Paubrasilia *VIII Simpósio Brasileiro de Restinga / II Workshop do PPBio Restinga Rede Beira-Mar*
5–8 nov 2025; Porto Seguro, BA: UFSB
doi: 10.33447/paubrasilia.2025s.e0206s 2025;8(Supl):e0206s

Influência do solo sobre a riqueza e composição em gradiente fitofisionômico de Restinga no Sudeste do Brasil

Soil influence on species richness and composition along a Restinga phytophysiognomic gradient in Southeastern Brazil

Thaísa Rodrigues da Silva[1], Tainá Jardim Antunes[1] & Luiz Fernando Silva Magnago[1]

1. Universidade Federal do Sul da Bahia, Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Laboratório de Ecologia Aplicada e Silvicultura, Itabuna, Bahia, Brasil

Palavras-chave:
Biodiversidade. Ecossistema costeiro. Fatores edáficos. Gradiente ambiental.

Keywords:
Biodiversity. Coastal ecosystem. Edaphic factors. Environmental gradient.

Recebido em: 21/09/2025
Aceito em: 26/10/2025

Editor responsável: Jaílson S. Novais (UFSB)

eISSN: 2595-6752

Resumo

O estudo investigou a influência de variáveis edáficas sobre a riqueza e composição de espécies em três fitofisionomias de Restinga no Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Os resultados demonstraram que as comunidades vegetais segregam-se ao longo de um gradiente ambiental. A riqueza de espécies correlacionou-se negativamente com a salinidade e positivamente com o teor de cálcio no solo. A floresta exibiu a maior riqueza, enquanto a halófila-psamófila, a menor, confirmando a hipótese de que a disponibilidade de nutrientes e a salinidade são fatores determinantes. A Análise de Redundância (RDA) explicou 32,9% da variação na composição florística, com o principal gradiente ambiental fortemente associado à salinidade e ao cálcio. Concluímos que a heterogeneidade do solo controla a estrutura das comunidades e a distribuição da vegetação nas áreas de Restinga, reforçando a importância do substrato na determinação dos padrões de biodiversidade nesses ecossistemas.

Abstract

The study investigated the influence of edaphic variables on species richness and composition across three phytophysiognomies of Restinga at the Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, Espírito Santo, Brazil. Results show that plant communities exhibit clear segregation along an environmental gradient. Species richness was negatively correlated with salinity and positively correlated with soil calcium content. The forest phytophysiognomy exhibited the highest richness, whereas the halophilous-psammophilous formation showed the lowest, supporting the hypothesis that nutrient availability and salinity are primary determinants. Redundancy Analysis (RDA) explained 32.9% of the variation in floristic composition, with the main environmental gradient strongly associated with salinity and calcium. We conclude that soil heterogeneity controls community structure and vegetation distribution in Restinga areas, underscoring the crucial role of soil properties in shaping biodiversity patterns in these ecosystems.

Introdução

A Restinga, no sentido ecológico, é um ecossistema associado à Mata Atlântica, constituído por formações vegetais que se desenvolvem sobre solos arenosos depositados a partir dos processos de regressão e transgressão marinha no período Quaternário (Suguio, 2010). A vegetação de restinga cobre a costa do Brasil de forma descontínua e organiza-se em diversas fitofisionomias, que variam de formações herbáceas até florestais, incluindo áreas alagadas e alagáveis. Esses gradientes vegetacionais, dispostos perpendicularmente à linha costeira, são fortemente moldados por fatores ambientais, especialmente pela influência marinha e características do solo

(Scarano, 2009; Magnago et al., 2010, 2013; Santos-Filho et al., 2013; Melo; Boeger, 2014).

Os solos das restingas, devido ao seu caráter arenoso, apresentam, em geral, baixa capacidade de retenção de água e escassez de nutrientes (Scarano, 2002). As comunidades vegetais que ocorrem na faixa mais próxima ao mar sobrevivem sob condições severas, impostas pelo *spray* salino, ventos intensos, alta incidência solar e aporte nutricional extremamente limitado. Sendo o teor nutricional dos solos um fator limitante ao número de espécies que podem coexistir, a diversidade tende a ser menor nessas fitofisionomias. Nesses ambientes, prevalecem plantas halófitas, caracterizadas pela tolerância a altas concentrações de sais e pelo hábito predominantemente herbáceo, como respostas adaptativas ao estresse ambiental (Ferreira de Melo Junior; Boeger, 2016).

À medida que se avança no gradiente em direção ao interior, a vegetação passa a retroalimentar o solo por meio da deposição de serrapilheira, que desempenha papel fundamental no aporte de nutrientes nesse ambiente (Paula et al., 2009). Além disso, os ventos contribuem para a entrada de nutrientes no ecossistema, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e ácidos húmicos. Essas condições possibilitam não apenas a coexistência de um maior número de espécies, mas também a modificação gradual da estrutura da vegetação. Observa-se um aumento progressivo na altura dos indivíduos, desde formações arbustivas, até florestais, ainda que o solo permaneça predominantemente arenoso (Pereira; Menezes, 2023; Souza et al., 2024).

Os estudos que avaliaram o papel das variáveis de solo sobre a diversidade e composição florística entre as distintas fitofisionomias de Restinga confirmam o controle pedológico e hidrológico sobre a estrutura da vegetação, diversidade e espécies típicas em cada fitofisionomia. Entre os fatores edáficos físico-químicos que favorecem ou restringem o estabelecimento das comunidades vegetais em Restinga, destacam-se os teores de sódio, matéria orgânica, oxigênio, fósforo, alumínio, além da textura do solo e a profundidade do lençol freático (Magnago et al., 2010; 2013; Santos-Filho et al., 2013; Melo; Boeger, 2014). Apesar de reconhecida a relação de variáveis abióticas com as comunidades de Restinga, a heterogeneidade edáfica observada entre regiões ao longo do litoral brasileiro – oriunda de diferenças regionais no clima, histórico geológico, entre outros fatores – evidencia lacunas no conhecimento dessas relações para muitos remanescentes (Pires et al., 2014).

