



C A P Í T U L O 2

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM ÁREAS DE MONTANHA COMO ALIADOS À ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Ana Paula Dias Turetta

Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ
Programa em Desenvolvimento Territorial e Políticas Públicas (PPGDT)/UFRRJ

Claudia Moster

Professora Adjunta do Departamento de Ciências Ambientais e Florestais
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Alba Leonor da Silva Martins

Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ

Joyce Maria Guimarães Monteiro

Pesquisadora da Embrapa Solos, 1024, Jardim Botânico, RJ,

INTRODUÇÃO

As áreas de montanha, conhecidas por sua beleza cênica e biodiversidade única, enfrentam desafios crescentes devido às mudanças climáticas e aos eventos climáticos extremos. Este capítulo examina a importância dos serviços ecossistêmicos nesses ambientes como aliados essenciais para a adaptação às mudanças globais. Com características geográficas e ecológicas distintas, as montanhas desempenham um papel crucial na regulação climática, na gestão dos recursos hídricos e na proteção da biodiversidade. Avaliar como os serviços ecossistêmicos podem ser utilizados para mitigar os impactos adversos é fundamental para a manutenção dos benefícios que esses ecossistemas proporcionam.

Os efeitos das mudanças climáticas são particularmente agudos em ecossistemas de montanha devido à sua vulnerabilidade intrínseca e à exposição a fatores como o aumento de temperaturas, a variabilidade das precipitações e a frequência de eventos extremos. Este capítulo explora como esses fatores afetam a dinâmica

dos ecossistemas montanhosos, analisando a resiliência ecológica e a capacidade adaptativa dos serviços ecossistêmicos. Tais serviços, como a retenção de água pelo solo, a proteção contra erosão e o sequestro de carbono, são cruciais para sustentar a vida tanto no ambiente montanhoso quanto nas comunidades humanas que dele dependem.

Exemplos de iniciativas de conservação e manejo sustentável são apresentados para ilustrar como é possível maximizar os benefícios dos serviços ecossistêmicos em áreas de montanha. Estas estratégias demonstram que, por meio de abordagens integradas e participativas, é possível desenvolver soluções eficazes para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Tais soluções baseadas na natureza são cruciais não apenas para a proteção ambiental, mas também para promover o bem-estar das populações locais, assegurando um futuro mais sustentável e resiliente para esses ecossistemas singulares.

O ambiente de montanha

O ambiente de montanha se caracteriza como de elevada energia, tendo em vista as forças motrizes relacionadas à elevação absoluta (que controla a temperatura e a precipitação), gradiente (que controla a força erosiva), relevo (robustez do terreno), encostas côncavas (que tendem a concentrar água) e encostas convexas (que tendem a dispersar água) (Slaymaker; Embleton-Hamann, 2018). Esse conjunto de fatores irá determinar uma série de processos que ocorrem nesse ambiente, tais como a dinâmica meteorológica, densidade de drenagem, ciclo biogeoquímico e o transporte de sedimentos nas encostas, e susceptibilidade a inundações e deslizamentos, tornando esses ambientes extremamente expostos aos impactos das mudanças climáticas. Tais mudanças têm o potencial de gerar consequências graves para as pessoas, as infraestruturas e a economia nas regiões montanhosas, principalmente devido ao aumento previsto na frequência e intensidade da precipitação intensa (alta confiança) (IPCC, 2023).

Há evidências abundantes de que as regiões montanhosas tendem a aquecer mais rapidamente do que as áreas baixas circundantes e, assim, amplificam os efeitos do aumento das temperaturas nas comunidades de plantas de terras altas em longo prazo; o aumento da altitude de formação de nuvens e a diminuição da disponibilidade de água foram observados em resposta a temperaturas médias anuais mais elevadas do ar em regiões montanhosas tropicais nas últimas décadas (Mata-Guel *et al.*, 2023). Ainda, segundo os mesmos autores, mesmo que as alterações médias anuais na precipitação sejam pequenas, mudanças sazonais acentuadas no regime hídrico podem impactar gravemente a fauna, a flora e as populações humanas que habitam esses ambientes.

Além disso, é esperado que nos ambientes montanos as árvores sofram estresse térmico e hidráulico devido às alterações climáticas. Isso pode levar ao aumento da respiração e à redução das taxas de crescimento que se traduzem na diminuição do sequestro de carbono (Mata-Guel *et al.*, 2023). Essa vulnerabilidade deve-se em parte à dependência das comunidades de plantas das áreas mais elevadas da água atmosférica e ao efeito de proteção do nevoeiro contra a radiação solar direta; ambos os fatores climáticos atualmente atenuam o déficit de pressão de vapor, ao qual as espécies de montanha são particularmente responsivas (Mata-Guel *et al.*, 2023). Essas mudanças na vegetação em grande escala podem aumentar ainda mais o aumento das temperaturas, alterando o efeito albedo das florestas (Doughty *et al.*, 2018) e tornando as comunidades de plantas mais suscetíveis às secas.

