

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

*Lucilia Maria Parron
Junior Ruiz Garcia
Edilson Batista de Oliveira
George Gardner Brown
Rachel Bardy Prado
Editores Técnicos*

Embrapa
Brasília, DF
2015

Serviços ambientais no bioma Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro: abordagem metodológica e desafios

Rachel Bardy Prado, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Fabiano de Carvalho Balieiro, Heitor Luiz da Costa Coutinho, Ana Paula Dias Turetta, Alexandre Ortega Gonçalves, Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira, Azeneth Eufrausino Schuler, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Maurício Rizzato Coelho, Guilherme Kangussu Donagemma, Alba Leonor da Silva Martins, Eliane de Paula Clemente, Aline Pacobayba de Oliveira

Resumo: Estudos recentes têm abordado a necessidade em se avaliar e monitorar os impactos das ações antrópicas nos serviços ambientais, em diferentes regiões do mundo, para que se possam propor medidas mitigadoras eficientes. No caso da agricultura muitos são os impactos sobre os serviços ambientais, podendo ser positivos ou negativos, de acordo com o tipo de manejo que se adota e práticas conservacionistas. Apresentam-se algumas contribuições para suprir a lacuna de informações, conhecimento e conscientização sobre os serviços ambientais no meio rural. Tem como propósito apresentar uma descrição de experiências relacionadas ao estudo dos serviços ambientais em bacias hidrográficas do bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro, com abordagem multidisciplinar. Serão abordados os temas: qualidade da água, hidrologia, agrometeorologia, dinâmica de uso da terra, qualidade dos solos (físico, química), estoque de carbono, produção de sedimentos, estrutura da paisagem, pesquisas participativas e agroturismo, relacionando-os com os diferentes serviços ambientais. De forma mais específica serão apresentados e discutidos os principais métodos, resultados, indicadores e ferramentas aplicados em cada tema, cuidados que se deve tomar no monitoramento dos serviços ambientais (como a inclusão do produtor rural no processo), facilidades e dificuldades encontradas e algumas recomendações.

Palavras-chave: Qualidade da água, hidrometeorologia, dinâmica de uso da terra, qualidade dos solos, estoque de carbono, produção de sedimentos, estrutura da paisagem, pesquisas participativas, agroturismo.

Ecosystem services in the Atlantic Forest biome in the state of Rio de Janeiro: lessons and challenges

Abstract: Recent studies have addressed the need to assess and monitor the impacts of human activities on ecosystem services in different regions of the world to propose effective mitigation measures. Agriculture has many impacts on ecosystem services, which can be positive or negative, depending on management and conservation practices. We present some contributions to fill the gap of information, knowledge and awareness on ecosystem services in rural areas. It provides a description of experiences related to ecosystem services research in watersheds of the Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro, using a multidisciplinary approach. Topics covered include: water quality, hydrology, agro-meteorology, land use dynamics, soil quality (physical, chemical), carbon storage, sediment production, landscape structure, participatory research and agritourism. More specifically, we discuss the main methods, indicators and tools applied, some results as well as the care that should be taken in monitoring ecosystem services (including of rural producers in the process), facilities and difficulties, ending the chapter with some recommendations.

Keywords: Water quality, hydrometeorology, dynamic land use, soil quality, carbon storage, sediment production, landscape structure, participatory research, agritourism.

1. Introdução

O aumento populacional tem tornado crescente a demanda por recursos como água, alimentos, fibras e energia, levando a um efeito deletério sobre os serviços ambientais fornecedores destes mesmos recursos. De acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005), os serviços ambientais se degradaram mais rapidamente nos últimos 50 anos do que em qualquer outro período análogo da história da humanidade, com reflexos negativos ao bem-estar humano e à biodiversidade.

O bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro, tem passado por diferentes fases de degradação, da mesma forma que outros ecossistemas no mundo. Ciclos econômicos de exploração dos recursos naturais sucederam-se no Brasil (extração de madeira, mineração de ouro, produção de cana-de-açúcar, cafeicultura, pecuária, indústria de base e petroquímica), sem uma visão conservacionista, levando à redução drástica de sua cobertura vegetal e à construção de estradas, vilas e cidades, especialmente nas regiões vizinhas ao Rio de Janeiro, antiga capital federal. A situação dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, atualizada para 2010-2011 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012), aponta desflorestamentos da ordem de 13.312 ha, ou 133 km², neste período. Destes, 12.822 ha correspondem a desflorestamentos, 435 ha à supressão de vegetação de restinga e 56 ha à supressão de vegetação de mangue. É o bioma mais ameaçado do Brasil: restam somente 7,9% de remanescentes florestais em fragmentos acima de 100 ha.