Diante disso, buscamos entender a influência de variações físico-químicas dos solos sobre diferenças na riqueza e composição de espécies de três formações vegetacionais (herbácea, arbustiva e florestal) não inundáveis sobre o cordão arenoso de origem holocênica na Restinga do Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha-ES, Brasil. Nossas hipóteses consideram que (1) a composição florística variará entre as três fitofisionomias, sendo determinadas principalmente pelo gradiente de salinidade e disponibilidade de nutrientes, restringindo a ocorrência de espécies mais tolerantes ao estresse salino nas zonas mais próximas ao mar; (2) uma maior riqueza será positivamente influenciada pelos teores de matéria orgânica e nutrientes disponíveis no solo, que aumentarão progressivamente da fitofisionomia herbácea para a florestal.

Método

A área amostrada está inserida no Parque Natural Municipal de Jacarenema (PNMJ), localizado no distrito da Barra do Jucu, município de Vila Velha, ES (Figura 1), possui área de 307 ha, aproximadamente entre as coordenadas 20°26'25"S e 40°18'45"W (Ipema, 2005). O clima da região é classificado como Aw Tropical, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007), apresentando verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. As três formações vegetais estudadas ocorrem sobre solo do tipo Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2018) e desenvolvem-se de forma contínua ao longo do cordão arenoso holocênico, situado mais externamente ao continente (Martin et al., 1997).

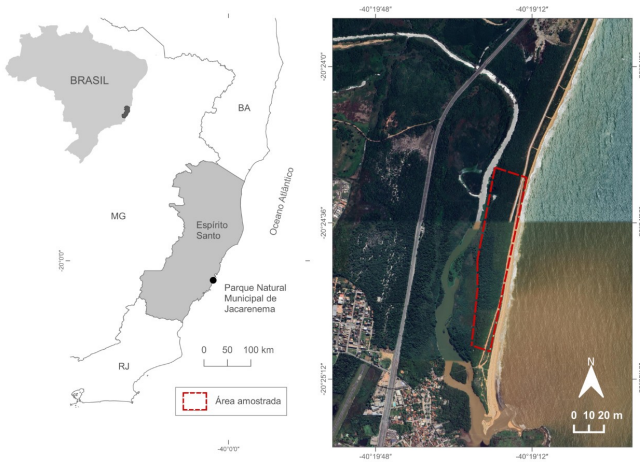


Figura 1. Restinga do Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil, com destaque para a área de amostragem de comunidades vegetais estabelecidas sobre o cordão arenoso holocênico.

Devido à distinção visual das formações vegetais, seu reconhecimento em campo foi feito pela análise dos critérios fisionômicos. Para determinação das fitofisionomias foram adaptadas as terminologias propostas por Pereira (2003), sendo: Herbácea não inundável (halófila-psamófila), Arbustiva fechada não inundável (pós-Praia) e Florestal não inundável (floresta).

A metodologia utilizada foi a de parcelas (Mueller-Dombois; Ellenberg, 1974), sendo alocadas 60 parcelas, 20 para cada fitofisionomia estudada. Devido às respectivas peculiaridades estruturais, cada fitofisionomia variou na dimensão das parcelas e no critério de inclusão de indivíduos. Na formação halófila-psamófila, as parcelas tiveram dimensões de 1m x 5m cada, totalizando 100m² de área total amostrada, sendo incluídos todos os indivíduos e formas de vida presentes na parcela. Na formação Pós-praia, as parcelas tiveram dimensões de 5m x 10m cada, totalizando 0,1 hectare de área amostral total, sendo incluídos os indivíduos arbustivos/arbóreos com diâmetro >1cm acima do solo (CAS). Na Floresta as parcelas tiveram dimensões de 5m x 25m cada, totalizando 0,25 hectares de área amostral total, sendo incluídos os indivíduos arbustivos/arbóreos com CAS >10cm. As espécies coletadas em estádio fértil foram depositadas no Herbário VIES e para a classificação das espécies e suas respectivas famílias utilizou-se o Angiosperm Phylogeny Group III (APG III, 2009).

Os solos foram analisados quimicamente e texturalmente. Para isso, foram feitas três coletas simples de solo superficial (0-10 cm) em cada parcela. As três coletas foram posteriormente homogeneizadas formando uma única amostra de solo por parcela, totalizando 60 amostras. As variáveis pedológicas analisadas foram pH, fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, alumínio, matéria orgânica, soma das bases, ISNa, areia grossa, areia fina, argila e silte. Para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) as amostras foram, após secas ao ar, peneiradas com malha de 2 mm de diâmetro, sendo posteriormente analisadas no Laboratório de Análise de Rotina de Solos no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Análises estatísticas

Para explorar as relações entre variáveis ambientais e identificar possíveis redundâncias, foi calculada a matriz de correlação entre os preditores contínuos utilizando o coeficiente de Pearson (r) com o pacote *corrgram* (Wright, 2021) no R. Valores absolutos superiores a 0,7 foram considerados indicativos de forte correlação (Dormann et al., 2013). Com base nesse critério, selecionou-se o conjunto final de preditores não correlacionados para as análises subsequentes: ISNa (Índice de Saturação por Sódio), Ca (concentração de cálcio, representando a fertilidade do solo), fração de areia grossa e fração de argila (componentes da textura do solo).