A mudança na cobertura florestal também interfere na capacidade de interceptação das chuvas pelo dossel, e diferentes estágios de desenvolvimento apresentam respostas distintas (Nicoletti; Refosco; Pinheiro, 2022). Em ambientes de montanha com a influência de chuva-neblina (precipitação oculta) no ciclo hidrológico, a cobertura florestal propicia a captação da água por interceptação das copas e o escoamento pelo tronco, favorecendo a infiltração e o armazenamento de água no solo. Na ausência das copas, há redução da capacidade de interceptação e pode ocorrer o aumento do escoamento superficial (Bruijnzeel, 2005).

Os serviços ecossistêmicos no ambiente de montanha

Nesse contexto, o conceito de serviços ecossistêmicos, entendidos aqui como os benefícios (e ocasionalmente não benefícios ou perdas) que as pessoas obtêm dos ecossistemas (Ecosystem [...], 2024) é de fundamental importância, uma vez que os ecossistemas de montanha proporcionam uma série de benefícios e valores à humanidade, não só pela rica biodiversidade que contêm, mas também devido ao seu importante papel na regulação climática, no ciclo da água, além da oferta de áreas de interesse para recreação, turismo, valores culturais e espirituais (Glushkova *et al.*, 2020).

Um dos principais determinantes da vulnerabilidade dos serviços ecossistêmicos às alterações ambientais é a sua resiliência às perturbações (Angele *et al.*, 2016). Os serviços ecossistêmicos resilientes podem absorver uma quantidade substancial de perturbação e se recuperarem mais rapidamente e reagirem melhor às perturbações do que os seus homólogos de baixa resiliência (Martin *et al.*, 2019). Os serviços resilientes são caracterizados por duas propriedades complementares de suas comunidades prestadoras de serviços: redundância funcional, definida como a diversidade de espécies funcionalmente equivalentes; e diversidade de respostas, definida como a diversidade nas respostas às mudanças nas condições ambientais

dentro de uma comunidade (Scheffer *et al.*, 2001). Ou seja, a resiliência dos serviços ecossistêmicos é esperada quando espécies funcionalmente redundantes diferem nas suas respostas às alterações ambientais, de modo que algumas espécies garantam a continuação do serviço quando outras espécies são perdidas ou a sua eficiência é reduzida (Weise *et al.*, 2020). Esse conceito, se extrapolado para o recorte de paisagem, permite entender que paisagens resilientes serão aquelas em que diferentes usos e coberturas da terra provêm serviços ambientais redundantes e múltiplos. Por exemplo, uma área agrícola que adote práticas de conservação do solo e da água, como plantios mistos, por exemplo, irá contribuir para serviços relacionados à regulação hídrica, controle de erosão, sequestro de carbono, entre tantos outros, além de sua função primária que seria a produção de alimentos; por sua vez, uma área de cobertura florestal, contribui também para os serviços de regulação hídrica, controle de erosão, sequestro de carbono, além de ser fundamental para a manutenção da biodiversidade. Isso também significa que os múltiplos serviços ambientais e suas interações proporcionados pelas paisagens podem ocorrer como *trade-offs*, onde a oferta de um serviço aumenta à medida que o outro diminui, ou como sinergias, onde a oferta de dois serviços aumenta ou diminui simultaneamente (Dade *et al.*, 2019; Távora *et al.*, 2022).

DO CONCEITO À PRÁTICA – ESTUDO DE CASO EM NOVA FRIBURGO, RJ

O bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica abrange cerca de 15% do território nacional, que engloba 72% da população brasileira, distribuída em 17 estados, abrigando, inclusive, três dos maiores centros urbanos do continente sul-americano, e concentra 70% do PIB brasileiro (SOS Mata Atlântica, 2020). É nesse bioma também que se encontra o conjunto de áreas de relevo acidentado, que podem chegar a mais de 2 mil metros de altitude, conhecidas como a Serra do Mar (Figura 1). A ocupação dessas áreas é bastante semelhante, apresentando núcleos urbanos concentrados preferencialmente nos vales, que são rodeados de regiões agrícolas, caracterizadas, geralmente, por unidades familiares de produção e fragmentos mais preservados nas cotas mais elevadas e íngremes das encostas.

