

## ORGANISMOS

---

### **Eduardo Carvalho da Silva Neto**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

### **Marcos Gervasio Pereira**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia – Ciência do Solo, Professor Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

### **Tatiana Dias Gaudi**

Engenheira Florestal, Mestra em Ciências de Florestas Tropicais, Universidade de Brasília, Brasília

### **Daniel Costa de Carvalho**

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Ambientais e Florestais, Professor Adjunto da Universidade de Brasília, Brasília

### **Sandra Santana de Lima**

Bióloga, Doutora em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

### **Vinicius Costa Cysneiros**

Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, Santa Catarina

### 4.1 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores ativos de formação do solo, os organismos se destacam como condicionantes para a pedogênese. O fator organismos inclui o efeito da flora (vegetação), da fauna e das atividades humanas na formação do solo. Os solos fornecem uma imensa variedade de habitats e contêm uma vasta e ainda pouco conhecida biodiversidade (FAO, 2020). A flora e a fauna, incluindo a espécie humana, constituem o fator biótico na formação do solo. Desde os primórdios do estudo da ciência do solo, os organismos são reconhecidos como importante fator de formação do solo (DARWIN, 1881; JENNY, 1941) e se destacam como condicionantes para a pedogênese - a ação dos organismos no material de origem representa a diferença entre os processos de pedogênese e intemperismo (BUOL *et al.*, 2011). Os solos são um dos principais reservatórios globais de biodiversidade: mais de 40% dos organismos vivos nos

ecossistemas terrestres estão associados, durante o seu ciclo de vida, diretamente com os solos (DECAËNS *et al.*, 2006).

Os organismos assumem função essencial também na potencialidade agrícola dos solos, pois interferem na fertilidade destes, através da ciclagem de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica do solo; melhoram a estrutura e, em consequência, o armazenamento de água e a sua permeabilidade no solo; e atuam na remediação de contaminantes (FAO, 2020; SOARES *et al.*, 2021). Porém, sua contribuição segue ainda subvalorizada pela sociedade em geral e, apesar do importante papel dos organismos na formação e na saúde do solo, pouca atenção tem sido dada aos processos essenciais desempenhados por eles. Um solo saudável, com alta biodiversidade, fornece diversos serviços ecossistêmicos, essenciais para a vida humana (FAO, 2020).

A quantidade e diversidade de organismos – vegetais e animais – varia de acordo com as condições ambientais, incluindo os demais fatores de formação e os próprios atributos do solo. Considerando a ampla variação de características geológicas, geomorfológicas e climáticas do estado do Rio de Janeiro, observa-se uma grande diversidade de formações vegetais e outros organismos com influência direta na pedogênese. A seguir, é apresentado e discutido o papel do fator organismos nos solos do estado do Rio de Janeiro.

## 4.2 FLORA

### 4.2.1 Vegetação

O estado do Rio de Janeiro está totalmente inserido no domínio do Bioma Mata Atlântica, um dos ecossistemas mais biodiversos e ameaçados do planeta, considerado um dos *hotspots* mundiais para conservação (MYERS, 2000; MITTERMEIER *et al.*, 2005). O histórico de alteração da cobertura original do solo em decorrência do crescimento urbano e para fins agrícolas, em especial para o cultivo de café, dizimou parte da cobertura de vegetação original do estado, restando apenas fragmentos protegidos nas encostas mais íngremes e topos de morros. O estado do Rio de Janeiro possui uma área total de 4.378.156ha, e, em 2018, foram reportados aproximadamente 1,3 milhões de hectares de florestas naturais, que correspondem a cerca de 31% do território do estado, caracterizadas principalmente por florestas secundárias fragmentadas (Figura 43). Contudo, o Rio de Janeiro ainda resguarda importantes remanescentes de vegetação de diferentes fitofisionomias que compõem a Mata Atlântica, como os Campos de Altitude, Mangues e Restingas. A flora do estado do Rio de Janeiro é reconhecida como uma das mais ricas do país e o estado é tido como um importante centro de endemismo (COELHO *et al.*, 2017), concentrando em seu território aproximadamente 25% da flora brasileira, sendo

2,5% espécies endêmicas do estado (SEA, 2018).

As formações vegetais que recobrem o território fluminense variam de acordo com os fatores edáficos, geomorfológicos e climáticos. A ampla variação altitudinal presente no estado é determinante na diversidade de fitofisionomias, que vão desde manguezais e restingas ao nível do mar nas planícies costeiras e fluviais do estado, até os campos de altitude na faixa de 2.000 metros do nível do mar, no maciço das Agulhas Negras, Serra da Mantiqueira. Além da variação altitudinal, o distanciamento da região costeira com influência marinha para o interior do estado também evidencia diferenças florísticas e estruturais na vegetação. A paisagem do estado do Rio de Janeiro é marcada por um gradiente ambiental que, além de proporcionar a formação de diversos tipos de vegetação e habitats associados (COELHO *et al.*, 2017), também é determinante na diversidade e complexidade estrutural das comunidades de plantas (SCARANO, 2002).

Na cobertura de vegetação do estado do Rio de Janeiro, podem ser reconhecidas sete fitofisionomias do domínio da Mata Atlântica e suas faciações. Essas fitofisionomias se apresentam desde formações campestres, rupícolas e herbáceas, arbustivas, a formações florestais. As florestas são as formações mais representativas no estado e correspondem a aproximadamente 96% da cobertura vegetal do território fluminense. A principal tipologia florestal do estado é a Floresta Ombrófila Densa (FOD), que representa aproximadamente 69% das florestas estaduais; seguida pela Floresta Estacional Semidecidual (FES), com aproximadamente 27% da cobertura florestal. As demais tipologias que compõem a cobertura florestal do estado são as Florestas de Restinga (FR) (2%), os Mangues (1%) e a Floresta Estacional Decidual (FED) (1%).



Figura 43. Cobertura de vegetação remanescente no estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As Florestas Ombrófilas Densas, principal fitofisionomia do estado, ocorrem ao longo de todo o território, predominantemente nas encostas úmidas da Serra do Mar. Essas florestas são caracterizadas pela elevada precipitação, bem distribuída durante todo o ano (IBGE, 2012). Em um terceiro nível categórico, as FOD são classificadas de acordo com a cota altitudinal em que estão localizadas (IBGE, 2012). No estado do Rio de Janeiro, são reconhecidas as Florestas Ombrófilas Densas de terras baixas (< 50 m), submontanas (50 - 500 m), montanas (500 - 1.500 m) e alto-montanas (> 1.500 m). Essa variação altitudinal apresenta distintas condições climáticas, ordens e profundidades dos solos, que condicionam diferenças na estrutura e na composição de espécies desses subtipos de vegetação. Vale mencionar que as Florestas Ombrófilas Densas Aluviais não estão condicionadas topograficamente e se apresentam sempre em ambientes homogêneos, nos terraços aluviais suscetíveis a inundação no período de cheias, pela proximidade aos rios. Essa fitofisionomia também apresenta uma faciação denominada de Caixetal, devido à monodominância da espécie arbórea *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (caixeta), inserida na “Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção” (MMA, 2014). Existem, ainda, nas cotas montanas e alto-montanas do estado, fragmentos de uma faciação das Florestas Ombrófilas, denominada de Floresta Ombrófila Mista, com presença de espécies relictuais, indicadoras de ambientes com climas mais amenos no passado, como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Drimys brasiliensis* Miers e *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.

As FOD, de maneira geral, são caracterizadas por florestas estratificadas, com alta densidade de indivíduos arbóreos que compõem o dossel, além de árvores emergentes de grande porte como *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake e *Virola gardneri* (A.DC.) Warb. Algumas outras formas de vida também podem ser consideradas indicadoras dessa fitofisionomia florestal, como os xaxins (*Cyathea* spp. – Cyatheaceae; *Dicksonia sellowiana* Hook. - Dicksoniaceae) e o palmito-jussara (*Euterpe edulis* (Mart.) - Arecaceae). As famílias botânicas mais importantes em riqueza de espécies arbóreas nessa fitofisionomia florestal são: Fabaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Myrtaceae e Rubiaceae (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000).

Os estratos abaixo do dossel também apresentam elevada densidade de outras formas de vida, como arvoretas, arbustos, palmeiras, ervas, bromélias, lianas, pteridófitas, briófitas, fungos e epífitas de diversos grupos de plantas. A diversidade e abundância de lianas lenhosas e plantas epífitas, como bromélias e orquídeas, também são características dessa fitofisionomia, porém a presença destas varia de acordo com o grau de antropização e umidade do fragmento florestal. Em geral, quanto mais conservado o fragmento, maior será a sua densidade e diversidade de plantas epífitas. Em função da alta densidade e



diversidade de plantas, o solo dessa formação florestal é frequentemente coberto por uma camada espessa e heterogênea de serapilheira.

Devido à melhor fertilidade dos solos e à disponibilidade hídrica, em condições naturais, as Florestas Ombrófilas abrigam uma ampla diversidade de fauna e flora e possuem grande interesse para conservação (Figura 44). A maior parte dos remanescentes de FOD do estado do Rio de Janeiro encontra-se preservada em Unidades de Conservação (UCs). Algumas dessas UCs que preservam importantes remanescentes dessa cobertura florestal são o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Parque Nacional do Itatiaia, Parque Estadual dos Três Picos e a Reserva Biológica do Tinguá, entre outras. A Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande, no sudoeste do estado do Rio de Janeiro, preserva a maior cobertura florestal dessa fitofisionomia, com destaque para o município de Paraty, que possui 90% do território coberto por florestas, seguido por Angra dos Reis (86%) e Mangaratiba (83%) (SFB, 2018).



