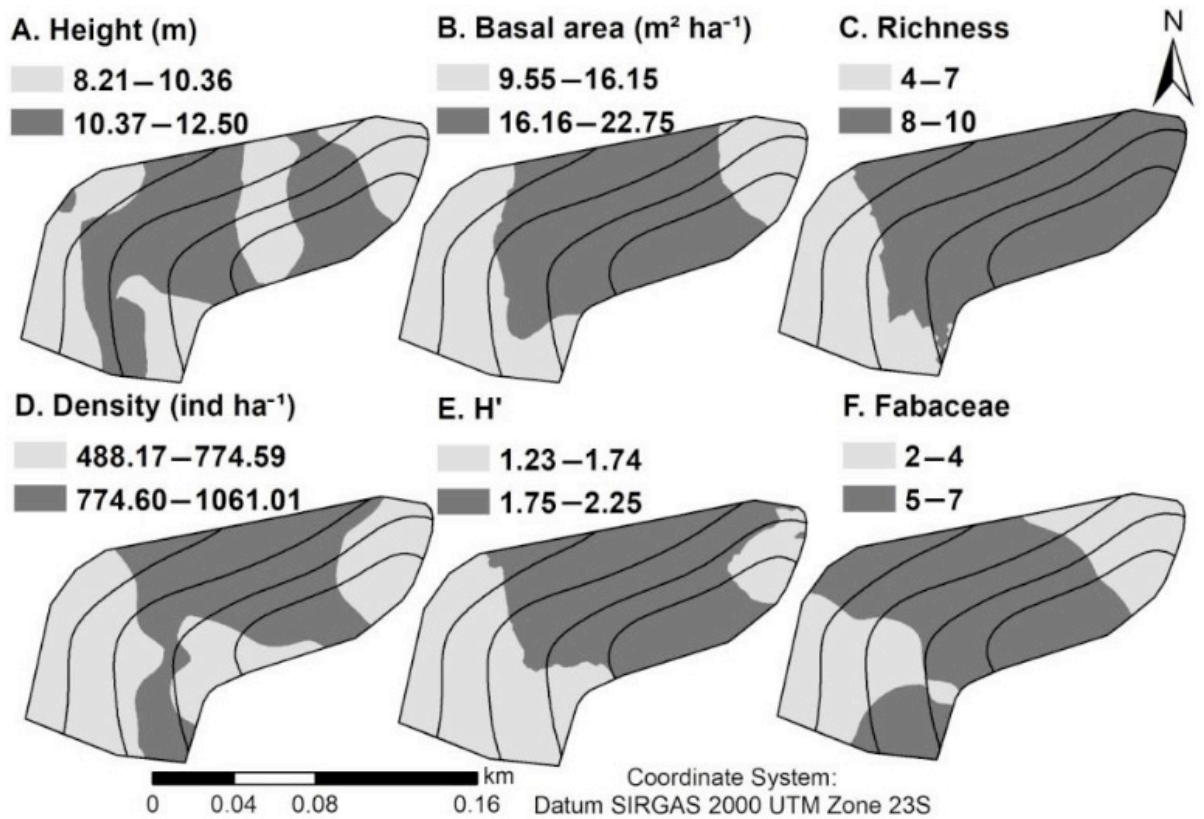


Figure 2. Spatial prediction maps of (A) height, (B) basal area, (C) richness, (D) density, (E) diversity (H'), and (F) number of Fabaceae tree individuals growing in an Atlantic forest site under restoration. Contour lines indicate terrain elevation.