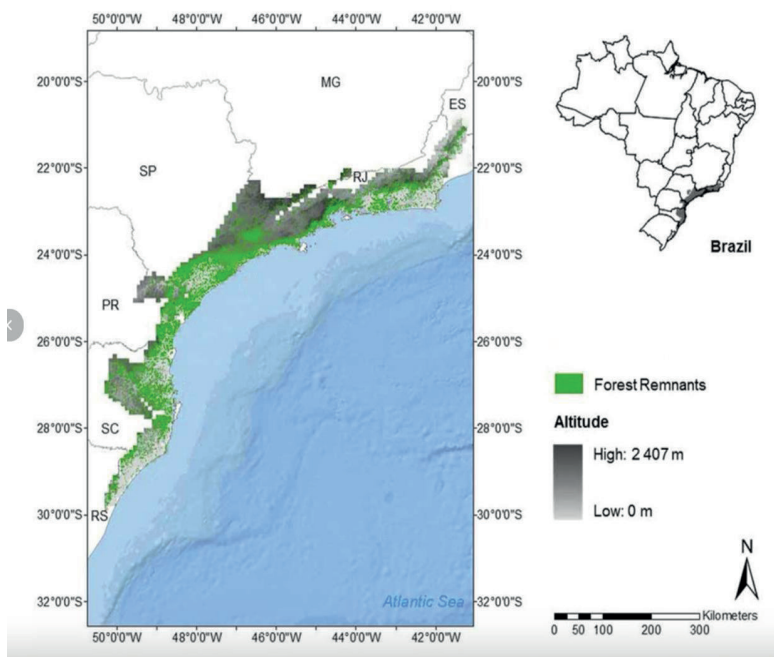


Figura 1. Localização da Serra do Mar. Fonte: Modificado a partir de Campos e Lourenço-de-Moraes (2017).

A região e município como Estudo de Caso

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro se localiza nesse ambiente montanhoso da Mata Atlântica, e apresenta o maior número de agricultores e o maior faturamento agrícola bruto do estado (EMATER, 2018). A maior parte desses agricultores praticam a agricultura de modo convencional e com grande dependência de insumos industriais externos à unidade de produção (Figura 2).

Nova Friburgo é um dos municípios que compõe essa região e localiza-se entre as coordenadas geográficas 22° 19' 45" e 22° 23' 45" de latitude sul e 42° 35' 05" e 42° 40' 10" de longitude oeste (Figura 3). Trata-se, portanto, de uma região montanhosa apresentando altitude máxima de 2.366 metros no Pico Maior, montanha que integra o conjunto denominado Três Picos. Alguns de seus bairros e distritos estão localizados a 1.000 metros ou mais e sua sede apresenta 846 metros de altitude (Comperj, 2011; MATA, 2006). O clima é tropical de altitude (Cwa), com temperatura média anual variando entre 18 °C e 26 °C. A precipitação média anual é de 1.279,8 mm, com os meses mais chuvosos de novembro a março e os meses mais secos de maio a agosto, marcando o período sazonal de chuvas no verão e secas no inverno (INEA, 2014; Monteiro, 2014).



Figura 2. Paisagem típica de área rural em ambiente de montanha (Nova Friburgo, RJ). Foto: Ana Paula Turetta.

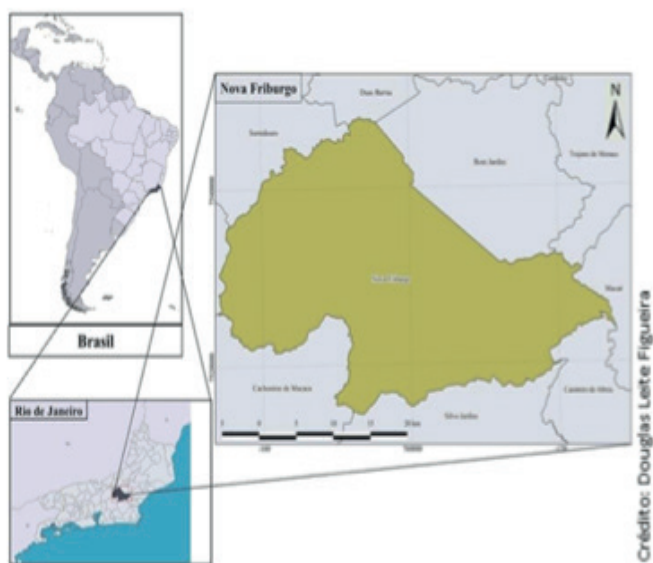


Figura 3. Localização do município de Nova Friburgo, RJ.
Fonte: Douglas Figueira, cedido aos autores.