Figura 44. Aspecto geral da Floresta Ombrófila Densa no Parque Estadual do Mendanha, estado do Rio de Janeiro.

Foto: Tatiana Dias Gaudi (Acervo Pessoal).

Inseridas nas regiões de domínio da FOD, ocorrem fitofisionomias menos representativas no estado do Rio de Janeiro, como os Campos de Altitude. Mesmo apresentando reduzida cobertura no território estadual, possuem grande relevância biológica, com a presença de muitas espécies raras e endêmicas (VASCONCELOS, 2011). Essa fitofisionomia está localizada nos pontos mais elevados das montanhas,

geralmente acima de 1.500 m de altitude (Figura 45). No estado, os Campos de Altitude ocorrem de forma pontual, principalmente na região centro-sul serrana - Serras do Mar e da Mantiqueira, acima das formações de FOD Montana e Alto-montana (BENITES *et al.*, 2007; VASCONCELOS, 2011).

Os Campos de Altitude são formados por um conjunto de comunidades vegetais predominantemente herbáceo-arbustivas (Figura 45) que variam em função do relevo, microclima, profundidade do solo e natureza do substrato (BENITES *et al.*, 2007; VASCONCELOS, 2011). Essa vegetação apresenta uma ampla variedade de fisionomias, desde áreas abertas cobertas por gramíneas e outras espécies herbáceas, a habitats com adensamento de arbustos e pequenas árvores, e ainda com ou sem a associação com afloramentos rochosos. A vegetação graminóide-herbácea é frequentemente associada aos solos com predomínio de material orgânico em superfície, localizados nas depressões de relevo e com drenagem impedida pelo contato com a rocha, incluindo Organossolos, como no Parque Nacional de Itatiaia (SOARES *et al.*, 2016). Já as formações arbustivo-arbóreo são observadas geralmente em solos moderadamente drenados nas vertentes e escarpas topográficas com trechos de afloramentos de rocha. Entremeadada nos Campos de Altitude, ocorre uma vegetação esparsa preponderantemente herbácea rupícola e extremamente adaptada, que coloniza e se estabelece diretamente sobre as rochas expostas (VASCONCELOS, 2011).



Figura 45. Aspecto geral dos Campos de Altitude no Parque Nacional do Itatiaia, estado do Rio de Janeiro.

Foto: Tatiana Dias Gaudi (Acervo Pessoal).

As Florestas Estacionais Semidecíduais (FES), segunda maior fitofisionomia florestal presente na cobertura do estado do Rio de Janeiro, caracterizam-se pela deciduidade foliar de 50% das árvores no período de estiagem (IBGE, 2012) (Figura 46). Essas florestas ocorrem principalmente na região noroeste do estado, onde apresentam uma clara distinção das FOD. Os fragmentos dessa tipologia florestal também são encontrados nas vertentes mais secas das montanhas da região centro-sul do estado, denominada de “Mares de Morros”, inseridas na bacia do Rio Paraíba do Sul. Nessa região, a transição das Florestas Ombrófilas para as Estacionais é menos evidente, formando áreas de contato de difícil distinção entre essas florestas.

Assim como nas FOD, a FES também é classificada de acordo com a cota altitudinal (IBGE, 2012). Essas duas fitofisionomias ocorrem sobre as mesmas classes de solos, porém sob regimes climáticos distintos (MORELLATO e HADDAD, 2000) e se diferenciam principalmente pela sazonalidade da precipitação (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000; MEDEIROS *et al.*, 2016). Enquanto as Florestas Ombrófilas ocupam áreas com chuvas regulares ao longo do ano, as Florestas Estacionais Semidecíduais ocorrem em locais que apresentam uma estação seca bem definida. Essas diferenças ambientais ocasionam na distinção da composição de espécies entre esses tipos de floresta (OLIVEIRA-FILHO e FONTES, 2000). Contudo, as Florestas Estacionais e Ombrófilas apresentam muitos elementos florísticos compartilhados e similaridade em sua estrutura florestal (estratos, densidade e formas de vida). Entretanto, a abundância de espécies decíduas e de indivíduos da família botânica Fabaceae ganham destaque nas FES, como *Anadenanthera colubrina* (Vell.), *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. e *Plathymenia reticulata* Benth.

Outra faciação de Floresta Estacional que ocorre na costa leste do estado do Rio de Janeiro é a Floresta Estacional Decidual (FED) (Figura 47). A área de abrangência dessa fitofisionomia no estado está condicionada ao regime climático sazonal (estação seca bem definida), em locais submetidos a menos de 1.300 mm de precipitação pluviométrica anual (ver capítulo clima).





Figura 46. Aspecto geral da Floresta Estacional Semidecidual na Área de Proteção Ambiental de Miracema, região noroeste do estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Tatiana Dias Gaudi (Acervo Pessoal).



Figura 47. Aspecto geral da Floresta Estacional Decidual na Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro.

Foto: Tatiana Dias Gaudi (Acervo Pessoal).

No estado do Rio de Janeiro, os fragmentos de FED ocorrem pontualmente sobre as colinas e morros da baixada litorânea na Região dos Lagos (ver Capítulo Relevância, 2.2.1). Devido à forte sazonalidade climática e a presença de solos com menor capacidade de armazenamento de água, a vegetação apresenta decíduidade foliar de mais de 50% dos indivíduos arbóreos/arbustivos na época de estiagem (DANTAS *et al.*, 2009; IBGE, 2012).

A FED fluminense compõe um mosaico de vegetação xeromórfica com estrutura e composição florística semelhantes a outras fitofisionomias adjacentes, como as FES e, principalmente, as Restingas (DANTAS *et al.*, 2009). O estrato superior da FED varia de 6 m em Neossolos Litólicos até 15 m em solos argilosos e profundos, sendo formado predominantemente pela alta densidade de espécies arbóreas decíduais, com caules finos, perfilhados, e com espinhos ou acúleos (DANTAS *et al.*, 2009). Algumas espécies arbóreas e de cactos presentes no estrato superior são indicadoras dessa fitofisionomia, como *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz, *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H. C. Lima & G. P. Lewis e *Pilosocereus ulei* (K. Schum.) Byles & G. D. Rowley. Já o estrato inferior geralmente é descontínuo, apresentando uma densidade variável de espécies de cactos, bromélias, palmeiras e lianas. Devido à deciduidade estacional da vegetação, a serapilheira que recobre os solos das FED é geralmente escassa e heterogênea, o que resulta em menor adição de material orgânico ao solo.

De maneira geral, as FED no estado do Rio de Janeiro encontram-se fragmentadas e descaracterizadas, devido ao elevado grau de antropização. Alguns fragmentos dessa tipologia florestal estão inseridos em Unidades de Conservação, como a Área de Proteção Ambiental da Serra de Sapiatiba, no município de São Pedro da Aldeia. Ao extremo leste do estado – nos municípios de Armação dos Búzios, Arraial do Cabo e Cabo Frio -, as altas temperaturas, incidência de ventos constantes e a baixa umidade (ver capítulo Clima) favorecem a ocorrência de uma vegetação extremamente seca, com aspectos estruturais e florísticos típicos da Savana Estépica (IBGE, 2012). Por essas razões, alguns autores consideram esse tipo de vegetação como encraves de Caatinga fluminense (DANTAS *et al.*, 2009). Entretanto, a terminologia de classificação dessa vegetação ainda é discutida na literatura (ARAÚJO, 2000; PENNINGTON *et al.*, 2004; SÁ, 2006; DANTAS *et al.*, 2009).

Na região costeira do estado, sobre as planícies arenosas com influência marinha, são observados diversos tipos de vegetação de Restinga. Essas formações vegetais ocorrem nas praias, cordões arenosos, depressões entre-cordões, dunas e margens de lagoas (IBGE, 2012). As Restingas ocorrem em todo litoral do estado do Rio de Janeiro de forma descontínua, entretanto, trechos mais representativos são observados na Restinga da Marambaia, Restinga de Jurubatiba, Região dos Lagos e Nordeste fluminense.

As formações vegetais das Restingas são consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da condição do substrato que do clima (SCARANO, 2002; ROCHA; SCARANO, 2004; MENEZES *et al.*, 2005). Nesses ambientes, reside um mosaico de vegetação adaptada às condições ambientais mais restritivas. Os diferentes tipos de vegetação que ocorrem nas restingas fluminenses variam desde formações herbáceas a arbustivas - abertas ou fechadas - e florestas, cujo dossel varia em altura, geralmente não ultrapassando os 20 m (Figura 48). Em formações de restinga arbustiva e florestada, podem ser encontrados cerca de 2.000 a 4.000 indivíduos por hectare (SÁ e ARAÚJO, 2009), a maior densidade de indivíduos dentre as fitofisionomias do estado. As diferenças

estruturais e florísticas das fisionomias de Restinga ocorrem, basicamente, em função da proximidade do mar, influência da salinidade, das características físicas e químicas dos solos e, ainda, da periodicidade de inundação (ROCHA; SCARANO, 2004; MENEZES *et al.*, 2005; S A e ARAÚJO, 2009; ASSIS *et al.*, 2011; MAGNAGO *et al.*, 2013).