Para comparar a riqueza de espécies entre fitofisionomias, foram feitas análises de rarefação e extrapolação baseadas na abundância de espécies, estimadas para q = 0 (riqueza de espécies), utilizando o pacote *iNEXT* (Hsieh et al., 2016).

A relação entre a riqueza de espécies e variáveis ambientais selecionadas (ISNa, cálcio, argila e areia grossa) foi avaliada por meio de regressões polinomiais quadráticas, considerando a riqueza observada como variável dependente. Os modelos foram ajustados separadamente para cada variável ambiental, com distinção das fitofisionomias, e a significância das regressões foi avaliada pelo valor de p ($p < 0,05$).

Foi realizada uma Análise de Redundância (RDA) para avaliar a relação entre a composição de espécies e variáveis ambientais entre as fitofisionomias, utilizando o pacote *vegan* (Oksanen et al., 2022). Os dados de abundância foram transformados pelo método de Hellinger, e as variáveis ambientais não correlacionadas (ISNa, Ca, areia grossa e argila) foram incluídas como preditores. A significância do modelo e dos eixos canônicos foi testada por permutação com 999 repetições. A visualização foi realizada por meio de biplots, elaborados com o pacote *vegan* e refinados no *ggplot2* (Wickham, 2016).

As correlações entre as espécies e as variáveis ambientais foram avaliadas por meio do coeficiente de correlação de Spearman (rho). Consideramos valores de rho entre 0,4-0,6 como correlações moderadas, e valores acima de 0,6 como correlações fortes (Sokal; Rohlf, 1995; Zar, 2010).

A identificação de espécies indicadoras de cada fitofisionomia foi realizada por meio do Índice *IndVal* (*Indicator Value*) (Dufrêne; Legendre, 1997), que combina a fidelidade (presença consistente em um grupo) e a especificidade (abundância relativa em relação às demais). O valor do índice varia de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 indicam uma associação perfeita da espécie com determinado grupo. As análises foram conduzidas através do pacote *indicspecies* (Cáceres; Legendre, 2009), utilizando permutação com 999 repetições para testar a significância estatística.

Resultados

A riqueza total registrada foi de 50 espécies, considerando todas as amostragens realizadas nas três fitofisionomias. A floresta apresentou a maior riqueza observada, com 32 espécies (715 indivíduos), seguida pela pós-praia, com 26 espécies (521 indivíduos), enquanto a vegetação halófila-psamófila apresentou apenas 9 espécies (5333 indivíduos). As curvas de rarefação, acompanhadas pelos intervalos de confiança de 95%, indicaram suficiência amostral em todas as fitofisionomias (Figura 2), conforme os altos valores de cobertura da amostragem (SC > 0,99).

Na floresta, a curva de rarefação atingiu a assíntota coincidente com a riqueza observada de 32 espécies. O pós-praia apresentou padrão semelhante, cuja curva estabilizou-se próxima a 26 espécies e com maior amplitude nos intervalos de confiança, refletindo incerteza associada às espécies raras. Em contraste, a vegetação halófila-psamófila mostrou baixa riqueza e ausência de espécies raras, com curva estabilizada em nove espécies e cobertura total (SC = 1).

A riqueza de espécies apresentou relações fortes e significativas com a salinidade (ISNa), o cálcio e a argila. No gradiente de salinidade (Figura 3-a), observou-se efeito negativo acentuado ($F_{2,57} = 26,1$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,48$), com redução da riqueza em áreas com maiores concentrações de sal. Os pontos indicam que a floresta se concentrou em condições de baixa salinidade, associada a maior riqueza, enquanto a vegetação halófila-psamófila predominou em áreas de alta salinidade, com baixa riqueza. O pós-praia apresentou valores intermediários de ambos os fatores.

Para o cálcio (Figura 3-b), a relação foi significativa ($F_{2,57} = 10,4$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,27$), com incremento da riqueza até cerca de 1,0–1,5 cmolc/kg e estabilização em concentrações maiores. A floresta apresentou maior variação da riqueza em níveis mais elevados de cálcio, enquanto o pós-praia concentrou-se em valores intermediários, e a halófila-psamófila em níveis baixos, ambos com menor riqueza.

No caso da argila (Figura 3-c), a relação foi mais fraca, mas significativa ($F_{2,57} = 3,46$; $p = 0,038$; $R^2 = 0,11$). A riqueza aumentou em baixos teores de argila, mas tendeu a declinar em concentrações mais altas. A floresta apresentou a maior riqueza ao longo de todo o gradiente, enquanto o pós-praia ocupou posição intermediária e a vegetação halófila-psamófila manteve valores baixos independentemente da variação da argila.

A Análise de Redundância (RDA) indicou que as variáveis ambientais explicaram uma proporção substancial da variação na composição de espécies. O modelo total explicou 44,7% da variância, dos quais 32,9% foram atribuídos ao componente restrito (variáveis ambientais), enquanto 40,8% permaneceram não explicados. O primeiro eixo canônico (RDA1) respondeu por 80,1% da variância explicada, refletindo o principal gradiente ambiental, seguido pelo RDA2, com 16,8% (Figura 4).

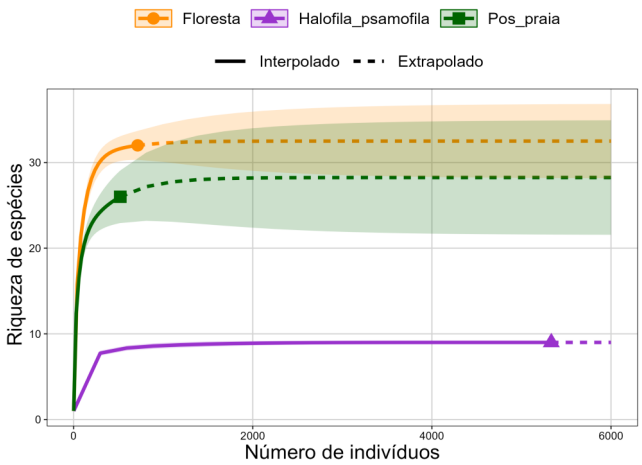


Figura 2. Curvas de rarefação (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) baseadas em indivíduos, com intervalos de confiança de 95%, para cada fitofisionomia de restinga, considerando a riqueza de espécies de plantas amostradas sobre cordão arenoso holocênico no Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil.