Mesmo o município sendo pioneiro na agricultura orgânica, em sua maioria, os produtores locais praticam a agricultura convencional com elevada utilização de produtos sintéticos, como fertilizantes e agrotóxicos, adotando também práticas, como o “plantio morro abaixo”, que ao longo dos anos tem contribuído para processos erosivos, comprometendo a qualidade do solo e da água (Comperj, 2011; MATA, 2006).

Em 2011 a Região Serrana do Rio de Janeiro, incluindo Nova Friburgo, passou por um evento climático extremo conhecido como Megadesastre da Região Serrana Fluminense que culminou em quase 1.000 óbitos na região (Dourado, 2012). Com relação às perdas e danos na região, estimativas do Banco Mundial (2012) apontam para custos totais da ordem de R\$4,78 bilhões. Dentre esses custos, aproximadamente R\$3,15 bilhões correspondem ao setor público e R\$1,62 bilhões às propriedades privadas. Em relação à origem dos danos, o setor habitacional foi o que registrou custos privados mais destacados (R\$647 milhões). Os setores sociais foram os mais atingidos por perdas e danos, com um custo total estimado em R\$2,69 bilhões. Em segundo lugar, o setor de infraestrutura foi impactado em cerca de R\$1 bilhão. Os setores produtivos tiveram custos diretos e indiretos estimados em R\$896 milhões, enquanto os impactos ambientais foram estimados em R\$71,4 milhões, dentre perdas também em outros setores.

Segundo o Ibama (2011), as áreas que sofreram com esse evento são áreas de risco em função de sua vulnerabilidade natural geológica e de declividade acentuada, sendo agravada pelas ocupações indevidas e outros usos antrópicos. Muitas dessas áreas ocupadas são definidas como Áreas de Preservação Permanente (APP), cuja proteção está prevista no Código Florestal, Lei 12.651, de 2012 (Brasil, 2012). Em relação aos solos, as montanhas e escarpas serranas apresentam solos bastantes lixiviados, compreendendo Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e, com ocorrência menos expressiva, Latossolos Vermelho-Amarelos, em geral pouco espessos, o que acentua a vulnerabilidade e risco à ocorrência de movimentos de massa (Lumbreras *et al.*, 2003).

Nessa perspectiva, o projeto “Paisagens funcionais em tempo de mudanças climáticas: Cocriação de soluções para o desenvolvimento urbano sustentável em regiões serranas na Mata Atlântica” (CNPq 441595/2020-0) foi elaborado considerando uma solução integrada a partir da identificação dos riscos relacionados aos impactos das mudanças climáticas em paisagens múltiplas, com foco nos seus efeitos na sustentabilidade hídrica e alimentar, capaz de gerar soluções desenvolvidas de forma participativa a partir do diálogo entre múltiplos conhecimentos, especialmente em nível local.

Uma vez que os efeitos das mudanças climáticas não podem ser evitados, torna-se necessário e urgente proteger a sociedade e a natureza de seus impactos

negativos, por meio do planejamento de medidas de adaptação e de proteção dos sistemas naturais e não naturais, para que se tornem menos vulneráveis a tais eventos. Muitas são as práticas, os métodos e soluções tecnológicas de uso e manejo sustentável do solo, da água e da biodiversidade que podem reduzir a vulnerabilidade e resultar em uma paisagem mais descarbonizada e resiliente aos impactos das mudanças climáticas. Tais medidas trazem benefícios sinérgicos (ou acumulados) tanto para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), ou seja, a mitigação das mudanças climáticas, quanto para aumento da capacidade de prevenção, resistência e recuperação dos sistemas afetados pelas mudanças climáticas, ou seja, adaptação às mudanças climáticas, contribuindo sobremaneira para a segurança alimentar e hídrica.

O uso e cobertura da terra das áreas de montanha da Mata Atlântica constituem-se como um grande mosaico composto por espaços urbanos, periurbanos e rurais, que apresentam uma diversidade de cenários políticos, sociais e culturais. Assim, é necessária uma visão integrada, ao invés de serem consideradas soluções isoladas, porque a ocorrência de um desastre natural não é um evento isolado, uma vez que influencia não só a área afetada e seu entorno, mas outras regiões, com implicações inesperadas. Por isso, para termos respostas eficazes para a adaptação às mudanças climáticas precisamos considerar essa complexidade de usos da terra e suas interações, considerando o efeito cumulativo dos eventos de precipitação.