No geral, as formações vegetais de Restinga apresentam um aspecto xerom rfico com ervas, arbustos e árvores com folhas coriáceas e cerosas. As espécies com hábitos arbustivos e arbóreos apresentam troncos muito ramificados e tortuosos, copas ralas e deformadas devido à abrasão das partículas arenosas e salinas carregadas pelos ventos intensos (ARAÚJO *et al.*, 2004; MENEZES; ARAÚJO, 2005; IBGE, 2012). Quanto aos aspectos edáficos, o acúmulo e decomposição de serapilheira variam conforme a fitofisionomia de restinga (PEREIRA *et al.*, 2012; CAMARA *et al.*, 2018). Em Florestas de Restinga, a serapilheira é mais espessa e heterogênea (PEREIRA *et al.*, 2012; CAMARA *et al.*, 2018), enquanto nas formações arbustivas-herbáceas, que ocorrem de forma esparsa, a serrapilheira se concentra nas moitas de vegetação (CARVALHO *et al.*, 2014). Devido ao predomínio de solos arenosos - Neossolos Quartzarênicos - e   composição do material vegetal mais resistente   transformação, as taxas de decomposição da serapilheira desses ambientes, em geral, são lentas.



Figura 48. Aspecto geral do mosaico de vegeta o de Restinga sobre os cordões arenosos no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, estado do Rio de Janeiro.

Foto: Tom Adnet Moura (Acervo Pessoal).

Outra importante formação vegetal costeira do estado do Rio de Janeiro é o Manguezal, que ocupa as regiões estuarinas litorâneas com influência fluvio-marinha (BERNINI e REZENDE, 2004; IBGE, 2012; ICMBIO, 2018). Essa formação vegetal está associada a outras fitofisionomias litorâneas que ocorrem no estado, como as Restingas e Florestas Ombrófilas Densas das Terras Baixas e Aluviais (BERNINI e REZENDE, 2004;



IBGE, 2012; ICMBIO, 2018). No estado do Rio de Janeiro, os Manguezais ocorrem de forma descontínua, entretanto, as áreas mais extensas são observadas na foz do Rio Paraíba do Sul e nas baías de Guanabara, de Sepetiba e de Angra dos Reis (BERNINI e REZENDE, 2004).

O substrato encontrado nos manguezais é formado a partir do depósito de sedimentos fluviais, marinhos e lagunares, em geral mais argilosos, com material de origem mineral e proporções variáveis de materiais orgânicos, que se decompõem lentamente em contato com a água salina e o ambiente com reduzida aeração. A escassa serapilheira que recobre o solo dessa fitofisionomia é homogênea e composta por folhiço de uma ou duas espécies arbóreas, em geral. Os solos estão frequentemente saturados por água, com inundações periódicas e sob a influência diária da oscilação das marés, o que favorece o estado de fluidez, ou seja, baixa ou nenhuma coesão entre as partículas do solo. Em decorrência do ambiente de formação, são pobres em oxigênio livre, que é quase que totalmente retirado por bactérias que o utilizam para decompor a matéria orgânica. Com a baixa disponibilidade do oxigênio nos solos do mangue, as bactérias utilizam-se também do enxofre para o processo de decomposição da matéria orgânica, com a consequente produção de compostos ricos em enxofre, que irão influenciar na formação de solos, como os Gleissolos Tiomórficos (SOARES, 1999; BERNINI e REZENDE, 2004).

Devido às peculiaridades dos substratos nesses ambientes, as espécies que se estabelecem nos manguezais são extremamente adaptadas (Figura 49). A vegetação é composta por indivíduos arbóreos e constituída basicamente por quatro espécies *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *A. germinans* (L.) L., *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn. e *Rhizophora mangle* L. A densidade dessa vegetação é alta, varia entre 450 a 3.400 troncos ha<sup>-1</sup> e a estrutura do dossel, no geral, é homogênea (BERNINI e REZENDE, 2004). As espécies vegetais são predominantemente halófilas – que se adaptam às águas salinas e salobras – e pneumatóforas – com raízes aéreas e escoras – que se encontram acima das águas responsáveis pelas trocas gasosas dos vegetais. As raízes aéreas das plantas ajudam a diminuir a velocidade do curso das águas e das ondas, diminuindo, assim, os impactos sobre os solos e contendo processos erosivos. Além disso, essas raízes e demais formas de vegetação ajudam a conter e filtrar os sedimentos das águas que chegam nos manguezais (SOARES, 1999; BERNINI e REZENDE, 2004).

As formações vegetais que predominam na região costeira do estado do Rio de Janeiro, Restingas e Manguezais, são protegidas por lei como Áreas de Preservação Permanente (APP). No entanto, essas coberturas de vegetação são as mais suscetíveis à degradação no território fluminense, devido ao estabelecimento histórico dos núcleos urbanos, como na cidade do Rio de Janeiro, à implantação de pólos industriais, como na Baía de Sepetiba e a Refinaria Duque de Caxias (Reduc), na Baía de Guanabara, e outros mais recentes. Ainda, pode-se citar a intensa especulação imobiliária nas praias litorâneas, as ocupações urbanas irregulares e a poluição e contaminação ambiental

desse frágil ambiente costeiro que são os manguezais. Apesar dos esforços dos órgãos ambientais estaduais e de organizações não governamentais em preservar e monitorar a cobertura de vegetação remanescente, essas formações vegetacionais costeiras ainda sofrem intenso processo de degradação, em especial na região da Baía de Guanabara e, mais recentemente, na Baía de Sepetiba.



Figura 49. Aspecto geral do Manguezal na Baía de Guanabara, estado do Rio de Janeiro.

Foto: Tatiana Dias Gaudi (Acervo Pessoal).

Assim como a vegetação costeira, os Campos de Altitude e as Florestas Alto-montanas (acima de 1500-2000 m de altitude), nas Serras do Mar e Mantiqueira do estado do Rio de Janeiro, também são Áreas de Preservação Permanente). Essas áreas, em geral, também se encontram inseridas em Unidades de Conservação, assim como grande parte da cobertura florestal remanescente do estado. Devido à relevância ecológica das formações vegetais da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, em especial o seu papel na produção de água, a exemplo da Floresta da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro, e a aptidão para o eco-turismo, são prioritárias ações e políticas públicas voltadas para conservação e uso sustentável desses recursos naturais.

#### 4.3 FAUNA

A fauna do solo é composta por invertebrados que vivem permanentemente ou que passam um ou mais ciclos de vida no solo (AQUINO, 2005). Entre eles, estão microrganismos (fungos e bactérias) e seres invertebrados (protozoários, ácaros e insetos, entre outros) que atuam através de interações sinérgicas e antagônicas. Como resultado de sua atividade, esses organismos influenciam em diversos processos do solo, operando

em diferentes escalas de tempo e espaço. Processos biológicos que são importantes para a manutenção da vida no planeta ocorrem no solo, tais como: a decomposição da matéria orgânica e a produção de húmus; a ciclagem de nutrientes; o controle biológico de patógenos; a melhoria da estrutura do solo com a formação de agregados; a produção de metabólitos diversos, entre os quais antibióticos e ácidos orgânicos; a remediação de contaminantes; e os fluxos de gases do solo para a atmosfera - todos esses serviços afetando a produção de alimentos e a vida humana (MOREIRA *et al.*, 2013; FAO, 2020).

Existem várias formas de classificar a fauna do solo. Uma das mais utilizadas pelos pesquisadores é a proposta por Swift *et al.* (1979), em que os organismos são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente, pelo seu tamanho, em: microfauna (0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (Figura 50). Microrganismos, incluindo bactérias, fungos (20 nm a 10 µm) e microfauna, como protozoários e nematóides do solo (10 µm a 0,1 mm), vivem principalmente na solução do solo e participam da decomposição da matéria orgânica, bem como no intemperismo de minerais no solo. A sua diversidade depende das condições dos micro-habitats e das propriedades físicas e químicas dos horizontes ou camadas do solo.

A mesofauna (0,1 mm a 2 mm) consiste em microartrópodes do solo (ácaros, colêmbolos, enquitreídeos, pequenas larvas de insetos, entre outros). Eles vivem em cavidades do solo cheias de ar e formam microagregados, aumentando a superfície de interações bioquímicas ativas no solo. Também participam da transformação da matéria orgânica. A macrofauna (2 mm a 20 mm) é composta por grandes invertebrados do solo (por exemplo, minhocas, formigas, cupins, besouros, aracnídeos etc.). A megafauna (organismos maiores que 20 mm) são os vertebrados (mamália, répteis e anfíbios). Esses diferentes organismos criam heterogeneidade espacial na superfície do solo e ao longo do perfil através de sua movimentação, além de criar nichos para outros organismos do solo nas cavidades criadas pela megafauna.

Entre os grupos que compõem a macrofauna, as minhocas, térmitas e formigas são capazes de movimentar-se eficientemente no solo, produzindo estruturas organominerais e formando uma grande variedade de tipos e tamanhos de poros. Assim, influenciam outros processos do solo, como a agregação e a estruturação, sendo denominados, por isso, como “engenheiros do ecossistema” (LAVELLE, 1996). As ações desses engenheiros podem afetar profundamente as características do solo, assim como no hábitat, tanto para os microrganismos e plantas, como para outros animais.

A seguir, serão descritos alguns dos principais processos envolvendo indivíduos da fauna do solo e as características dos grupos mais frequentes associados a tais processos.