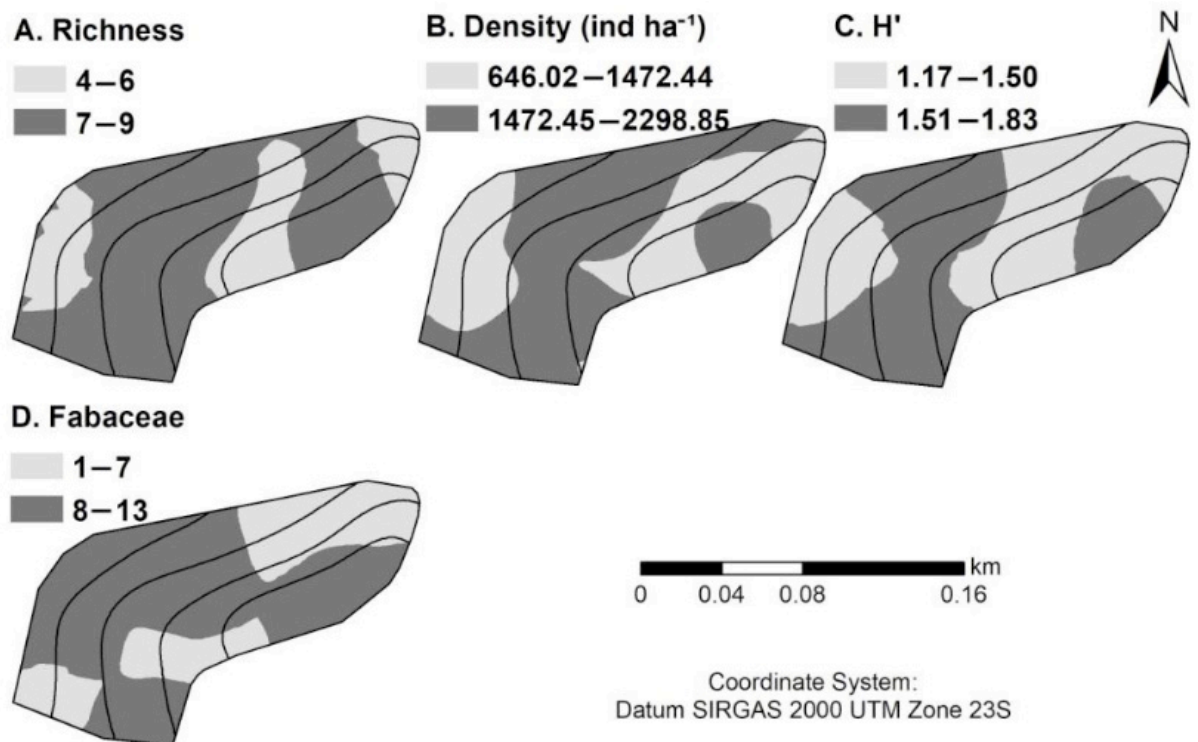


Figure 3. Spatial prediction maps of (A) richness, (B) density, (C) diversity (H'), and (D) number of Fabaceae regenerating individuals in an Atlantic Forest site under restoration. Contour lines indicate terrain elevation.

Soil samples had higher levels of MOC (Figure 1C) than POC (Figure 1B).

According to Bayer et al. (2004), 80% of the TOC is present in the MOC fraction, in agreement with the high correlation found between TOC and MOC in the present study ($r = 0.93$). MOC interacts strongly with soil minerals, being easily accumulated in the soil. Similar results were reported by Guimarães et al. (2012). The authors found that Latosol under Atlantic Forest had higher levels of MOC (9 g kg^{-1}) than POC (4 g kg^{-1}) at the 0–10 cm depth. Leaf litter probably contributed to nutrient cycling and the increase in organic matter content, favoring accumulation of carbon in the MOC fraction.

POXC and SA (Figure 1D and G, respectively) were inversely correlated ($r = -0.30$). Labile carbon consists of organic compounds that are easily mineralized by soil microfauna (Schimiguel et al., 2014). Therefore, areas with higher SA are those with the lowest oxidizable carbon content. GRSP-EF and SA, on the other hand, were positively correlated. Glomalin is a glycoprotein produced by mycorrhizal fungi; its levels in soil increase with the decomposition of spores and hyphae (Driver et al., 2005).

Similar distribution patterns were observed for basal area, richness, density, and H' (Figure 2), probably because these parameters are related. Areas with a high density of individuals typically have a greater presence of trees (basal area), richness, and, consequently, diversity. The low number of Fabaceae individuals in southwestern and eastern areas is due to the occurrence of *Brachiaria* sp. and bamboo (Figure 2). These invasive species prevent the establishment of native species at early stages of succession (Correia and Martins, 2015).