Um conceito fundamental nesse contexto é o de multifuncionalidade da paisagem, que considera o potencial de provisão simultânea de vários serviços do ecossistema em diferentes escalas, que podem gerar vários benefícios para a sociedade. Por exemplo, uma área de produção agropecuária que adote práticas conservacionistas e diversificação de culturas, podendo incluir também o componente arbóreo no sistema, irá, além de produzir alimentos, facilitar a infiltração de água no solo e diminuir o escoamento superficial, a erosão e o assoreamento dos rios e contribuir com a biodiversidade, dentre tantos outros serviços ambientais.

Portanto, a multifuncionalidade da paisagem, não é uma propriedade do sistema ecológico, mas o resultado da interação e conexão entre sociedade e ambiente (Haynes-Young; Potschin, 2000). Ou seja, ações socioeconômicas podem alterar os elementos da paisagem (Fortunato *et al.*, 2011).

RESULTADOS PRELIMINARES DO PROJETO

Os resultados preliminares do projeto indicam alguns caminhos que podem contribuir para a adaptação aos impactos negativos das mudanças climáticas, como os eventos climáticos extremos:

- I As chamadas “Soluções baseadas na natureza” (SbN), que se inspiram na natureza e fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos, com grande potencial para aumentar a resiliência de áreas mais vulneráveis a eventos climáticos de grande magnitude. Essas soluções aumentam e diversificam as características e processos naturais para as cidades, paisagens terrestres e marinhas, por meio de intervenções localmente adaptadas, eficiente em recursos e sistêmicas (European Commission, 2020; Monteiro *et al.*, 2024). O uso de SbN no planejamento das cidades tem sido aplicado no que se conhece atualmente como “cidades esponja”, as quais utilizam essas estruturas para o manejo das águas pluviais de forma a promover maior infiltração, retenção, armazenamento, tratamento e drenagem (Hamidi *et al.*, 2021). Embora esse termo tenha sido proposto em 2005 e adotado em 2013 pela China, Hamidi *et al.* (2021) citam que ele se assemelha a vários conceitos bem-sucedidos de gestão sustentável de águas pluviais, alguns praticados há décadas em diferentes lugares do mundo. Exemplos desses conceitos são: Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) no Reino Unido; Design Urbano Sensível à Água (WSUD) na Austrália; *Active, Beautiful and Clean* (ABC) em Singapura; e Gestão Paisagística de Águas Pluviais na Dinamarca. No município de Nova Friburgo, destacam-se ações relacionadas à compostagem de resíduos orgânicos, organizados por grupos de pessoas – por exemplo, os “Compostonautas” – que se mobilizam na coleta e posterior retorno de material já decomposto “humus” que pode ser utilizado em jardins.
- I A agricultura urbana e periurbana (AUP) que podem contribuir com o fornecimento de alimentos em períodos de crises de abastecimento e catástrofes, minimizar a insegurança alimentar, reduzir as emissões de gases de efeito estufa pela redução do transporte de alimentos e aumentar a infiltração da água das chuvas por meio do aumento de áreas permeáveis. Alguns autores argumentam, inclusive, que a AUP pode ser considerada como SbN, diante de seus benefícios multidimensionais e sua contribuição para os desafios sociais, como a redução do risco alimentar (Artmann; Sartison, 2018). No município de Nova Friburgo é realizada uma ação de aproveitamento de resíduos pela empresa Águas de Nova Friburgo (Fidalgo *et al.*, 2023). Parte do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da cidade é enviada para compostagem e transformada em um fertilizante orgânico que poderá ser destinado à recuperação de áreas degradadas, manutenção de jardins e áreas verdes e plantio de árvores, com uma expectativa de produzir 360 toneladas ao ano (Águas [...], 2021), o que pode representar um incentivo ao desenvolvimento da AUP no município e uma iniciativa que pode inspirar os municípios vizinhos a se movimentarem na mesma direção.

- I A adoção de práticas agrícolas que promovam o aumento e manutenção da matéria orgânica do solo e controle da erosão, sistemas integrados de produção, zoneamento para identificação de áreas adequadas para agropecuária e melhorias genéticas para tolerância ao calor e à seca podem reduzir os impactos negativos das mudanças climáticas e promover a adaptação dos sistemas de produção e contribuir para a segurança alimentar (Mbow *et al.*, 2019).
- I A segurança hídrica e alimentar estão fortemente interligadas, uma vez que períodos de longa estiagem e eventos pluviométricos de grande magnitude, afetam não apenas as quantidades, mas também a qualidade, a variedade e a disponibilidade sazonal dos alimentos que podem ser produzidos e consumidos. Além disso, as restrições hídricas podem levar os produtores agrícolas a utilizarem fontes de água poluídas que podem então comprometer ou contaminar o abastecimento de alimentos (Michel, 2023).