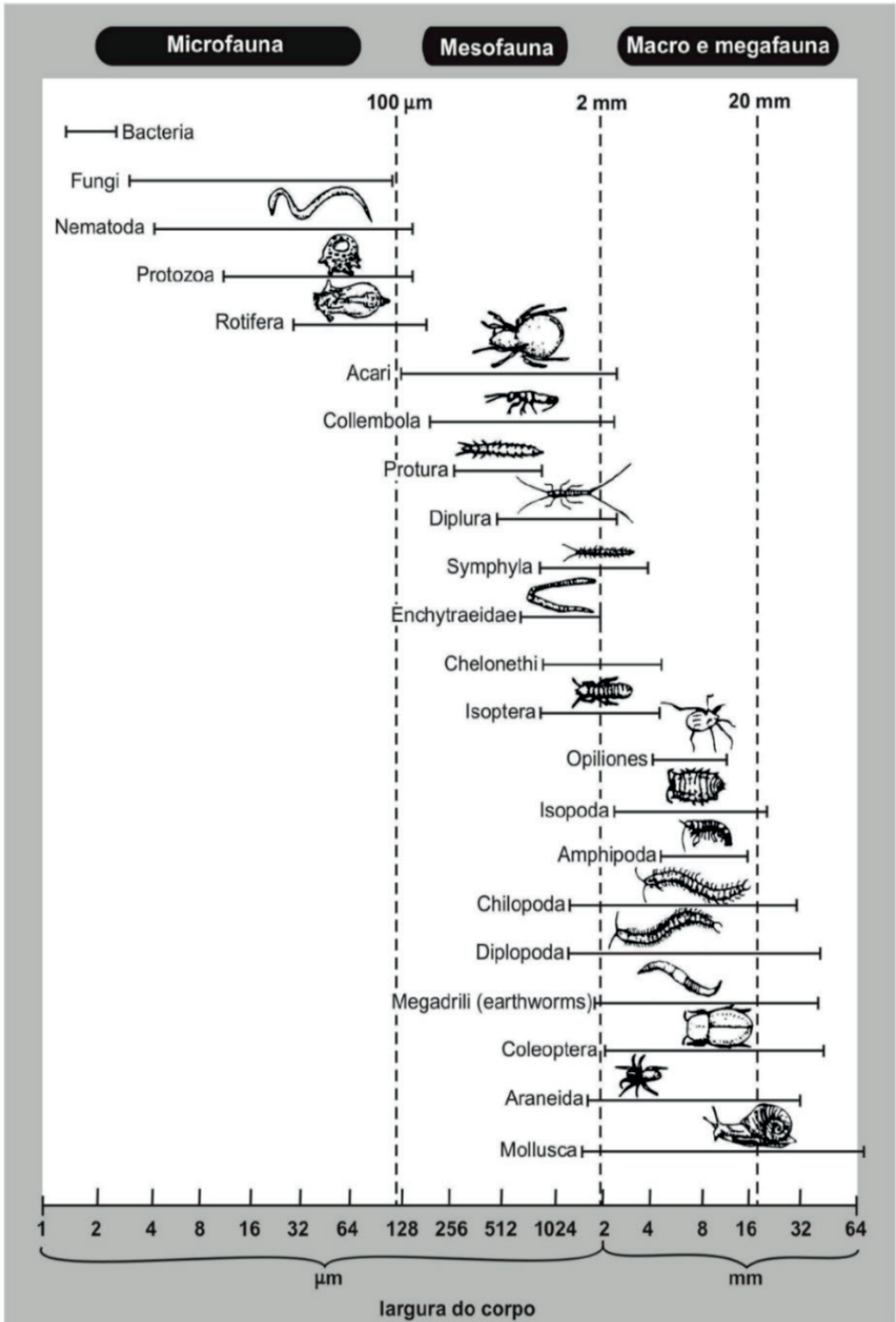


Figura 50. Distribuição dos organismos do solo de acordo com o tamanho corporal.

Modificada por Costa (2004) a partir de Swift *et al.* (1979).

### 4.3.1 Ciclagem de nutrientes

Os solos são o principal reservatório terrestre de carbono orgânico e nutrientes. Esse reservatório inclui os macronutrientes, aqueles que as plantas necessitam em grande quantidade, e os micronutrientes, que são exigidos em menores quantidades (Fe, Mn, Bo, Mo, Cu, Zn, Cl, Ni, S e Co). A ciclagem de nutrientes refere-se à transformação de elementos químicos contidos na fração mineral do solo e na matéria orgânica em moléculas ou compostos simples que são assimiláveis por plantas e outros organismos (FAO, 2020). Todos os organismos do solo contribuem para a ciclagem de nutrientes através de vários processos físicos (fragmentação da serapilheira, bioturbação e transporte de partículas no solo) e químicos (decomposição da matéria orgânica, transformação de moléculas por um grande número de enzimas). Até mesmo a absorção de nutrientes, necessária para o crescimento das plantas, contribui para a ciclagem, além de aumentar a quantidade de biomassa vegetal adicionada de volta ao solo. A biomassa vegetal (resíduos de folhas, galhos e raízes) constitui a principal fonte de nutrientes para as próprias plantas e para os organismos do solo. No total, 80 a 90% da produção primária é adicionada no sistema subterrâneo (no solo) por meio de detritos (BARDGETT, 2005; COLEMAN *et al.*, 2018).

O fluxo de energia e nutrientes dentro de um ecossistema ocorre em diversas escalas e níveis tróficos. O funcionamento correto das cadeias alimentares é altamente dependente da ciclagem de nutrientes, e os microrganismos do solo são os principais motores dessa renovação de substâncias e ciclos biogeoquímicos. Além de seu papel como decompositores primários, os microrganismos do solo são responsáveis por transformações mais específicas dos nutrientes, que incluem as transformações do nitrogênio e do enxofre, a mineralização e a solubilização do fósforo, a oxidação, a redução e a precipitação do ferro e do manganês, entre outras. Através de associações simbióticas (bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e micorrizas), microorganismos do solo atuam também aumentando a eficiência na aquisição de nutrientes pelas plantas (COSTA, 2004). Bactérias fixadoras de nitrogênio simbióticas e de vida livre (não simbióticas), encontradas na maioria dos solos (não antropizados), podem converter nitrogênio atmosférico em amônia, que posteriormente será convertido em nitrato pelos organismos nitrificadores, tornando-se prontamente assimilado (MOREIRA *et al.*, 2013). Fungos saprófitos são reconhecidos por suas habilidades de impulsionar a fixação de nitrogênio e a mobilização de fósforo, dois processos fundamentais para sustentar a produtividade das plantas. As associações micorrízicas entre plantas e fungos alteram as propriedades biológicas, físicas e químicas da rizosfera, contribuindo para a ciclagem de nutrientes.

As associações micorrízicas entre plantas e fungos alteram as propriedades biológicas, físicas e químicas da rizosfera, contribuindo para a ciclagem de nutrientes. (Figura 51).





Figura 51. Fungos saprófitos atuando na decomposição da matéria orgânica.

Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

Embora os microrganismos sejam responsáveis pela degradação bioquímica da matéria orgânica, a meso e macrofauna também atuam na ciclagem de nutrientes (Figura 52). As minhocas, ao ingerirem grandes quantidades de solo e matéria orgânica, contribuem de forma indireta para a atividade de bactérias e fungos. Essa intensa atividade de escavação e alimentação pode transformar profundamente o ambiente circundante, resultando em mudanças marcantes na biodiversidade do solo e funções associadas.





Figura 52. Organismos do solo e ciclagem de nutrientes.

Fotos: Eduardo Carvallho da Silva Neto.

A atividade dos cupins no solo, além de sua ação direta na construção de complexas estruturas (cupinzeiros ou termiteiros), também aumenta a atividade microbiana e a liberação de nutrientes como o N na forma de amônio e nitrato. Os solos manejados por esses “engenheiros” são frequentemente enriquecidos com partículas finas (argilas), bem como a matéria orgânica do solo e cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$ ), em comparação com o solo circundante. Estudos realizados no estado do Rio de Janeiro corroboram a importância dos cupins nesse processo. Lima *et al.* (2018) estudaram cupinzeiros em uma área do *campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), verificando maiores

teores de nutrientes nos cupinzeiros, em comparação ao solo adjacente, especialmente para o fósforo (P). Esses autores ainda observaram diferenças nas substâncias húmicas, especificamente no carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF). Resultados semelhantes foram observados por Pinheiro *et al.* (2013), em termiteiros em ambiente de Mar de Morros no município de Pinheiral RJ, para amostras coletadas na estação da primavera. Porém, houve variação sazonal, em que no verão, outono e inverno foi verificado decréscimo dos valores de C-FAF na seção que forma os ninhos, sendo esses valores iguais aos observados no solo adjacente nas estações do verão e inverno.

Em outro estudo, também no município de Pinheiral (RJ), avaliando cupinzeiros construídos pela espécie *Cornitermes cumulans* (Figura 53), Lima *et al.* (2018) constataram maior porcentagem de argila, distribuída uniformemente em todo o termiteiro, e maiores teores de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  e  $K^{+}$ , em comparação ao solo adjacente. Adicionalmente, esses autores concluem que os térmitas desempenham um importante serviço ecológico no tocante à concentração de nutrientes que podem ser posteriormente redistribuídos ao solo.

As formigas podem afetar a ciclagem de nutrientes pelo menos de duas maneiras - na construção de seus ninhos (no solo, serapilheira, troncos, tocos e vegetação viva), que geralmente envolve o transporte e fragmentação de material vegetal vivo e morto; e de forma indireta, visto que as formigas representam uma fonte de alimento para pequenos vertebrados, como sapos e lagartos. Diferentemente dos cupins, elas não ingerem o solo, apenas o transportam com suas mandíbulas, podendo ainda utilizar esse material para a construção dos seus ninhos.

Alguns organismos alteram a dinâmica dos nutrientes do solo ao dispersá-los de uma área ou ecossistema para outro. Os colêmbolos aumentam a mineralização do nitrogênio diretamente por meio de suas excretas e indiretamente pela interação com microrganismos e, portanto, podem aumentar o suprimento de nutrientes para as plantas (FAO, 2020). A fragmentação do material vegetal aumenta a superfície específica, acelerando a sua decomposição pela ação microbiana.



Figura 53. Avaliação de cupinzeiro no município de Pinheiral, RJ.

Fotos: Sandra Santana de Lima (Acervo Pessoal).