The density of tree individuals (Figure 2D) was lower than that of regenerating individuals (Figure 3B). Richness and H' were higher among tree individuals (Figure 2C and E) than among regenerating individuals (Figure 3A and C). Durigan et al. (2000) performed a phytosociological study in three vertical strata, upper stratum ($\text{DAB} \geq 5 \text{ cm}$), intermediate stratum ($1 \text{ cm} \leq \text{DAB} < 5 \text{ cm}$), and lower stratum ($\text{DAB} < 1 \text{ cm}$, minimum height of 10 cm), at the Caetetus Ecological Station, São Paulo, Brazil, and found a higher density of individuals in the lower ($28,875 \text{ ind ha}^{-1}$) and intermediate ($3,525 \text{ ind ha}^{-1}$) strata than in the upper stratum ($1,080 \text{ ind ha}^{-1}$). H' and basal area, however, were greater in the upper stratum (2.41 and $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectively) than in the intermediate (1.83 and $2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectively) and lower strata ($2.01 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

Figures 2 and 3 show that areas with the largest numbers of Fabaceae individuals had the highest values of richness, density, and H' , indicating that most individuals were of this family. Roppa et al. (2012) assessed the richness, diversity, and composition of the woody flora of an Atlantic Forest site under spontaneous regeneration and found a high occurrence of Fabaceae individuals, about 20% of the sampled species.

The prediction maps of phytosociological variables for regenerating individuals had similar patterns (Figure 3), corroborating the high correlations found between the variables. This result indicates that a single phytosociological variable can be used to assess the progress of restoration, such as richness, which is more easily determined, optimizing time and labor (Brançalion et al., 2015).

Areas with higher soil GRSP-EF (Figure 1F) had higher densities of tree (Figure 2D) and regenerating individuals (Figure 3B). These results demonstrate the close relationship between mycorrhizal fungi and plants. Glomalin contributes to soil quality, favoring plant development (Al-Kaisi et al., 2014; Qin et al., 2017). TOC, POC, MOC, and POXC distributions were correlated with those of basal area, richness, density, and H' of tree individuals, which is likely due to the high amounts of litterfall and soil cover (Bayer et al., 2000).

TOC showed a very high and positive correlation with MOC ($r = 0.93$; Table 2). This result shows that soil carbon occurs mainly in a recalcitrant form, indicating greater stability in the soil. GRSP-EF was highly correlated with nitrogen content ($r = 0.80$), as indicated by the similarity between their spatial distributions (Figure 1E and F). The correlation between GRSP-EF and POXC was moderate ($r = 0.68$). According to Fokom et al. (2012), glomalin is an important mode of storage of carbon and nitrogen in the soil; studies have shown that glomalin is positively correlated with carbon and nitrogen. Richness, density, and H' of tree individuals were highly to very highly correlated, as also observed for regenerating individuals. The number of Fabaceae tree and regenerating individuals had a moderate to low correlation with richness, density, and H' . This is probably because most tree species (40.21%) and regenerating individuals (21.88%) belonged to this family.