Para Nicholson et al. (2009), a importância em se estudar os serviços ambientais tem sido amplamente reconhecida e progressos rápidos têm ocorrido neste sentido. Entretanto, prevalece ainda uma abordagem estática, baseada na avaliação independente de cada serviço ecossistêmico, ignorando o fato de que os ecossistemas são dinâmicos e requerem uma abordagem multidisciplinar.

O editorial da Revista *Ecological Indicators* de 2012 ressalta que a comunidade científica precisa dar continuidade ao desenvolvimento de melhores métodos para medir, monitorar, mapear, modelar e valorar serviços ambientais em múltiplas escalas. Além disso, essa informação deve ser repassada de forma apropriada, viável e transparente aos tomadores de decisão, para que possam identificar claramente as diferenças de resultados entre as alternativas. Ao mesmo tempo, não se pode esperar por altos níveis de certeza e precisão para agir. Dado que níveis de incerteza sempre existem na

medição, monitoramento, modelagem, valoração e gestão de serviços ambientais, continuamente reunião e integração de informações adequadas, têm o objetivo de aprendizagem e aperfeiçoamento adaptativo (BURKHARD et al., 2012a).

Desta forma, este capítulo tem como propósito apresentar uma descrição de experiências relacionadas ao estudo dos serviços ambientais em bacias hidrográficas do bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro, com abordagem multidisciplinar. Serão abordados os temas: qualidade da água, hidrologia, agrometeorologia, dinâmica de uso da terra, qualidade dos solos (físico, química), estoque de carbono, produção de sedimentos, estrutura da paisagem, pesquisas participativas e agroturismo, relacionando-os com os diferentes serviços ambientais.

2. Dinâmica de uso e cobertura da terra

A mudança do uso e cobertura da terra tem impactos em uma grande variedade de atributos ambientais e paisagísticos, incluindo a qualidade de água e do solo, os recursos naturais, os processos e funções do ecossistema, e o próprio sistema climático através de fluxos de gases de efeito estufa e os efeitos do albedo da superfície (LAMBIN et al., 2000). As mudanças de uso da terra impactam a capacidade dos ecossistemas de fornecer bens e serviços para a sociedade humana. Por isso, seu conhecimento é necessário para analisar os padrões de atividades humanas ao longo do tempo e do espaço, bem como as capacidades dos diferentes ecossistemas de fornecerem serviços ambientais (BURKHARD et al., 2012b).

O estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra na área de estudo, região de Mata Atlântica no Rio de Janeiro, mostrou algumas peculiaridades que merecem destaque. Face ao histórico de ocupação desse bioma e da excessiva fragmentação de seus remanescentes (RIBEIRO et al., 2009), as mudanças não são visíveis em pequena escala. Imagens de sensores remotos de resolução baixa a média pouco evidenciam as mudanças. Como exemplo, em um período de 10 anos, ao analisar a dinâmica de uso com imagens do sensor TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7, as mudanças não são expressivas, considerando a área de 1.200 km² da bacia dos rios Guapi-Macacu (PEDREIRA et al., 2009).

Nesse caso, o uso de imagens de sensores de alta resolução parece ser mais adequado para detecção de mudanças, embora apresente limitações como o elevado custo para sua aquisição por unidade de área, o custo para o processamento de grande volume de dados digitais, e a inadequação do

emprego dos métodos de classificação baseados em pixel, mais frequentemente disponibilizados nos programas de processamento de imagens. Atualmente, as metodologias elaboradas para o mapeamento automático utilizando imagens de sensoriamento remoto de alta resolução baseiam-se em uma abordagem cognitiva, em uma análise orientada a objeto (COSTA et al., 2008; NOVACK, 2009). No entanto, o custo das licenças de uso dos aplicativos comerciais disponíveis para este propósito é demasiadamente alto (NOVACK, 2009) e o uso das técnicas dessa abordagem requerem conhecimento em padrões espectrais e princípios de sensoriamento remoto para sua aplicação.

Além disso, é importante considerar, conforme destacam LAMBIN et al. (2000), que os processos mais sutis de modificação do uso da terra são os que merecem maior atenção. Importantes alterações são causadas por mudanças na gestão do uso do solo agrícola, incluindo, por exemplo, mudanças nos níveis de insumos, ciclos de pousio, sistemas de rotação ou desenvolvimento de vegetação secundária. Nestes casos, a informação obtida em imagens de sensores remotos, devido à resolução espacial e temporal, não é suficiente para caracterizar os sistemas de produção. O detalhamento necessário para relacionar a dinâmica do uso da terra com o fornecimento e o uso dos serviços ambientais, bem como os eventuais impactos resultantes, requer visitas a campo, o que demanda investimentos em recursos materiais e humanos. Atualmente, os esforços para melhor caracterizar os sistemas de produção e sua dinâmica têm centrado na busca por metodologias participativas, de forma a envolver os produtores rurais, conforme Martins et al. (2014) e Blanco (2014).