Além disso, a incorporação de resíduos vegetais no solo e/ou nas fezes de invertebrados também acelera os processos de decomposição (BROWN *et al.*, 2015). Além da biodiversidade do solo, a ciclagem de nutrientes depende de fatores como o clima, propriedades físicas (textura, estrutura, umidade e aeração) e químicas (pH, teores de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica) do solo, cobertura vegetal e composição química da matéria orgânica adicionada ao solo, os quais impactam diretamente a atividade microbiana. A fauna do solo é um componente altamente sensível às modificações ocorridas no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, como aquelas resultantes das práticas de manejo do solo e de cultivo das lavouras (BARRETA *et al.*, 2011). Por essa razão, é comumente utilizada como um indicador de estado de degradação ou de qualidade do solo.

Estudos realizados no estado do Rio de Janeiro evidenciam a estreita relação da macrofauna (Figura 54) com o manejo do solo em áreas com diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo e conservação do solo. Destaca-se o trabalho de Menezes *et al.* (2009), avaliando a densidade, diversidade e composição da comunidade da macrofauna em diversos estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual Submontana no domínio ecológico da Mata Atlântica, em Pinheiral, RJ.



Figura 54. Indivíduos de grupos da macrofauna do solo.

Fotos: Sandra Santana de Lima (Acervo Pessoal).

Ainda, há diversos estudos sobre as mudanças na fauna do solo ao longo de uma sucessão da Mata Atlântica, como o de Lima *et al.* (2021), o qual avalia o restabelecimento da fauna invertebrada epígea e edáfica sob diferentes manejos do solo, benefícios do uso de plantas de cobertura para a fauna invertebrada, e a relação com atributos físicos e químicos do solo após o desastre ambiental na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. Também se pode citar o estudo de Lima *et al.* (2022) que caracteriza a macrofauna invertebrada e os atributos edáficos sob diferentes coberturas vegetais em áreas do Jardim Botânico da UFRRJ.

#### 4.3.3 Estrutura do solo e bioturbação

A fauna do solo desempenha papel importante na modificação da estrutura do solo através do processo de bioturbação, com a produção de estruturas biogênicas (BRUSSAARD *et al.*, 2007; LAVELLE e SPAIN, 2006). A ligação entre a atividade biológica do solo e a sua estrutura, particularmente a formação de agregados, tem sido reconhecida e estudada intensivamente desde 1900 (SIX *et al.*, 2002, 2004). Esse papel é reconhecido claramente, na própria identificação da estrutura granular, como característica predominante no horizonte superficial (A) da maioria dos solos, em condições naturais, a qual é originada e também indicadora de ação biológica (SANTOS *et al.*, 2015).

De acordo com sua gênese ou via de formação, os agregados do solo podem ser classificados em: fisiogênicos ou fisicogênicos (resultantes de processos físicos e químicos no solo); e biogênicos, ou de origem biogênica (formados pela ação dos agentes biológicos) (VELASQUEZ *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2021). Os agregados biogênicos possuem formas arredondadas e estão relacionados à ação da fauna do solo (engenheiros do ecossistema), podendo-se citar como exemplo a passagem do material do solo pelo sistema intestinal da macrofauna edáfica (em especial as *Oligochaeta* (minhocas), somada à ação física e cimentante do sistema radicular em associação à ação de microrganismos (fungos e bactérias) (Figura 55). Os engenheiros do ecossistema reconhecidamente formam, além de agregados biogênicos estáveis, bioestruturas como galerias, canais e câmaras (LAVELLE *et al.*, 2016). Outros organismos edáficos também podem modificar a estrutura do solo, porém em intensidade e escalas distintas. No estudo de Lima *et al.* (2021), verificou-se correlação positiva entre as larvas de Coleoptera e o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados biogênicos.

A presença de esporos fungos micorrízicos arbusculares em agregado biogênico (Figura 55a) foi observada por Batista (2011). Esses fungos fazem associação simbiótica com raízes e produzem a glomalina, que é uma glicoproteína com elevado conteúdo de íons metálicos (WANG *et al.*, 2017), e, quando em contato com o solo, atua como cimentante (SANTOS *et al.*, 2020), favorecendo, assim, a estabilização dos agregados.

a)



b)



Figura 55. Diferentes tipos de agregados: (a) agregado biogênico e (b) agregado fisiogênico.

Foto: Sandra Santana de Lima (Acervo Pessoal).

A fauna do solo é provavelmente um dos agentes de pedoturbação mais comumente observados, frequentemente mencionados e intensamente estudados. Embora não seja a única via de transporte de materiais dentro do perfil, a mistura promovida pela atividade biológica (bioturbação) desempenha papel central na formação de solos, sobretudo em regiões tropicais (KÄMPF e CURTI, 2012).

Os organismos do solo, especialmente a macrofauna, contribuem significativamente no revolvimento e homogeneização dos constituintes do solo e afetam propriedades como a textura, consistência, agregação e porosidade, em diferentes escalas da paisagem (Figura 56) e ao longo do perfil do solo. As alterações causadas por esses organismos, seu grau de seletividade em relação às partículas e a posição de suas escavações definem se a bioturbação é proanisotrópica ou proisotópica (SOARES *et al.*, 2021).

Além de contribuir para a formação/degradação da serrapilheira, circulação da água e do ar no interior do solo, influenciando, assim, na regulação da erosão, bem como para a ciclagem dos nutrientes, o conjunto das atividades da biota do solo afeta o ambiente edáfico (estrutura, aeração, umidade do solo etc.) também para outros organismos, entre eles os vegetais e as lavouras cultivadas nesses solos (Figura 57).





Figura 56. Organismos do solo bioturbação.

Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).





Figura 57. Modificações da fauna do solo na paisagem.

Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

Na escala de rizosfera, os organismos do solo atuam na formação dos agregados por meio da atividade de bactérias e fungos que produzem mucilagem própria e que são considerados importantes “agentes cimentantes” das partículas do solo, promovendo o aumento da estabilidade dos agregados (OADES, 1984).

Os efeitos dos organismos sobre os processos do solo ampliam-se à medida que estes possuem a habilidade de modificar o ambiente, influenciando grandemente a atividade microbiana, a decomposição e a ciclagem de nutrientes através da construção de galerias e ninhos (LAVELLE *et al.*, 2020).

#### 4.3.3 Processos pedogenéticos específicos

Além de modificarem as características físicas e químicas do solo, os organismos também são protagonistas de diversos processos pedogenéticos e, dessa forma, influenciam na diferenciação de classes de solos - por exemplo, o processo pedogenético de gleização, que consiste na redução e remoção do ferro por ação dos microrganismos em ambientes hidromórficos (KÄMPF e CURI, 2012). Devido à baixa disponibilidade de oxigênio nesses ambientes, os óxidos de ferro, precipitados ou parte da estrutura de minerais do solo, são utilizados pelos microrganismos do solo como aceptores finais de elétrons na decomposição da matéria orgânica. Como resultado da atividade biológica, o ferro é transformado da forma oxidada ( $Fe^{3+}$ ) para a forma reduzida ( $Fe^{2+}$ ), podendo ser removido do solo para o lençol freático ou permanecer no sistema como íon solúvel. Com isso, os outros minerais presentes no solo, como a caulinita na fração argila e o quartzo na fração areia, passam a expressar a sua cor acinzentada ou clara. Nos períodos de menor precipitação pluviométrica, com o rebaixamento do lençol freático e o aumento na disponibilidade de oxigênio, ou nos canais formados pelo desenvolvimento de raízes e

ação da fauna do solo, ou em solos que são drenados artificialmente, formam-se zonas de segregação de ferro oxidado, atributo morfológico conhecido como “mosqueado” (Figura 58).



Figura 58. Organismos do solo e processos pedogenéticos.

Fotos: Marcos Gervasio Pereira (Acervo Pessoal).

Outro exemplo associado a ambientes anaeróbicos são os processos de sulfidização e sulfurização (KÄMPF e CURTI, 2012). Ocorrem principalmente em ambientes que são ou foram submetidos à influência da adição de enxofre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) pela água do mar. Nesses ambientes, os íons sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) adicionados ao solo são reduzidos a sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) via atividade microbiana, tal como a transformação do  $\text{Fe}^{3+}$  em  $\text{Fe}^{2+}$ , que reagem entre si, formando os sulfetos de ferro ( $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  e  $\text{FeS}_2$ ), denominados de pirita. A segunda etapa ocorre quando esses solos são expostos a condições aeróbicas, havendo, portanto, a oxidação do sulfeto, que é responsável pela formação de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), proporcionando um ambiente favorável à formação da jarosita. Assim, surge no perfil um mosqueamento de coloração amarelada, reduz-se fortemente o pH do solo para valores menores ou iguais a 3,5, formando o horizonte sulfúrico, que caracteriza os Gleissolos Tiomórficos e Organossolos Tiomórficos (SANTOS *et al.*, 2018).

Em alguns casos, os organismos podem fornecer o próprio material de origem para a formação do solo, como nos Organossolos, solos formados a partir da deposição de materiais orgânicos vegetais, em graus variáveis de decomposição, e de sua forte interação com os materiais minerais, de forma que as propriedades condicionadas pela fração orgânica preponderam sobre as da fração mineral. A acumulação de matéria orgânica no solo ocorre em condições de drenagem restrita e/ou baixas temperaturas, ambas contribuindo para redução da atividade biológica na decomposição dos resíduos vegetais. Em condições de drenagem restrita, a condição mais frequente de ocorrência de Organossolos, a formação desses solos ocorre em duas etapas: na primeira, ocorre a

acumulação de material orgânico (terrestrialização), e, na segunda, ocorre a transformação/diferenciação do material orgânico (paludização) (KÄMPF e CURI, 2012).