O gradiente representado pelo RDA1 esteve fortemente associado à salinidade (ISNa, em direção negativa) e ao cálcio (Ca, em direção positiva), enquanto o RDA2 esteve relacionado principalmente às frações texturais de areia grossa (negativamente) e argila (positivamente).

A distribuição das fitofisionomias mostrou padrões nítidos no diagrama. As parcelas de floresta se agruparam no quadrante associado a maior fertilidade e solos argilosos. O pós-praia ocupou posição intermediária no espaço canônico, indicando transição em relação às variáveis edáficas. Já a vegetação halófila-psamófila ficou claramente segregada em direção à salinidade, indicando reunir espécies adaptadas a condições extremas.

Foram identificadas correlações moderadas a fortes de 20 espécies com a salinidade (ISNa; Tabela 1). A espécie *Protium heptaphyllum* apresentou a correlação mais forte e negativa com a salinidade (*rho* = −0,83), seguida por *Alternanthera marítima* e *Panicum racemosum* em contraste, com correlação positiva (*rho* = 0,80, para ambas).

O teor de argila mostrou correlação positiva moderada com 10 espécies, principalmente *Psidium macaensis* (*rho* = 0,49) e *Cynophalla flexuosa* (*rho* = 0,48), e relação negativa moderada com *Panicum racemosum* (*rho* = −0,47), *Alternathera maritima* (*rho* = −0,45) e *Blutaparon portulacoides* (*rho* = −0,44). A fração de areia grossa apresentou correlação moderada com somente três espécies, sendo positivamente com *Eugenia ilhensis* (*rho* = 0,50) e *Monteverdia obtusifolia* (*rho* = 0,49) e negativamente com *Heisteria perianthomega* (*rho* = −0,41). O cálcio (Ca) mostrou correlações moderadas e fortes com seis espécies, principalmente com *Panicum racemosum* (*rho* = -0,74) e *Alternanthera maritima* (*rho* = -0,71), negativamente, e positivamente somente com *Protium heptaphyllum* e *Cynophalla flexuosa* (*rho* = 0,54, para ambas).

A análise de espécies indicadoras evidenciou associações claras entre espécies e fitofisionomias (Tabela 2). Das 50 espécies avaliadas, 35 apresentaram associação significativa com pelo menos uma formação (*IndVal* ≥ 0,50 e $p \leq 0,05$). A maioria dessas espécies (32) esteve associada a apenas uma fitofisionomia, enquanto três espécies mostraram associação compartilhada entre floresta e pós-praia.

Na floresta, 15 espécies apresentaram associação significativa, com destaque para *Monteverdia obtusifolia* e *Eugenia ilhensis* (*IndVal* = 0,92; p = 0,001), seguidas por *Eugenia rostrata* (*IndVal* = 0,78; p = 0,001) e *Zolernia glabra* (*IndVal* = 0,76; p = 0,001). Na halófila-psamófila, oito espécies foram indicadoras, incluindo *Alternanthera maritima* e *Panicum racemosum* (*IndVal* = 1,0; p = 0,001), e *Ipomoea pes-caprae*, *Stenotaphrum secundatum* e *Blutaparon portulacoides* (*IndVal* ≥ 0,92; p = 0,001). Na formação pós-praia, nove espécies se destacaram, com *Cynophalla flexuosa* (*IndVal* = 0,94; p = 0,001), *Psidium macaensis* e *Guapira pernambucensis* (*IndVal* ≥ 0,92; p = 0,001) como principais indicadoras. Além disso, três espécies apresentaram associação compartilhada entre Floresta e pós-praia, principalmente *Protium heptaphyllum* (*IndVal* = 0,95; p = 0,001).