	Correlation coefficient																
	Soil attributes					Tree individuals							Regenerating individuals				
	TOC	POC	MOC	POXC	GRSP-EF	SA	N	h	G	S	D	H'	Fabaceae	S'	D'	H''	
POC	0.30																
MOC	0.93	-0.08															
POXC	0.27	0.56	0.07														
GRSP-EF	0.49	0.44	0.34	0.68													
SA	-0.16	-0.22	-0.08	-0.30	-0.27												
N	0.46	0.53	0.27	0.59	0.80	-0.22											
h	-0.01	0.31	-0.13	0.17	0.16	-0.47	0.14										
G	-0.19	0.47	-0.38	0.16	-0.01	-0.22	0.10	0.41									
S	0.14	0.29	0.04	0.00	0.05	-0.38	0.03	0.41	0.49								
D	0.19	0.29	0.09	0.02	0.18	-0.35	0.15	0.39	0.43	0.90							
H'	0.16	0.28	0.06	0.00	0.08	-0.38	0.05	0.48	0.48	0.96	0.85						
Fabaceae	0.12	0.40	-0.03	0.08	0.33	-0.22	0.32	0.36	0.30	0.47	0.57	0.47					
S'	0.00	0.12	-0.04	-0.09	-0.12	-0.26	-0.14	0.22	0.39	0.24	0.21	0.25	0.13				
D'	0.03	0.14	-0.03	-0.13	-0.14	-0.16	-0.21	0.22	0.48	0.35	0.42	0.33	0.18	0.78			
H''	0.04	0.00	0.04	-0.12	-0.11	-0.26	-0.16	0.14	0.23	0.21	0.20	0.22	0.15	0.96	0.72		
Fabaceae'	-0.22	0.33	-0.35	0.03	-0.03	-0.17	0.04	0.14	0.62	0.17	0.11	0.15	0.34	0.58	0.55	0.50	

Table 2. Pearson correlation matrix for soil and phytosociological indicators of ecological restoration in an Atlantic Forest site.

TOC, total organic carbon; POC, particulate organic carbon; MOC, mineral-associated organic carbon; POXC, permanganate oxidizable carbon; N, nitrogen; GRSP-EF, glomalin-related soil protein easily extractable fraction;

SA, arbuscular mycorrhizal fungal spore abundance; h, height; G, basal area; S, richness; D, density; H', Shannon–Wiener diversity index. *Results for regenerating individuals.

4 | CONCLUSION

The results of this study show that correlations between soil and phytosociological variables are high within each group but low or insignificant between groups. GRSP-EF was correlated with density of tree and regenerating individuals. TOC, POC, MOC, and POXC had spatial correlations with basal area, richness, density, and H' of tree individuals. The fact that phytosociological variables were highly correlated suggests that a single variable can be used to assess the progress of forest restoration.

Overall, soil and phytosociological indicators were not spatially correlated. Further studies should investigate the relationship between soil and phytosociological indicators in other areas for the monitoring of ecological restoration measures.

REFERENCES

- AL-KAISI, M. M.; DOUELLE, A.; KWAW-MENSAH, D. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 69, n. 6, p. 574-580, 2014.
- BAYER, C. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v. 53, p. 95-104, 2000.
- BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV; 2015.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CORREIA, G. G. S.; MARTINS, S. V. Banco de sementes do solo de floresta restaurada, Reserva Natural Vale, ES. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 79-87, 2015.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.
- DORMANN, C. E. Effects of incorporation spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 2, p. 129-138, 2007.
- DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.
- DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista brasileira de Botânica**, v. 23, n. 4, p. 371-383, 2000.

- FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, M. E. L.; TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil and Tillage Research**, v. 120, p. 69-75, 2012.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **MG volta a liderar ranking de desmatamento da mata Atlântica: Histórico do desmatamento**. São Paulo, SP: Fundação SOS Mata Atlântica, 2016.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2011-2012**. São Paulo, 2013.
- GERDERMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 169-177, 2005.
- GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- MENG, Q.; CIESZEWSKI, C.; MADDEN, M. Large area forest inventory using Landsat ETM+: A geostatistical approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 1, p. 27-36, 2009.
- MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 905-916, 2007.
- MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.
- QIN, H.; CHEN, J.; WU, Q.; NIU, L.; LI, Y.; LIANG, C.; SHEN, Y.; XU, Q. Intensive management decreases soil aggregation and changes the abundance and community compositions of arbuscular mycorrhizal fungi in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 246-255, 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. **geoR: a package for geostatistical analysis**. R NEWS, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, n. 4, p. 355-363, 2004.
- RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucaria angustifolia* e em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Revista Floresta**, v. 40, n. 2, p. 255-268, 2010.
- ROPPA, C.; VALCARCEL, R.; BAYLÃO JUNIOR, H. F. Avaliação da regeneração em ecossistemas perturbados como indicador da restauração em ambientes com marcada estacionalidade, Nova Iguaçu (RJ). **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 257-268, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus scyentifica**, v. 9, n. 1, p. 1-5, 2014.