#### 4.3.4 Solos modificados por atividades humanas

As intervenções humanas no solo também são incluídas no fator organismos (JENNY, 1941). O estudo dos solos profundamente “modificados” ou mesmo “construídos” por atividades humanas têm desempenhado um papel importante na integração da pedologia com outras ciências, como a arqueologia (HOLLIDAY, 2017), geoarqueologia (GOLDBERG e MACPHAIL, 2013) e antropologia. Ao longo da história, o solo gerou e fomentou uma variedade de culturas, civilizações e meios de subsistência. Evidências arqueológicas e paleoecológicas mostram que, desde ~12.000 a.C., diversas sociedades humanas já adotavam práticas de uso da terra transformadoras do ambiente, incluindo queima, caça, seleção e propagação de espécies, cultivo e outras, deixando legados de longo prazo em toda a biosfera terrestre, fortemente associados a padrões de uso do solo (ELLIS *et al.*, 2021). Hoje, em grande parte da superfície terrestre, as alterações mais intensas nos solos se devem às mudanças da cobertura vegetal original e ao manejo das terras para a produção agrícola, o desenvolvimento urbano e expansão industrial, vias de transporte e, pontualmente, as áreas de mineração. Uma história complexa das atividades humanas está se acumulando nos solos, à medida que novas mudanças se sobrepõem às do passado, inclusive o registro de alterações climáticas.

##### 4.3.4.1 Solos modificados por civilizações antigas

Em seu modelo clássico de formação do solo, Jenny (1941) inseriu as atividades humanas no fator organismos da equação:  $S = f(cl, o, r, p, t, \dots)$ . No entanto, a influência humana na formação do solo é muito mais profunda e extensa do que se pensava originalmente. As atividades humanas podem afetar todos os cinco fatores de formação da equação *clorpt*: o clima, alterando os padrões de temperatura e umidade em diferentes escalas; os organismos, reorganizando e mudando a cobertura vegetal, promovendo ou conduzindo a extinção de plantas e organismos em geral; a alteração do relevo e os materiais de origem com a remodelação geomorfológica da superfície terrestre, em campos de cultivo e áreas de mineração, desenvolvimento urbano e industrial; e o tempo, acelerando o ritmo de evolução do solo ou até mesmo produzindo um novo tempo zero da mesma forma que os grandes eventos. Considerando a escala e a velocidade das modificações antrópicas no solo, a intencionalidade e o uso de tecnologias, os impactos coletivos dos humanos na formação do solo são considerados, por alguns autores, como um sexto fator de formação do solo:  $S = f(a, cl, o, r, p, t, \dots)$ , em que *a* é o fator antropogênico (BIDWELL e HOLE 1965;

YAALON e YARON 1966; EFFLAND e POUYAT 1997; DUDAL, 2005; LEGUEDOIS *et al.*, 2016). Ainda, a dimensão desse efeito tem levado à proposição, inclusive, de um novo período na escala geológica – o Antropoceno.

Os solos são um componente integral das paisagens culturais e uma fonte potencial de informações significativas para estudos arqueológicos em diferentes escalas, como o impacto da ocupação humana em um local e o cenário ambiental no momento da ocupação humana (HOLLIDAY, 2017; WALKINGTON, 2010). Compreender as civilizações antigas é o domínio da arqueologia, e a pedologia pode ser uma ferramenta importante, usada pelos arqueólogos para fornecer *insights* sobre uma ampla gama de assuntos. Propriedades físicas e químicas do solo são comumente usadas por geoarqueólogos para fazer interpretações do registro arqueológico, incluindo como o solo foi formado e alterado no passado e como é preservado hoje. Por outro lado, a arqueologia também pode fornecer informações sobre os solos, à medida que artefatos culturais e outros materiais (por ex., pólen, fitólitos, resíduos de plantas carbonizadas, ossos de animais, entre outros) são incorporados e embutidos na matriz sedimentar e do solo de um sítio arqueológico (BREVIK *et al.*, 2018).

Vários livros e publicações apresentam técnicas de campo e laboratório para o estudo de solos em sítios arqueológicos, expondo aos leitores abordagens adequadas, protocolos instrutivos e diversas referências bibliográficas que podem ser consultadas para o entendimento das complexas relações na prática da arqueologia (por ex., HOLLIDAY, 2004; WALKINGTON, 2010; GOLDBERG e MACPHAIL, 2013; RENFREW e BAHN, 2016; NICOSIA e STOOPS, 2017; entre outros). Técnicas de investigação utilizadas em outros campos da ciência, como análises elementares, isotópicas, bioindicadores, elementos traço, em combinação com técnicas utilizadas tradicionalmente na ciência do solo, como a suscetibilidade magnética e a micromorfologia, podem ser usadas para fazer inferências sobre como as civilizações antigas lidaram com o solo e definiram as paisagens por meio de suas atividades.

No estado do Rio de Janeiro, os sambaquis, depósitos de materiais orgânicos, minerais e principalmente de conchas, são relativamente comuns em todo o litoral fluminense (GASPAR, 2000). Solos formados em áreas de sambaquis também se constituem em exemplo de ação antrópica, modificando as propriedades edáficas, o material de origem e, localmente, o relevo. Os sambaquis são importantes sítios arqueológicos utilizados para reconstituir as formas de vida dos povos responsáveis pela sua formação há alguns milênios de anos (TEIXEIRA e LIMA, 2016). Apresentam uma estratigrafia de camadas bastante complexa, e, entre essas camadas, frequentemente apresentam horizontes escuros que são ricos em nutrientes (férteis) e com elevados teores de carbono orgânico, contrastando com os baixos valores encontrados nos horizontes de solos subjacentes e adjacentes ao



sambaqui. As características desses horizontes remetem aos solos antrópicos encontrados na Amazônia, conhecidos como Terras Pretas de Índio, que são caracterizados pela elevada fertilidade e estoques de carbono (TEIXEIRA *et al.*, 2010). O cálcio é elemento muito abundante nos sambaquis, pela elevada presença de conchas, cuja composição básica é o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), e pode ser um elemento-chave na estabilização do carbono.



Figura 59. Área de sambaqui em Saquarema – RJ e detalhe da estrutura e composição do solo.

Fotos: Wenceslau Teixeira (Acervo Pessoal).

No Brasil, na região amazônica em especial, mas de ocorrência em outros ambientes, destacam-se os solos identificados como Terra Preta de Índio (TPI) ou Terras Pretas da Amazônia. Esses sítios de ocupação humana pré-histórica estão, em sua maioria, nas áreas de várzeas de rios e cursos de água (KÄMPF e KERN, 2005). Além da importância arqueológica, pela presença de artefatos, esses solos se destacam pelos horizontes superficiais com maiores teores de nutrientes e de matéria orgânica que os solos não antrópicos adjacentes. Uma revisão sobre as origens das TPI é apresentada por Kämpf e Kern (2005).

#### *4.3.4.2 Solos em áreas urbanas, industriais, de tráfego, de mineração e militares*

Os solos em áreas urbanas também são fortemente modificados por atividades humanas, com mudanças drásticas em suas propriedades físicas, químicas, biológicas (LAL e STEWART, 2017). O termo “solo urbano” é frequentemente utilizado para designar solos encontrados dentro de áreas urbanizadas. No entanto, solos influenciados pelo homem são encontrados em muitos outros lugares. Assim, uma definição mais apropriada para solos de áreas antropizadas é SUITMAS, que inclui solos em áreas urbanas, industriais, de tráfego,

de mineração e militares. A sigla SUITMA foi proposta pela primeira vez em 1998, pelo Prof. Dr. Wolfgang Burghardt, da Universidade de Duisburg-Essen, tornando-se depois um grupo de trabalho da União Internacional de Ciência do Solo (IUSS), dedicado ao estudo de solos antropizados (MOREL *et al.*, 2015).

SUITMAS são caracterizados por uma forte heterogeneidade espacial resultante das várias entradas de materiais antropogênicos e da mistura do material original do solo (MOREL e HEINRICH, 2008). São intensamente modificados por meio de processos como: (1) transformação, mistura, aumento de profundidade, compactação, nivelamento de terra, vedação; (2) escavação, ou seja, remoção de material do solo e erosão acelerada; e (3) entrada de material exógeno do solo (artefatos), como resíduos (orgânicos, inertes, tóxicos), entulho de construção, materiais dragados e aterro (MOREL *et al.*, 2015). Sua evolução é controlada por fatores semelhantes aos dos solos naturais, embora as atividades humanas desencadeiem um processo de transformação extremamente rápido e intenso. Bockheim & Gennadiyev (2000) denominaram esse processo como antrossolização, que representaria uma coleção de processos geomórficos e pedológicos resultantes de atividades humanas. A noção de antrossolização está sujeita a análises e críticas, mas pode ser vista como um fator que altera os principais processos de adição, remoção, translocação e transformação de matéria e energia que ocorrem nos solos, modificando, assim, vias de pedogênese progressivas ou regressivas (CAPRA *et al.*, 2015).

As pesquisas em SUITMAS começaram a ganhar popularidade na década de 1970, por meio de iniciativas como do programa de pesquisa de solo do USDA-NRCS, com a criação do Comitê Internacional de Solos Antrópicos (ICOMANTH), e da IUSS, com a criação do grupo de trabalho interdisciplinar SUITMA, dedicado ao estudo de solos fortemente modificados por atividades humanas. Desde então, vários livros sobre solos urbanos foram publicados (por ex., CRAUL, 1992; BULLOCK e GREGORY, 1991; HAZELTON e MURPHY, 2011; CHARZYŃSKI *et al.*, 2013; LAL e STEWART, 2017). Os SUITMAS podem ser estudados por métodos tradicionais da ciência do solo. Entretanto, os métodos aplicados devem ser adequadamente adaptados e novos métodos ainda devem ser desenvolvidos. É somente por meio de uma abordagem multidisciplinar que os solos urbanos podem ser mais bem compreendidos para otimizar seu uso para a proteção da saúde humana e dos recursos naturais (MOREL e HEINRICH, 2008; BURGHARDT *et al.*, 2015).