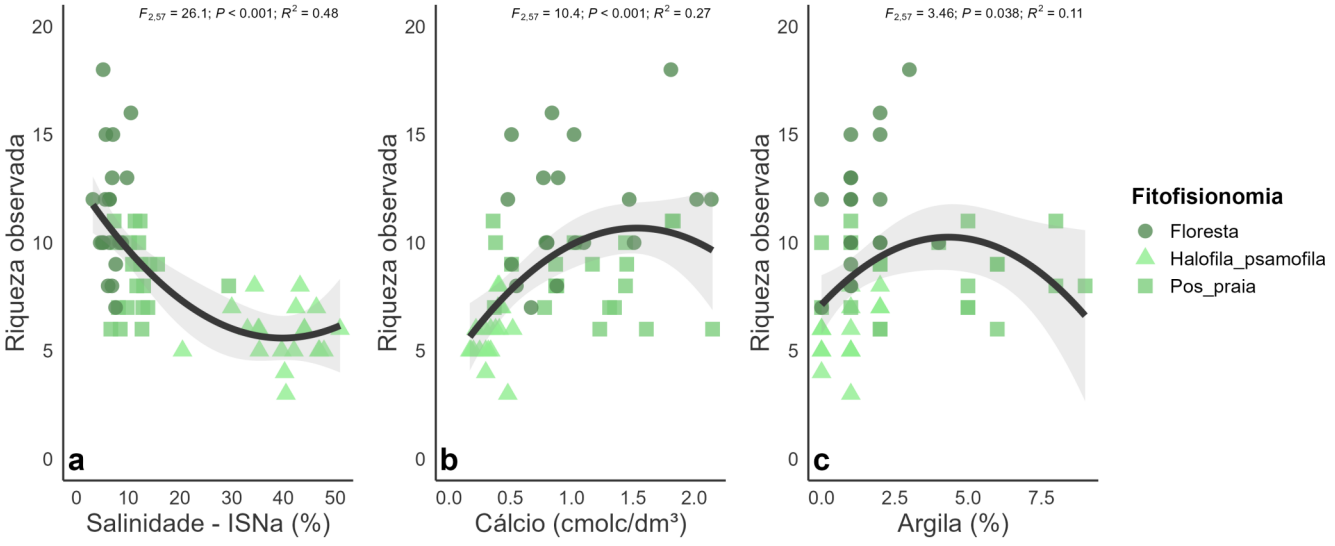


Figura 3. Curvas de regressão da riqueza de espécies de plantas em função das variáveis edáficas: (a) salinidade (ISNa); (b) cálcio; e (c) argila, em três fitofisionomias de restinga sobre cordão arenoso holocênico no Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil.

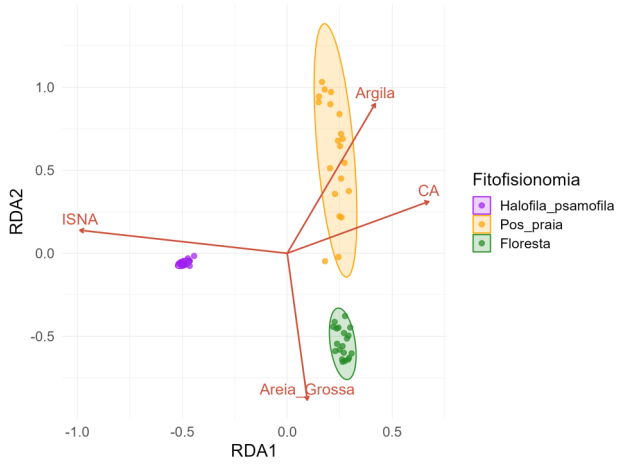


Figura 4. Diagrama de ordenação da Análise de Redundância (RDA) mostrando a relação entre a composição de espécies vegetais e variáveis edáficas em três fitofisionomias de restinga sobre cordão arenoso holocênico no Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil. As elipses representam intervalos de confiança de 95% para cada fitofisionomia, e as setas indicam a direção e a intensidade da correlação das variáveis ambientais (ISNa = salinidade; Ca = cálcio; Argila; Areia grossa).

Discussão

A riqueza e a composição de espécies nas fitofisionomias da Restinga do PNMJ mostraram-se fortemente influenciadas por variáveis edáficas, confirmando as hipóteses de que a composição florística varia entre as formações e que a riqueza está positivamente correlacionada com a disponibilidade de nutrientes no solo. A segregação clara das comunidades vegetais ao longo do gradiente ambiental reflete o controle pedológico sobre a estrutura das comunidades. A relação negativa entre a riqueza de espécies e a salinidade corrobora a primeira hipótese do estudo, indicando que a ocorrência de espécies mais tolerantes a estresses salinos está restrita a áreas próximas ao mar.

A vegetação halófila-psamófila, localizada na faixa mais externa da restinga, mostrou-se claramente segregada e predominou em áreas de alta salinidade e baixa riqueza. Esse padrão é consistente com o conhecimento sobre comunidades vegetais que sobrevivem em condições ambientais severas, como o *spray* salino e a alta incidência solar, que limitam o aporte nutricional e, consequentemente, a diversidade de espécies (Flowers; Colmer, 2008; Munns; Tester, 2008). Em contraste, a riqueza de espécies apresentou uma relação positiva com o teor de cálcio no solo, um nutriente essencial para o desenvolvimento vegetal (Taiz et al., 2015). A Floresta, que apresentou a maior riqueza, concentrou-se em condições de baixa salinidade e altos níveis de cálcio e argila, indicando um ambiente mais favorável à coexistência de um maior número de espécies. Isso reforça a segunda hipótese, de que a maior riqueza é positivamente influenciada por teores de nutrientes, que progressivamente aumentam da fitofisionomia herbácea para a florestal. Embora a relação com a argila tenha sido mais fraca, ela também foi significativa, com a riqueza aumentando em baixos teores e declinando em concentrações mais altas, sugerindo que a textura do solo também é um fator determinante para a composição florística.

Esses resultados indicam que, mesmo em um gradiente contínuo, as comunidades vegetais se organizam em resposta a fatores abióticos específicos, resultando em padrões de composição e riqueza distintos (Scarano, 2002). Em ambientes extremos, a filtragem ambiental predomina sobre a competição, permitindo apenas a persistência de espécies adaptadas a tais condições, resultando em comunidades de baixa riqueza, mas com alta dominância, como encontramos na fitofisionomia halófila-psamófila. Espécies como *Alternanthera maritima*, *Panicum racemosum* e *Ipomoea pes-caprae* exemplificam essas adaptações, demonstrando tolerância ao estresse salino e eficiência na exploração de recursos limitados.

Ressalta-se que as comunidades amostradas ocorrem sobre cordão holocênico, mais recente em termos de tempo geológico (formados há cerca de 5.000 anos) e em formações não inundáveis de restinga, cuja predominância de areia (mesmo nas florestas) é maior em relação a outras formações alagadas ou alagáveis (Britez, 2005; Guedes et al., 2006). A teoria ecológica clássica pode ser utilizada para interpretar como comunidades formadas sobre substratos recentes e limitantes (em nosso estudo, cordão holocênico arenoso, pobre em nutrientes) são fortemente influenciadas por filtros abióticos na organização da vegetação. Nesse contexto, os padrões observados de segregação florística ao longo do gradiente de salinidade e nutrientes estão de acordo com a teoria do nicho (Hutchinson, 1957), segundo a qual a distribuição das espécies é delimitada por suas tolerâncias a múltiplos fatores ambientais.