A importância da adoção de processos participativos relacionados à adaptação às mudanças climáticas, considerando os potenciais benefícios gerados a partir de processos participativos podem ser organizados com base no que são e para quem são relevantes (Bryson *et al.*, 2012; Irvin; Stansbury, 2004; Mandarano, 2008). Entre os principais benefícios da adoção de processos participativos (Prutsch *et al.*, 2018) destaca-se o aumento da conscientização para a necessidade de adaptação às mudanças climáticas e cocriação de ações de adaptação entre as partes interessadas; a prevenção de conflitos pela construção de um espaço para discutir as opiniões e experiências, necessidades e preferências, conflitos e soluções potenciais; melhorar a efetividade de políticas públicas baseadas no conhecimento articulado pelas partes interessadas; e, por fim, aumentar a legitimidade, aceitação e conformidade com as ações propostas e compromisso com sua implementação.

A presença da cobertura florestal pode contribuir para a resiliência dos ecossistemas e do meio urbano. No entanto, o estágio de desenvolvimento e a localização espacial determinam o potencial de resposta da interceptação às chuvas de alta intensidade. Dessa forma, a presença de fragmentos de remanescentes florestais na paisagem e a vegetação localizada em APP não devem ser considerados suficientes para garantir o benefício das florestas em ambiente de montanha à segurança hídrica.

CONCLUSÕES

Os impactos das mudanças climáticas incluem aumento na precipitação extrema e temperatura, ocorrência de inundações e seca que podem afetar a sociedade de maneira sem precedentes, especialmente no que se relaciona à segurança hídrica e alimentar. Tais impactos representam um sério desafio para o desenvolvimento

sustentável e expõe a necessidade de soluções adequadas a cada realidade para a sua adaptação. Estar preparado para enfrentar esse cenário significa adaptar os sistemas para que se tornem resilientes e otimizados, de forma que continuem a fornecer serviços ecossistêmicos a todos os estratos da sociedade.

Além disso, as mudanças climáticas interagem com fatores socioeconômicos, físicos, ecológicos e políticos e extrapolam os limites do espaço urbano e rural. A interação desses fatores definirá o risco dos diferentes ambientes aos impactos dessas mudanças em diferentes escalas, tanto no contexto de áreas privadas quanto públicas. Isso desafia a apresentação de soluções factíveis à adaptação das cidades e a governança desse processo na divisão de responsabilidades entre governo e sociedade. Soluções restritas a determinados espaços sem considerar o seu entorno não são suficientes, uma vez que as paisagens são compostas por um complexo mosaico de usos diversos que interagem entre si o tempo todo. Em ambientes de montanha, que são extremamente expostos aos impactos das mudanças climáticas, tais interações fazem ainda mais sentido.

Assim, considera-se que um arranjo entre boas práticas de manejo do solo, conservação de áreas vulneráveis e respeito à capacidade de uso do solo, com a popularização de SbN, podem contribuir para a manutenção do provimento de serviços ecossistêmicos e para a resiliência aos eventos extremos e mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

A todos os parceiros e colaboradores do projeto. Ao CNPq pelo apoio financeiro do projeto 441595/2020-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS DE NOVA FRIBURGO. **Águas de Nova Friburgo destina lodo gerado no sistema de tratamento de esgoto para compostagem**. 15 jun. 2021. Disponível em: <https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-novafriburgo/aguas-de-nova-friburgodestina-lodo-gerado-no-sistema-de-tratamento-de-esgoto-para-compostagem/>. Acesso em: 17 out. 2023.

ANGELE, D. G.; GARMESTANI, A. S.; ALLEN, C. R.; PANARCHY, R. G. C. **Resource Guide on Resilience**. Lausanne: EPFL International Risk Governance Center. v29-07- 201. 2016 Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/148030420#page=22>

ARTMANN, M.; SARTISON, K. The role of urban agriculture as a nature-based solution: a review for developing a systemic assessment framework. **Sustainability**, 10, 1937, 2018. doi:10.3390/su10061937

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos:** inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: Banco Mundial, 2012.

BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L. A. **Forests, Water and People in the Humid Tropics**. Ed. Published by Cambridge University Press.

BRASIL. **Lei 12.651/2012**. Código Florestal Brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 23 maio 2024.