Também cabe mencionar que o conhecimento da dinâmica de uso da terra possibilita a identificação, mapeamento e descrição das áreas com importância estratégica e das áreas com melhor capacidade de suporte natural e socioeconômico para o desenvolvimento das atividades e empreendimentos públicos e privados, entre os quais, aqueles associados ao turismo realizado no espaço rural (ecoturismo, turismo rural, agroturismo e outros), a fim de se estabelecer o planejamento estratégico de ocupação e uso das terras. Ou seja, é necessário que se pratique a conduta antecipação de ações de utilização dos recursos naturais com base na sustentabilidade, perante as potencialidades e fragilidades do ecossistema.

3. Estrutura da paisagem

A quantificação da heterogeneidade espacial da paisagem é necessária para esclarecer as relações entre processos ecológicos

e padrões espaciais (TURNER, 1990; TURNER et al., 2003), o que pode ser avaliado com o cálculo de métricas de paisagem. Muitas das métricas de paisagem foram derivadas de teorias matemáticas, tais como a teoria da percolação, geometria de fractais e teoria da informação, em um movimento semelhante ao que gerou o desenvolvimento dos índices de diversidade das espécies (LIAN LI, 2000). O aumento na disponibilidade de dados espaciais, particularmente nas últimas duas décadas, também contribuiu para o desenvolvimento, testes e aplicação das métricas de paisagem (TURNER et al., 2001).

Alguns softwares específicos para o cálculo de métricas são extensivamente usados, sendo o FRAGSTATS (MCGARIGAL et al., 2002; MCGARIGAL; MARKS, 1995) o mais popular. Alguns módulos para cálculos de métricas de paisagem também foram desenvolvidos e integrados aos sistemas de informação geográfica (SIG) como por exemplo *Patch Analyst* (REMPEL et al., 1999), que funciona integrado ao ArcGIS (ESRI, Inc., Redlands, CA).

Turetta et al. (2013) geraram uma análise de componentes principais, tendo em vista a identificação do agrupamento das métricas geradas pelo programa *Patch Analyst* (REMPEL et al., 1999) em função das classes de uso da terra da área (PRADO et al., 2009). As métricas que melhor indicaram a interação entre as classes de uso e cobertura da terra foram aquelas relacionadas à forma dos fragmentos e ao número de fragmentos (TURETTA et al., 2013)".

Conclui-se que a utilização de métricas de paisagem apresenta-se como uma potencial ferramenta para a conservação dos serviços ecossistêmicos e planejamento ambiental, uma vez que permite avaliar a relação dos diversos usos e coberturas do solo de uma paisagem.

4. Controle da produção de sedimentos

A regulação da erosão é considerada um serviço ambiental (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). A erosão do solo é um processo geomorfológico natural que pode ser intensificado devido a práticas inadequadas de uso e manejo das terras. Por sua vez, o conhecimento da vulnerabilidade dos solos à erosão é indispensável para o planejamento do uso da terra, para promover práticas de conservação do solo e também para manter os serviços dos ecossistemas que deles dependem. Estudos dos processos erosivos realizados mediante a utilização de modelos de predição de erosão e de produção de sedimentos têm sido aplicados para o planejamento de ações de conservação dos solos e da água (MINELLA et al., 2010).

O modelo empírico mais conhecido e utilizado para estimativa de taxas de perda de solo por erosão é a equação universal de perda de solo (Universal Soil loss Equation - USLE), desenvolvida em 1954 no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, USA), e posteriormente revisada por Wischmeier e Smith (1965; 1978, citados por WEILL; PIRES NETO, 2007). Embora a aplicação da equação universal de perda de solos apresente limitações para estimar a perda de solos (TALLIS et al., 2012), seu uso é muito comum. Na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, a aplicação do modelo possibilitou a espacialização de classes de perdas de solos como indicativos dos locais mais ou menos vulneráveis aos processos erosivos, considerando os dados disponíveis e suas escalas (THOMPSON; FIDALGO, 2015). Para a aplicação da USLE na bacia do Guapi-Macacu, foi empregada a ferramenta InVEST (TALLIS et al., 2012), a qual apresentou como vantagem a possibilidade de reunir todos os dados necessários em um mesmo ambiente. Com isso, o processamento e a necessidade de transformações dos dados foram simplificados, reduzindo a possibilidade de ocorrerem erros. Mesmo sendo um modelo simplificado, que emprega poucas variáveis, a grande limitação à aplicação da USLE é a dificuldade em se obter os dados necessários ao modelo, pois esses envolvem temas diversos e requerem equipe multidisciplinar para sua elaboração. O emprego de dados secundários é dificultado pela frequente ocorrência de lacunas, pois raramente cobrem toda a área e em escala adequada.