De forma complementar, a clássica análise de gradientes proposta por Whittaker (1967) evidencia que, mesmo em ambientes aparentemente homogêneos, fatores edáficos específicos estruturam a composição e a riqueza das comunidades. Além disso, a alta dominância de poucas espécies tolerantes ao estresse na halófila-psamófila e a maior diversidade registrada na floresta refletem as estratégias adaptativas descritas por Grime (1977), em que espécies estresse-tolerantes predominam em condições limitantes, enquanto competidoras prosperam em ambientes mais férteis. Esses resultados, portanto, alinham-se a predições teóricas fundamentais da ecologia, ressaltando o papel central da heterogeneidade ambiental na determinação dos padrões de biodiversidade em formações de restingas não inundáveis.

No contexto da crise climática global, a heterogeneidade ambiental do ecossistema restinga encontra-se gravemente ameaçada. As atividades humanas têm modificado os padrões naturais de dinâmica costeira, cujas consequências ainda não estão totalmente esclarecidas (Vousdoukas et al., 2020; Saengsupavanich et al., 2024). Ao demonstrar que o gradiente de salinidade atua como modulador crucial das comunidades vegetais, este estudo evidencia a necessidade de estratégias de conservação que conservem a variabilidade ambiental e fortaleçam a resiliência dos ecossistemas costeiros. Projeções de aumento do nível do mar e alterações na distribuição do *spray* salino (Du; Hesp, 2020) indicam que áreas atualmente menos salinas podem experimentar incremento na salinidade, o que poderá impactar significativamente espécies sensíveis e comprometer a estrutura e a diversidade das fitofisionomias internas de vegetações litorâneas globalmente (Du; Hesp, 2020; Mazhar et al., 2022). Dessa forma, a manutenção de processos naturais e a proteção da heterogeneidade ambiental

Tabela 1. Correlações de Spearman (rho) entre espécies vegetais e variáveis edáficas (ISNa = Índice de Saturação de Sódio; Ca = cálcio; argila; e areia grossa) em três fitofisionomias (halófila-psamófila, pós-praia e floresta) sobre cordão arenoso holocênico do Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil.

Variável edáfica	Família	Espécie	*rho*
ISNa	Burseraceae	*Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand	-0,83
	Amaranthaceae	*Alternanthera maritima* Mart.	0,80
	Poaceae	*Panicum racemosum* (P.Beauv.) Spreng.	0,80
	Poaceae	*Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze	0,72
	Convolvulaceae	*Ipomoea pes-caprae* (L.) R.Br.	0,71
	Amaranthaceae	*Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears	0,70
	Celastraceae	*Monteverdia obtusifolia* (Mart.) Biral	-0,67
	Myrtaceae	*Eugenia ilhensis* O.Berg	-0,68
	Fabaceae	*Zollernia glabra* (Spreng.) Yakovlev	-0,66
	Myrtaceae	*Eugenia rostrata* O.Berg	-0,61
	Myrtaceae	*Myrcia lundiana* Kiaersk.	-0,48
	Primulaceae	*Myrsine umbellata* Mart.	-0,45
	Sapindaceae	*Cupania emarginata* Cambess.	-0,44
	Sapotaceae	*Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard	-0,44
	Cactaceae	*Cereus fernambucensis* Lem.	0,42
	Annonaceae	*Annona acutiflora* Mart.	-0,42
	Myrtaceae	*Myrcia bergiana* O.Berg	-0,41
	Erythroxylaceae	*Erytroxylum hamigerum* O.E.Schulz	-0,41
	Convolvulaceae	*Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb.	0,41
	Apocynaceae	*Aspidosperma parvifolium* A.DC.	-0,40
Argila	Myrtaceae	*Psidium macahense O.Berg*	0,49
	Nyctaginaceae	*Guapira pernambucensis* (Casar.) Lundell	0,49
	Erythropalaceae	*Heisteria perianthomega* (Vell.) Sleumer	0,48
	Capparaceae	*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl	0,48
	Poaceae	*Panicum racemosum* (P.Beauv.) Spreng.	-0,47
	Amaranthaceae	*Alternanthera maritima* Mart.	-0,45
	Erythroxylaceae	*Erythroxylum hamigerum* O.E.Schulz	0,45
	Amaranthaceae	*Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears	-0,44
	Malvaceae	*Pavonia alnifolia* A.St.-Hil.	0,43
	Clusiaceae	*Garcinia brasiliensis* Mart.	0,42
Areia grossa	Myrtaceae	*Eugenia ilhensis* O.Berg	0,50
	Celastraceae	*Monteverdia obtusifolia* (Mart.) Biral	0,49
	Erythropalaceae	*Heisteria perianthomega* (Vell.) Sleumer	-0,41
Ca	Poaceae	*Panicum racemosum* (P.Beauv.) Spreng.	-0,74
	Amaranthaceae	*Alternanthera maritima* Mart.	-0,71
	Amaranthaceae	*Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears	-0,65
	Poaceae	*Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze	-0,64
	Burseraceae	*Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand	0,54
	Capparaceae	*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl	0,54

Tabela 2. Espécies indicadoras de cada fitofisionomia de restinga sobre cordão arenoso holocênico no Parque Natural Municipal de Jacarenema, Vila Velha, ES, Brasil, obtidas pela análise IndVal. Foram considerados apenas os valores significativos ($p<0,05$).