BRUIJNZEEL, L. A. C. **Tropical montane cloud forest:** a unique hydrological case¹. Chapter 18. UNESCO, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. 2005. Disponível em: http://hydrology-amsterdam.nl/personalpages/Sampurno/Bruijnzeel_2005_CUP_Ch18_TMCF.pdf

BRYSON, J. M.; QUICK, K. S.; SLOTTERBACK, C.; CROSBY, B. C. Designing public participation processes. **Public Adm. Rev.** 73:23-34. 2012. doi:10.1111/j.1540-6210.2012.02678.x

CAMPOS, F. S.; LOURENÇO-DE-MORAES, R. Anurans from Mountain chain Serra do Mar: a critical area for amphibian conservation in the Atlantic Forest, Brazil. **Herpetology Notes**, vol. 10. 2017.

COMPERJ. **Agenda 21 de Nova Friburgo**. Rio de Janeiro, 2011, 178 p.

DADE, M. C.; MITCHELL, M. G. E.; MCALPINE, C. A.; RHODES, J. R. Assessing ecosystem service trade-offs and synergies: The need for a more mechanistic approach. **Ambio**, 48, p. 1116-1128. 2019.

DOUGHTY, C. E.; SANTOS-ANDRADE, P. E.; SHENKIN, A.; GOLDSMITH, G. R.; BENTLEY, L. P.; BLONDER, B.; **DÍAZ, S.**; SALINAS, N.; ENQUIST, B. J.; MARTIN, R. E.; ASNER, G. P.; MALHI, Y. Tropical forest leaves may darken in response to climate change. **Nature Ecology & Evolution** 2, 1918-1924. 2018.

DOURADO, F. *et al.* O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 43-54. 2012.

ECOSYSTEM service. In: IPBES. **Glossary**. Bonn, 2024. Disponível em: <https://www.ipbes.net/node/41069#:~:text=A%20service%20that%20is%20provided,that%20people%20obtain%20from%20ecosystems>. Acesso em: 29 maio 2024.

EMATER. **Relatório por municípios do sistema ASPA/AGROGEO - ano 2018**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/images/munic2018.htm> Acesso em: 17 jun. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **Nature-based solutions**. 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>. Acesso em: 25 ago. 2020.

FIDALGO, E. C. C. *et al.* **O papel da agricultura urbana como promotora da resiliência socioeconômica e ambiental das cidades**: destaque ao município de Nova Friburgo, RJ. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. PDF (27 p.). – (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 239). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1158240/1/CNPS-DOC-239-2023.pdf> Acesso em: 20 jun. 2024.

FORTUNATO, I.; BASTIDAS, J.; DO COUTO BARBOSA, J. E.; DE LIMA-GUIMARÃES, S. T. Multifuncionalidade e consumismo na paisagem do centro de São Paulo. **Cadernos de Geografia**, vol. 21, nº. 35 janeiro-junho, 2011. p. 31-55 Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

GLUSHKOVA, M.; ZHIYANSKI, M.; NEDKOV, S.; YANEVA, R.; STOEVA, L. Ecosystem services from mountain forest ecosystems: conceptual framework, approach and challenges. **Silva Balcanica**. 21. 47-68. 2020. 10.3897/silvabalcanica.21.e54628

HAMIDI, A.; RAMAVANDI, B.; SORIAL, G. A. Sponge City – An emerging concept in sustainable water resource management: a scientometric analysis. **Resources, Environment and Sustainability**, vol. 5, p.100028, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100028>

HAYNES-YOUNG, R. H.; POTSCHIN, M. B. Multifunctionality and value. In: BRANDT, J.; TRESS, B.; TRESS, G. **Multifunctional landscapes**: Interdisciplinary approaches to landscape research and management. Roskild, Denmark: Centre for Landscape Research, 2000. 2000. p.11-118.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro** / Wigold Bertoldo Schäffer... *et al.* – Brasília: MMA, 2011. 96 p. il. color. 29 cm. + mapas. (Série Biodiversidade, 41).

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **APA Estadual de Macaé de Cima**: plano de manejo – análise da UC. Rio de Janeiro: Inea, 2014. 314 p.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IRVIN, R. A.; STANSBURY, J. Citizen participation in decision making: is it worth the effort? **Public Adm Rev** 64:55-65. 2004. doi:10.1111/j.1540- 6210.2004.00346.x

LUMBRERAS, J. F. ... *et al.* **Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 113 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 33). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/338523/zoneamento-agroecologico-do-estado-do-rio-de-janeiro---ano-2003> Acesso em: 20 jun. 2024.