SER (Society For Ecological Restoration International E Policy Working Group). **The SER International Primer on Ecological Restoration**. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, C. S.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; ASSUNÇÃO, S. A. Spatialization of fractions of organic matter in soil in an agroforestry system in the Atlantic Forest, Brazil. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 249-256, 2017.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service; 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais** (2. ed.). Porte Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

WEIL, R. R.; ISLAM, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 3-17, 2003.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, n. 1, 97-107. 1998.

YUN-QIANG, W.; XING-CHANG, Z.; JING-LI, Z.; SHUN-JI, L. Spatial variability of soil organic carbon in a Watershed on the Loess Plateau. **Pedosphere**, v. 19, n. 4, p. 486-495, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abundance 3, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 69, 72, 74, 75, 79, 80, 97, 110

Abundância 21, 70, 96, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 110

Análise de correlação 43

Análise multivariada 43, 45, 55

Arabidopsis thaliana 122, 123, 125, 126, 135, 136

B

Biomassa 57, 83, 99, 106, 138, 139, 140, 150, 151, 152

Bootstrapping 12, 15

C

Cana-de-açúcar 81, 138, 139, 140, 141, 142, 146, 147, 148

Cana energia 138, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148

Caryocar brasiliense 110, 111, 121

Chalcona 151, 152, 153, 159

Chemical variability 110

Classificação de habitats 56

Cobertura vegetal 21, 44

Computational programming 1

Crescimento 12, 36, 107, 125, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162

D

Dados da vegetação 1, 2

Desmatamento 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 80

Dominance 12, 13, 14, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 27, 97

Dominância 12, 21, 96, 98, 106, 107

Dominância de árvores 12

E

Ecologia do fogo 96

Elevação 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67

Estatística 2, 30, 31, 34, 38, 42, 43, 45, 53, 59, 142, 144, 145, 147, 153, 154, 155, 166

Estrutura da vegetação 21, 70, 96

Estrutura florestal 56

Ethephon 138, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149

Eucalyptus 150, 151, 152, 164, 165

Evapotranspiração 82, 83, 85, 86, 89, 90, 93, 94

Expressão diferencial 122, 124, 126, 127, 128, 133, 134, 135, 152

Extrapolação com base em amostras 12

F

Fatores bióticos e abióticos 56, 57
Flavonoids 112, 113, 114, 151, 165
Floresta secundaria 12
Forest planting 70
Forest regrowing 12
Forest restoration 13, 29, 70, 79

G

Geostatistics 70, 71, 74
Gradiente ambiental 43, 53, 56

I

Importance value index 20, 27, 28
Índice de valor de importância 21, 102
Insects 110, 111, 112

K

Kriging 56, 57, 69, 73, 75

M

Modelagem matemática 139

N

Naringenina 151

P

Pacote agrewater 82, 83, 89, 90, 93
Phytosociological characterization 70
Programação computacional 2
Propriedades do solo 43, 45, 46, 53

R

R. Análise exploratória 30
Rarefação 12
Regeneração florestal 12
Regeneração natural 96, 98, 107
Resiliência 96, 98, 106, 107
R language 1, 9, 22, 28, 123

S

Safer 82, 83, 85, 86, 88, 90
Sampled-based rarefaction and extrapolation 12

Savanização de florestas 96
Second-growth forests 12, 13
Shiny 30, 31, 32, 33, 37, 42, 133
Soil attributes 44, 55, 70, 71, 74
Soil nutrients 110, 111, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 120
Spatial variation 110, 113, 116, 117, 119, 121
Statistics 1, 8, 74, 80, 120

T

Transcriptômica de plantas 122
Tree dominance 12

V

Vegetation cover 7, 20
Vegetation data 1, 3, 8, 28
Vegetation structure 20, 21, 70

 **Atena**
Editora

2 0 2 0