Fitofisionomia	Família	Espécie	IndVal	*p*-valor
Floresta	Celastraceae	*Monteverdia obtusifolia* (Mart.) Biral	0,92	0,001
	Myrtaceae	*Eugenia ilhensis* O.Berg	0,92	0,001
	Myrtaceae	*Eugenia rostrata* O.Berg	0,78	0,001
	Fabaceae	*Zollernia glabra* (Spreng.) Yakovlev	0,76	0,001
	Erythroxylaceae	*Erythroxylum hamigerum* O.E.Schulz	0,71	0,001
	Primulaceae	*Myrsine umbellata* Mart.	0,71	0,001
	Myrtaceae	*Myrcia lundiana* Kiaersk.	0,67	0,001
	Myrtaceae	*Myrcia bergiana* O.Berg	0,63	0,001
	Myrtaceae	*Gomidesia martiana* O.Berg	0,61	0,001
	Apocynaceae	*Aspidosperma parvifolium* A.DC.	0,59	0,003
	Nyctaginaceae	*Guapira opposita* (Vell.) Reitz	0,54	0,005
	Myrtaceae	*Eugenia* sp.	0,55	0,002
	Annonaceae	*Annona acutiflora* Mart.	0,53	0,004
	Sapindaceae	*Cupania emarginata* Cambess.	0,50	0,008
	Myrtaceae	*Marlierea neuwiediana* (O.Berg) Nied.	0,46	0,039
Halófila-psamófila	Amaranthaceae	*Alternanthera maritima* Mart.	1	0,001
	Poaceae	*Panicum racemosum* (P.Beauv.) Spreng.	1	0,001
	Amaranthaceae	*Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears	0,92	0,001
	Convolvulaceae	*Ipomoea pes-caprae* (L.) R.Br.	0,92	0,001
	Poaceae	*Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze	0,92	0,001
	Cactaceae	*Cereus fernambucensis* Lem.	0,67	0,001
	Convolvulaceae	*Ipomoea imperati* (Vahl) Griseb.	0,59	0,003
	Commelinaceae	*Commelina benghalensis* L.	0,50	0,01
Pós-praia	Capparaceae	*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl	0,94	0,001
	Myrtaceae	*Psidium macahense O.Berg*	0,92	0,001
	Nyctaginaceae	*Guapira pernambucensis* (Casar.) Lundell	0,92	0,001
	Sapotaceae	*Manilkara triflora* (Allemão) Monach	0,78	0,001
	Erythroxylaceae	*Erythroxylum hamigerum* O.E.Schulz	0,74	0,001
	Erythropalaceae	*Heisteria perianthomega* (Vell.) Sleumer	0,71	0,001
	Anacardiaceae	*Schinus terebinthifolius* Raddi	0,59	0,001
	Malvaceae	*Pavonia alnifolia* A.St.-Hil.	0,59	0,002
	Clusiaceae	*Garcinia brasiliensis* Mart.	0,47	0,028
Floresta+Pós-praia	Burseraceae	*Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand	0,95	0,001
	Sapotaceae	*Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard	0,63	0,004
	Lauraceae	*Ocotea notata* (Nees & Mart.) Mez	0,55	0,021

natural emergem como elementos centrais para a conservação da biodiversidade e do funcionamento desses ecossistemas costeiros.

Conclusão

A riqueza e a composição de espécies nas fitofisionomias de restinga no Parque Natural Municipal de Jacarenema são moldadas por fatores edáficos. A clara segregação das comunidades vegetais ao longo de gradientes de salinidade e nutrientes, evidencia a forte influência do substrato na estruturação do ecossistema.

Os resultados obtidos reforçam a relevância da heterogeneidade do solo como um fator determinante para a biodiversidade em ambientes costeiros, confirmando a nossa hipótese de que a disponibilidade de recursos e as condições abióticas severas controlam a distribuição e a diversidade das espécies. A Floresta, com sua maior riqueza em áreas de maior teor de nutrientes e menor salinidade, e a halófila-psamófila, adaptada a condições de estresse, representam os extremos desse gradiente pedológico.

Sugere-se que pesquisas futuras ampliem o escopo, incluindo análises de estrutura da vegetação, fatores históricos, além de expandir o estudo para outros remanescentes e fitofisionomias existentes na restinga, a fim de avançar no conhecimento da dinâmica e da conservação desses ecossistemas complexos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Iniciação Científica concedida à Thaísa Rodrigues da Silva (182005/2024-0) e pela bolsa de produtividade (441250/2023-8) concedida a Luiz Fernando Silva Magnago; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela bolsa de doutorado concedida a Tainá Jardim Antunes (BOL0067/2024).

Contribuições de Autoria

Conceitualização: LFSM, TJA. Curadoria de dados: LFSM, TJA, TRS. Análise formal: TJA, LFSM. Aquisição de financiamento: LFSM. Investigação: LFSM, TJA, TRS. Metodologia: LFSM, TJA. Administração do projeto: LFSM. Supervisão: LFSM. Validação: LFSM. Redação - rascunho original: TJA, TRS. Redação - revisão e edição: TJA, TRS, LFSM.

Conflito de Interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse a informar.

Disponibilidade dos Dados

Os dados integrais analisados durante o estudo atual podem ser fornecidos mediante solicitação justificada à autora para correspondência.

Conformidade Ética

Não se aplica.

Referências

Almeida Jr EB, Olivo MA, Araujo EL, Zickel CS. Caracterização da vegetação de restinga da RPPN de Maracaípe, Pernambuco, com base na fisionomia, flora, nutrientes do solo e lençol freático. Acta Bot Bras 2009;23:36-48.

Araujo DSD. Restingas: síntese dos conhecimentos para a costa sul e sudeste brasileira. In: Anais do 54º Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira; 1987; São Paulo. p. 333-7.