Os solos urbanos podem desempenhar um papel fundamental em todas essas funções e serviços ecossistêmicos, dependendo do grau de interferência e manejo antrópico (MOREL *et al.*, 2015). São capazes de regular o clima, o gás e/ou o ciclo da água através, respectivamente, do sequestro de carbono, participação em ciclos biogeoquímicos e controle da capacidade de infiltração, condutividade hidráulica e retenção de umidade. Além disso, podem ter função importante na purificação da água, principalmente pela sorção de contaminantes em partículas coloidais, e na sustentação da agricultura urbana, parques e florestas, fornecendo suporte físico, água e/ou nutrientes à vegetação e outras



formas de vida (FURQUIM e ALMEIDA, 2020).

Um importante serviço prestado pelos solos é o suporte de assentamentos humanos, estruturas e infraestruturas. No entanto, uma vez urbanizados, os solos geralmente são profundamente afetados e muitas vezes sofrem a perda de diversas funções do solo, como a capacidade de sustentar o crescimento das plantas e a infiltração de água, armazenar carbono orgânico e hospedar a biodiversidade (ITPS-FAO, 2022). Solos urbanos antropogênicos são cada vez mais importantes em um mundo com urbanização acelerada. Assim, o planejamento e a gestão das diferentes áreas em ambientes urbanos devem respeitar a funcionalidade de seus solos. Além disso, são de interesse para subáreas da ciência do solo, como a pedologia, uma vez que suas propriedades raramente são investigadas e podem diferir substancialmente dos solos da paisagem. Portanto, é importante que a pedologia seja integrada com disciplinas relacionadas, como arqueologia, história e planejamento urbano (LEHMANN e STAHR, 2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formações vegetais que recobrem o estado do Rio de Janeiro variam de acordo com os fatores edáficos, geomorfológicos e climáticos. A ampla variação altitudinal presente no estado é determinante na diversidade de fitofisionomias que vão desde manguezais e restingas ao nível do mar, nas planícies costeiras e fluviais do estado, até os campos de altitude. Além dos serviços ecossistêmicos diretamente relacionados à cobertura vegetal, como a produção de água e efeito sobre todos os componentes do clima, a vegetação adiciona matéria orgânica ao solo por meio da deposição da serapilheira, decomposição de raízes mortas e conversão de compostos exsudados.

Os organismos que compõem a fauna do solo são um componente-chave na formação e evolução dos solos. Além disso, estão diretamente associados aos processos de transformação da matéria orgânica adicionada ao solo pela vegetação. Microrganismos, especialmente fungos e bactérias, facilitam as trocas químicas entre as raízes e o solo para produzir nutrientes essenciais. Comunidades de organismos da fauna do solo alteram propriedades físicas e químicas e permitem que a umidade e os gases se infiltrem em camadas mais profundas ao longo de suas tocas e nos canais radiculares.

Os seres humanos podem impactar a formação do solo por meio de práticas que perturbam os processos naturais e alteram as características biológicas, físicas e químicas do solo, de forma positiva ou negativa. Exemplos desses impactos são preservados nos solos e no registro arqueológico e histórico das civilizações. Alterações ainda mais profundas nos solos são as observadas no meio urbano, com a expansão das cidades e o aumento da população mundial, com demandas cada vez maiores por esse recurso natural não-renovável.

Por ocupar a interface entre a biosfera, atmosfera, hidrosfera e litosfera, razão

pela qual se dá, em grande parte, sua importância - o solo é um recurso essencial, único e insubstituível para todos os organismos terrestres, incluindo o homem. Os ambientes nos quais esses quatro elementos interagem são, muitas vezes, os mais complexos e diversificados da Terra. Portanto, uma compreensão completa dos solos requer o conhecimento da biodiversidade de organismos do solo.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, A. M. Fauna edáfica e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M. e ASSIS, R. L. (Eds.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 47-75, 2005.
- ARAÚJO, D. S. D. **Análise florística das restingas do estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 175 f, 2000.
- ARAÚJO, D. S. D.; PEREIRA, M. C. A.; PIMENTEL, M. C. Flora e estrutura de comunidades no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba - Síntese dos conhecimentos com enfoque especial para a formação aberta de *Clusia*. In: ROCHA, C. F. D.; SCARANO, F. R. (Org.). **Ecologia, História Natural e Conservação do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**. São Carlos: RiMa, p. 59-76, 2004.
- ASSIS, M. A.; PRATA, E. M. B.; PEDRONI, F. Florestas de restinga e de terras baixas na planície costeira do sudeste do Brasil: vegetação e heterogeneidade ambiental. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 2, p. 103-121, 2011.
- BARDGETT, R. D. **The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach**. Oxford University Press, New York. 2005.
- BARETTA, D. SANTOS, J.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG-FLHO, O.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. 7ª. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 119-170, 2011.
- BATISTA, I. **Atributos edáficos e fauna do solo em áreas de integração lavoura-pecuária no Bioma Cerrado, Mato Grosso do Sul** Dissertação de Mestrado. – Ciência do Solo – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 86 f. 2011.
- BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; SANTOS, H. G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Brazilian Journal of Botany**, v. 30, n. 4, p. 569-577, 2007.
- BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 18, n. 3, 2004, p. 491-502.
- BIDWELL, O. W.; HOLE, F.D. Man as a factor of soil formation. **Soil Science**. v. 99, n. 1, p. 65-72, 1965.
- BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. **Geoderma**, v. 95, n. 1-2, p. 53-72, 2000.
- BREVIK, E. C.; HOMBURG, J. A.; SANDOR, J. A. Soils, Climate, and Ancient Civilizations. **Developments in Soil Science**, v. 35, p. 1-28, 2018.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E. DA, ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 121-154.

BRUSSAARD, L.; DE RUITER, P. C.; BROWN, G. G. Soil biodiversity for agricultural sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 121, n. 3, p. 233-244. 2007.

BULLOCK, P., GREGORY, P. **Soils in the Urban Environment**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 174 p. 1991.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MC DANIEL, P. A. **Soil genesis and classification**. 6<sup>th</sup> ed. Chichester, Willey-Blackwell, 543 p. 2011.

BURGHARDT, W.; MOREL, J. L.; ZHANG, G. L. Development of the soil research about urban, industrial, traffic, mining and military areas (SUITMA). **Soil science and plant nutrition**, v. 61, supplement 1, p. 3-21, 2015.

CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SEGALL, A. B.; CASTRO, J. S. R. Litter Dynamics in a Forest Dune at Restinga da Marambaia, RJ, Brazil. **Floresta e Ambiente (Floram)**, v. 25, n. 2, p. 1-10, 2018.

CAPRA, G. F.; GANGA, A.; GRILLI, E.; VACCA, S. & BUONDONNO, A. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 1602-1618, 2015.

CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de biomassa e nutrientes por Allagoptera arenaria na Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 349-358, 2014.

CHARZYŃSKI, P.; HULISZ, P.; BEDNAREK, R. **Technogenic Soils of Poland**. Torun, Polish Society of Soil Science, 2013. 357 p.

COELHO, M. A. N.; BAUMGRATZ, J. F. A.; LOBÃO, A. Q.; SYLVESTRE, L. S.; TROVÓ, M.; SILVA, L. A. E. Flora of Rio de Janeiro state: an overview of Atlantic Forest diversity. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, p. 1-11, 2017.

COLEMAN, D. C.; CALLAHAM, M. A.; CROSSLEY, D. A. **Fundamentals of Soil Ecology (third edition)**. London, UK, Academic Press, Elsevier Inc. 2018.

COSTA, P. D. **Fauna edáfica e sua atuação em processos do solo**. Roraima: Embrapa Roraima, 32 p. 2004.

CRAUL, J. P. **Urban Soils. Application and Practices**. New York, John Wiley and Sons, p. 396. 1992.

DANTAS, H. G. R.; LIMA, H. C.; BOHRER, C. B. A. Mapeamento da vegetação e da paisagem do município de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 25-38, 2009.

DARWIN, C. **On the formation of vegetable mould through the action of worms**. London, John Murray, 1881.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIA, C.; MEASEY, G. J.; LAVELLE, P. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, supplement 1, p. S23-S38, 2006.

DUDAL, R. The sixth factor of soil formation. **Eurasian Soil Science**, v. 38, p. 60-65, 2005.

EFFLAND, W. R.; POUYAT, R. V. The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. **Urban Ecosystem**, v. 1, p. 217-228, 1997.

ELLIS, C. E.; GAUTHIER, N.; GOLDEWIJK, K. K.; BIRD, R.; BOVIN, N.; DIAZ, S.; FULLER, D.; GILL, J.; KAPLAN, J.; KINGSTON, N.; LOCKE, H.; McMICHAEL, C.N.H.; RANCO, D.; RICK, T. C.; SHAW, M. R.; STEPHENS, L.; SVENNING, J. C., WATSON, J. E. M. People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 118, n. 17, p. 1-8, 2021.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Intergovernmental Technical Panel on Soils - ITPS, Global Soil Biodiversity Initiative - GSBI, Convention of Biological Diversity - CBD, European Commission EC. **State of knowledge of soil biodiversity: Status, challenges and potentialities**. Rome, FAO, 2020.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Soils deliver ecosystem services that enable life on Earth - Infographics**. Rome, FAO, 2015.