MANDARANO, L. A. Evaluating collaborative environmental planning outputs and outcomes restoring and protecting habitat and the New York–New Jersey Harbor Estuary Program. **J Plan Educ Res** 27: 456–468. 2008. doi:10.1177/0739456X08315888

MARTIN, E. A.; FEIT, B.; REQUIER, F.; FRIBERG, H.; JONSSON, M. Assessing the resilience of biodiversity driven functions in agroecosystems under environmental change. *In: Advances in Ecological Research*. Elsevier, pp. 59–123. 2019. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2019.02.003>

MATA, A. P. **Legislação ambiental e uso atual do solo: o caso da microbacia do córrego de São Lourenço – Nova Friburgo, RJ**. Niterói. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2006.

MATA-GUEL, E. O.; SOH, M. C. K.; BUTLER, C. W.; MORRIS, R. J.; RAZGOUR, O.; PEH, K. S. H. Impacts of anthropogenic climate change on tropical montane forests: an appraisal of the evidence 2023. **Biol Rev**, 98: 1200–1224. <https://doi.org/10.1111/brv.12950>

MBOW, C. C.; ROSENZWEIG, L. G.; BARIONI, T. G.; BENTON, M.; HERRERO, M.; KRISHNAPILLAI, E.; LIWENGA, P.; PRA DHAN, M. G.; RIVERA-FERRE, T.; SAPKOTA, F. N.; TUBIELLO, Y. XU; FOOD SECURITY. *IN: SHUKLA, P. R.; SKEA; CALVO BUENDIA, J. E.; MASSON-DELMOTTE, V. H. O.; PÖRTNER, D. C.; ROBERTS, P.; ZHAI, R.; SLADE, S.; CONNORS, R.; VAN DIEMEN, M.; FERRAT, E.; HAUGHEY, S.; LUZ, S.; NEOGI, M.; PATHAK, J.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, P.; VYAS, E.; HUNTLEY, K.; KISSICK, M.; BELKACEMI, J. MALLEY (eds.) Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. In press. 2019.

MICHEL, D. **Water and Food: How, When, and Why Water Imperils Global Food Security**. CSIS - Centre for Strategic and International Studies. 2023. Disponível em: <https://www.csis.org/analysis/water-and-food-how-when-and-why-water-imperils-global-food-security>. Acesso em: 21 maio 2024.

MONTEIRO, J. M. G. **Lições aprendidas sobre como enfrentar os efeitos de eventos hidrometeorológicos extremos em sistemas agrícolas**. Nova Friburgo, 2014.

MONTEIRO, J. M. G.; FIDALGO, E. C. C.; TURETTA, A. P. D. Prior indication of agricultural Nature-Based Solutions (NbS) for water and food security in the context of climate change. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER ENERGY FOOD AND SUSTAINABILITY*, 3., 2023, Leiria. **Proceedings** [...]. Cham: Springer, 2024. p. 677-688. ICoWEFS 2023. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48532-9_630

NICOLETTI, A. L.; REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A. Intercepção e escoamento superficial em diferentes estágios de regeneração da Floresta Atlântica, sul do Brasil. **Ciência Florestal**, 32(4), 2113–2135. 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509866884>

PRUTSCH, A.; STEURER, R.; STICKLER, T. Is the participatory formulation of policy strategies worth the effort? The case of climate change adaptation in Austria. **Reg Environ Change** 18:271-285. 2018. DOI 10.1007/s10113-017-1204-7

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S.; FOLEY, J. A.; FOLKE, C.; WALKER, B. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, 413, 591-596. 2001.

SLAYMAKER, O.; EMBLETON-HAMANN, C. Advances in global mountain geomorphology. **Geomorphology**, Vol. 308, 2018, Pages 230-264, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.016>

SOS Mata Atlântica. **Casa da maioria dos brasileiros**. São Paulo: Fundação SOS Pro-Mata Atlântica; 2020 [citado 2020 Jan 22]. Available from: <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>

TÁVORA, G. S. G.; TURETTA, A. P. D.; DA SILVA, A. S.; SIMÕES, B. F. T.; NEHREN, U. Trade-offs and synergies in agricultural landscapes: A study on soil-related ecosystem services in the Brazilian Atlantic rainforest. **Environmental and Sustainability Indicators**, Vol. 16, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100205>

WEISE, H. *et al.* Resilience trinity: safeguarding ecosystem functioning and services across three different time horizons and decision contexts. **Oikos**, 129, 445-456 (2020).



SEGUNDA PARTE

PRÁTICAS DE MANEJO PARA PRESERVAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO SOLO