Araujo DSD, Henriques RPB. Análise florística das restingas do estado do Rio de Janeiro. In: Lacerda LD, Araújo DSD, Cerqueira R, Turcq B, editors. Restingas: Origem, Estrutura, Processos. Niterói: Universidade Federal Fluminense, CEUFF; 1984. p. 159-93.

APG III (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Bot J Linn Soc 2009;161:105-21.

Cáceres MD, Legendre P. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. Ecology 2009;90 (12):3566-74.

Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. Ecography 2013;36(1):27–46.

Dufrêne M, Legendre P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. Ecol Monogr 1997;67(3):345-66.

Du J, Hesp PA. Salt spray distribution and its impact on vegetation zonation on coastal dunes: a review. Estuaries Coasts 2020;43 (8):18851907.

Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5nd ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2018.

Fabris LC. Composição florística e fitossociológica de uma faixa de floresta arenosa litorânea do Parque Estadual de Setiba, Município de Guarapari, ES [dissertação]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista; 1995.

Grime JP. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. Am Nat 1977;111(982):1169-94.

Ferreira de Melo Junior JC, Torres Boeger MR. Leaf traits and plastic potential of plant species in a light-edaphic gradient from restinga in southern Brazil. Acta Biol Colomb 2016;21(1):51-62.

Flowers TJ, Colmer TD. Salinity tolerance in halophytes. New Phytol 2008;179(4):945-63.

Gomes FH, Vidal-Torrado P, Macías F, Gherard B, Perez XLO. Solos sob vegetação de restinga na ilha do Cardoso (SP), I – caracterização e classificação. Rev Bras Ciênc Solo 2007;31:1563-80.

IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Estruturas Territoriais. Malha Municipal Digital (MMD) da Divisão Político Administrativa Brasileira; 2022.

Guedes D, Barbosa LM, Martins SE. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no município de Bertioga, SP, Brasil. Acta Bot Bras 2006;20(2):299-311.

Ipema (Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica). Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo: cobertura florestal e unidades de conservação. Vitória: Ipema; 2005.

Hutchinson GE. Concluding remarks. Cold Spring Harb Symp Quant Biol 1957;22:415-27

Magnago LFS, Martins SV, Schaefer CEG, Neri AV. Gradiente fitofisionômico-edáfico em formações florestais de Restinga no Sudeste do Brasil. Acta Bot Bras 2010;24:734-46.

Magnago LFS, Martins SV, Schaefer CEGR, Neri AV. Structure and diversity of restingas along a flood gradient in southeastern Brazil. Acta Bot Bras 2013;27:801-9.

Martin L, Suguio K, Dominguez JML, Flexor J-M. Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Belo Horizonte: CPRM/FAPESP; 1997.

Mazhar S, Pellegrini E, Contin M, Bravo C, De Nobili M. Impacts of salinization caused by sea level rise on the biological processes of coastal soils—a review. Front Environ Sci 2022;10:909415.

Melo JCF, Boeger MRT. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. Hoehnea 2015;42(2):207-32.

Menezes LFT, Araujo DSD. Estrutura de duas formações vegetais no cordão externo da Restinga da Marambaia, RJ. Acta Bot Bras 1999;13(2):223-35.

Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. Annu Rev Plant Biol 2008;59:651-81.

Paula RR, Pereira MG, Menezes LFT. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na ilha da Marambaia, RJ. Ciênc Florest 2009;19(2):139-48.

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol Earth Syst Sci 2007;11(5):1633-44.

Pereira OJ, Menezes LFT. Restinga no Espírito Santo: vegetação, flora e distribuição geográfica das espécies. Belo Horizonte: Rupestre; 2023.

Pires GG, et al. Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. Cerne 2014;20(1):97-104.

Scarano FR. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rainforest. Ann Bot 2002;90(4):517-24.

Saengsupavanich C, Agarwala N, Magdalena I, Ratnayake AS, Ferren V. Impacts of a growing population on the coastal environment of the Bay of Bengal. Anthropocene Coasts 2024;7 (1):24.

Scarano FR. Plant communities at the periphery of the Atlantic rain forest: rare-species bias and its risks for conservation. Biol Conserv 2009;142(6):1201-8.

Sokal RR, Rohlf FJ. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd ed. New York: W.H. Freeman; 1995.

Souza V, Sampaio D, Toledo CP, Flores TB, Dalla Colletta G. Guia das plantas das dunas e restingas. LPE; 2025.

Suguio K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Oficina de Textos; 2010.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Plant physiology and development. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates; 2015.

Vousdoukas MI, Ranasinghe R, Mentaschi L, Plomaritis TA, Athanasiou P, Luijendijk A, et al. Sandy coastlines under threat of erosion. Nat Clim Chang 2020;10(3):2603.

Whittaker RH. Gradient analysis of vegetation. Biol Rev Camb Philos Soc 1967;42(2):207-64.

Zar JH. Biostatistical Analysis. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall/Pearson; 2010.

Como citar este artigo

How to cite this article

(ABNT)

SILVA, T. R.; ANTUNES, T. J.; MAGNAGO, L. F. S. Influência do solo sobre a riqueza e composição em gradiente fitofisionômico de Restinga no Sudeste do Brasil. **Paubrasilia**, Porto Seguro, v. 8, n. supl., e206s, 2025. DOI: 10.33447/paubrasilia.2025s.e0206s.

(Vancouver)

Silva TR, Antunes TJ, Magnago LFS. Influência do solo sobre a riqueza e composição em gradiente fitofisionômico de Restinga no Sudeste do Brasil. Paubrasilia 2025;8(Supl):e206s. doi:10.33447/ paubrasilia.2025s.e0206s.