FAO, ITPS, GSBI, SCBD; EC. **State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities**, Summary for policy makers. Rome, FAO, 2020.

FURQUIM, S. A. C.; ALMEIDA, I. S. Urban soils in Brazil: A review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022.

GASPAR, M. D. **Sambaqui: arqueologia do litoral brasileiro**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000. 91 p.

GOLDBERG, P.; MACPHAIL, R. I. **Practical and theoretical geoarchaeology**. Practical and Theoretical Geoarchaeology. Malden, MA, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing Ltd. p. 472. 2013.

HAZELTON, P.; MURPHY, B. **Understanding Soils in Urban Environments**. Collingwood, Australia, CSIRO Publishing, 160 p. 2011.

HOLLIDAY, V. T. **Soils and Archaeological Research**. New York, Oxford University Press. p. 464. 2004.

HOLLIDAY, V. T. Soils in archaeological research. In: **International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology**, p. 1-12. 2017.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 2012.

ITPS-FAO. **Urbanisation and soil sealing**. ITPS Soil Letters 5. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. 2022.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation**. New York, McGraw-Hill. 1941, p. 191.

- JENNY, H. **Factors of Soil Formation**: A system of quantitative pedology. New York, McGraw-Hill. 1941, p. 144.
- KAMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia**: Fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 207-302, 2012.
- KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 277-320, 2005.
- LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.) **Urban soils**. CRC Press. 2017, p. 406.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.; FONTE, S.; BEDANO, J. C.; BLANCHART, E.; GALINDO, V.; GRIMALDI, M.; JIMENEZ, J. J.; VELASQUEZ, E.; ZANGERLÉ, A. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. **Acta Oecologica**, v. 105, 1, 2020.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. 2<sup>nd</sup> Edition. Amsterdam, Netherlands, Kluwer Scientific Publications. 2006.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A. V.; BLOUIN, M.; BROWN, G. G.; DECAENS, T.; GRIMALDI, M.; JIMENEZ, J. J. MCKEY, D.; MATHIEU, J.; VELASQUEZ, E.; ZANGERLÉ, A. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. **Soil Science**, v. 181, n. 91-109, 2016.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, n. 3-16, 1996.
- LEGUEDOIS, S.; SERE, G.; AUCLERC, A.; CORTET, J.; HUOT, H.; OUVARD, S.; WATTEAU, F.; SCHWARTZ, C.; MOREL, J. L. Modeling pedogenesis of Technosols. **Geoderma**. v. 262 p. 199-212, 2016.
- LEHMANN, A.; STAHR, K. Nature and significance of anthropogenic urban soils. **Journal of Soils and Sediments**, v. 7, n. 4, p. 247-260, 2007.
- LIMA, S. S.; ROCHA, J. E.; FERNANDES, D. A. C.; CABREIRA, W. V.; PEREIRA, M. G. Macrofauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais no Jardim Botânico da UFRRJ. In: Ivo Abraão Araújo da Silva, Marcos Gervasio Pereira, Silvia Aparecida Martim. (Org.). **Pesquisas no Jardim Botânico da UFRRJ**. 1<sup>ed</sup>. Seropédica: EDUR - UFRRJ, v. 1, p. 52-63. 2022.
- LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; SILVA, R. M.; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0200156, 2021.
- LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, R. N.; PONTES, R. M.; ROSSI, C. Q. Termite Mounds Effects on Soil Properties in the Atlantic Forest Biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-14, 2018.
- LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, G. L.; PONTES, R. DE M.; DINIZ, A. R. Soil Physical and Chemical Properties in Epigeal Termite Mounds in Pastures. **Floresta e Ambiente (Floram)**, v. 25, n. 1, p. 01-08, 2018.
- MAGNANO, L. F. S.; MARTINS, S. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NERI, A. V. Structure and diversity of restingas along a flood gradient in southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 4, p. 801-809, 2013.



MEDEIROS, A. S.; PEREIRA, M. G.; BRAZ, D. M. Estrutura e Conservação de um Trecho de Floresta Estacional em Pirai, RJ. **Floresta e Ambiente (Floram)**, v. 23, n. 3, p. 330-339, 2016.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1647-1656, 2009.

MENEZES, L. F. T.; ARAÚJO, D. S. D. Formações vegetais da Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro. In: MENEZES, L. F.; PEIXOTO, A. L.; ARAÚJO, D. S. D. (Org.). **História Natural da Marambaia**. Seropédica: Editora da Universidade Rural, p. 67-120, 2005.

METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; DIXO, M.; BERNACCI, L. C.; RIBEIRO, M. C.; TEIXEIRA, A. M. G.; PARDINI, R. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1166-1177, 2009.

MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Conservation International, 2005. 392 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção**: Portaria N. 444, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União - Seção, 1245, 121-126, 2014.

MOREIRA, F. M. D. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: UFLA. 2013.

MOREL, J. L.; HEINRICH, A. B. SUITMA—soils in urban, industrial, traffic, mining and military areas: An interdisciplinary working group of the 'International Union of Soil Science'(IUSS) dedicated to soils strongly modified by human activities. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, n. 4, p. 206-207, 2008.

MOREL, J. L.; CHENU, C.; LORENZ, K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAS). **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 1659-1666, 2015.

MOREL, J. L.; CHENU, C.; LORENZ, K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAS). **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 8, p. 1659-1666, 2015.

MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction the Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 786-792, 2000.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NICOSIA, C.; STOOPS, G. (Eds.). **Archaeological soil and sediment micromorphology**. John Wiley & Sons, 2017. p. 476.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica** v. 32, n. 4, p. 793-810, 2000.

OLIVEIRA, A. A.; VICENTINI, A.; CHAVE, J.; CASTANHO, C. T.; DAVIES, S. J.; MARTINI, A. M. Z.; LIMA, R. A. F.; RIBEIRO, R. R.; IRIBAR, A.; SOUZA, V. C. Habitat specialization and phylogenetic structure of tree species in a coastal Brazilian white-sand forest. **Journal of Plant Ecology**, v. 7, p. 134-144, 2014.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; PRADO, D. E.; PENDRY C. A.; PELL, S. K.; BUTTERWORTH, C. A. Historical climate change and speciation: neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B - Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 515-537, 2004.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BATISTA, I.; MELO, T. R. D.; SILVA NETO, E. C. D.; PINTO, L. A. D. S. R. Biogenic and physicogenic aggregates: formation pathways, assessment techniques, and influence on soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, 2021.

PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; PAULA, R. R.; MENEZES, L. F. T. Aporte e decomposição do folhedo em floresta periodicamente inundável na Restinga da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal** (UFMS. Impresso), v. 22, p. 59-67, 2012.

PEREIRA, M. G.; CABREIRA, W. V.; LIMA, S. S.; ROCHA, J. E.; SANTOS, R. N.; SILVA, R. G. **Manual de coleta e identificação da fauna edáfica**. 1ª. ed. v. 1. 46 p., 2018.

RENFREW, C.; BAHN, P. G. **Archaeology: Theories, Methods and Practice**. London, UK, Thames and Hudson, p. 672, 2016.

ROCHA, C. F. D.; SCARANO, F. R. **Ecologia, História Natural e Conservação do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**. São Carlos: RiMa, 2004.

SÁ, C. F. C.; ARAÚJO, D. S. D. Estrutura e florística de uma floresta de restinga em Ipitangas, Saquarema, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 147-170, 2009.

SÁ, C. F. C. **Estrutura, diversidade e conservação de angiospermas no Centro de Diversidade de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 250 f. 2006.

SANTOS, A.; SILVA, C. F.; GAMA-RODRIGUES, E. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SALES, M.; FAUSTINO, L. L.; BARRETO-GARCIA, P. A. B. Glomalin in soil aggregates under different forest and pasture systems in the North of Rio de Janeiro state, Brazil. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 8, 2020.

SCARANO, F. R. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 517-524, 2002.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. Cambridge, Cambridge University Press, p. 817. 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE - SEA. **Livro Vermelho da Flora Endêmica do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 456 p. 2018.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEK, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEK, K.; OGLE, S.; DE MORAES SA, J. C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, 2002.

SOARES, F. S.; FURQUIM, S. A. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, C. D.; SILVA NETO, E. C.; CALEGARI, M. R.; COSTA, A. M. A pedologia e seus diálogos científicos: Aborbagens analíticas transversais para o estudo dos solos. **Tópicos Ciência do Solo**, 1ª ed. Viçosa: SBCS, v. 11, p. 1-54, 2021.

SOARES, M. L. G. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 503-515, 1999.

SOARES, P. F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PESSEDA, L. C. R. Histosols in an Upper Montane Environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford, Blackwell, 1979. 372p.

TEIXEIRA, W. G.; LIMA, R. A. O solo modificado pelo homem (solo antrópico) como artefato arqueológico. Seminário de Preservação de Patrimônio Arqueológico, 4, **Anais...** v. 4, n. 1, p. 123-147, 2016.

VASCONCELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

VELASQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M.; MARTINS, M.; RENDEIRO, A. C.; LAVELLE, P. This ped is my ped: visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, v. 51, n. 1, p. 75-87, 2007.

WALKINGTON, H. Soil science applications in archaeological contexts: A review of key challenges. **Earth-Science Reviews**, v. 103, n. 3-4, p. 122-134, 2010.

WANG, W.; ZHONG, Z.; WANG, Q.; WANG, H.; FU, Y.; HE, X. Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 2017.

YAALON, D. H.; YARON, B. Framework for man-made soil changes - an outline of metapedogenesis. **Soil Science** v. 102, n. 4, p. 272-277, 1966.