5. Qualidade da água

Os ecossistemas exercem diversas funções relacionadas aos serviços de regulação e provisão de água para o homem e manutenção da biodiversidade. Segundo Millennium Ecosystem Assessment (2005), tendências mundiais apontam que o uso humano inadequado da água impacta negativamente a capacidade dos ecossistemas proverem estes serviços e que a sua demanda será superior à oferta no futuro. Segundo 2030 Water Resources Group (2014), considerando um cenário de crescimento econômico intermediário, isto é, sem ganhos de eficiência no uso da água, a demanda de água global que atualmente está em torno de 4.500 bilhões de m³ passará para 6.900 bilhões de m³ em 2030.

A qualidade da água vem sendo comprometida devido à contaminação pontual pelos efluentes *in natura* provenientes de indústrias e domésticos, bem como por fontes difusas relacionadas ao manejo agropecuário, como fertilizantes, pesticidas e sedimentos.

Trabalhos em andamento relacionam a qualidade da água aos usos predominantes e cobertura da terra de microbacias hidrográficas rurais do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. A intensidade de uso e cobertura da terra é um dos principais critérios para a seleção das microbacias, sendo estes representativos da bacia que se pretende estudar, visto que em escala de paisagem é pouco provável encontrar sub-bacias com usos e cobertura homogêneos. Em cada microbacia, com área aproximada de 1.000 ha, são monitorados em média dez pontos, localizados no exutório das principais sub-bacias de cada microbacia, sendo um deles no exutório principal. O monitoramento sempre tem um ponto de referência da microbacia, área com predomínio de florestas onde não há interferências antrópicas. Na locação dos pontos de monitoramento considera-se a dificuldade de acesso no período chuvoso às áreas montanhosas. Na definição da frequência das coletas (bimensais ou trimestrais) são considerados a logística, custos e apoio de campo. Para se compreender as funções ecossistêmicas relacionadas aos serviços hídricos, o monitoramento deve durar no mínimo dois anos. A qualidade da água superficial tem sido avaliada e monitorada em microbacias representativas da região Serra, Norte e Noroeste do estado, com diferentes intensidades de cobertura florestal (estágio inicial, intermediário e avançado de regeneração) e usos agropecuários (predomínio de olerícolas e pastagens e em menor percentual a fruticultura, cana-de-açúcar e aipim) (MENEZES et al., 2009; PRADO et al., 2005, 2013b).

Alguns parâmetros são analisados *in situ*, a partir de uso de sonda multiparamétrica, sendo eles: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água. Em laboratório são avaliados os sólidos: totais, dissolvidos e suspensos (EATON et al., 1995), sendo que para o último a filtragem é realizada em filtros de fibra de vidro 0,45 μ m encaixados em seringas de 50 mL, o que torna o processo mais prático, sendo este procedimento o mesmo adotado para as alíquotas separadas para análise de cátions dissolvidos e ânions. Em alguns estudos, a água de poços rasos e profundos é avaliada e monitorada. Para a coleta de água subterrânea é necessário a instalação de barriletes (estrutura que permite o acesso à água subterrânea no caso de poços artesianos). Nas microbacias, onde o uso de pesticidas é intenso no cultivo de olerícolas, são avaliadas algumas substâncias mais comumente presentes como as Avermectinas, Paraquat e Mancozeb (ANDRADE DONAGEMMA et al., 2010).

Há particularidades no monitoramento dos recursos hídricos em regiões montanhosas, predominantes no estado do Rio de Janeiro (PRADO, 2011). O oxigênio dissolvido não é um bom indicador de poluição, visto que a aeração da água é grande devido às corredeiras e elevada velocidade da água. Por outro lado, a condutividade elétrica é bom indicador da presença de poluentes na água, desde que os resultados sejam comparados com os obtidos no ponto de referência da microbacia. Tem-se encontrado boa relação entre a turbidez e o teor de sólidos em suspensão, dissolvidos e totais, recomendando-se o monitoramento da turbidez em casos de recursos e tempo escassos, pela praticidade da medida em campo.

As formas fosfatadas e nitrogenadas são avaliadas e monitoradas em locais sob influência de agricultura intensiva. Índices de qualidade da água têm sido desenvolvidos e aplicados (GODOY et al., 2009; MENEZES, 2009; MENEZES et al., 2013; PRADO; DI LULLO, 2007). Também ferramentas como geotecnologias, análise estatística multivariada e análise multicritério têm sido utilizadas para a análise integrada dos resultados obtidos nas diferentes microbacias, permitindo levar em conta não somente a questão temporal, mas também a espacial, visando subsidiar tomadas de decisão e políticas públicas voltadas à gestão dos recursos hídricos. Resultados desta integração temática e modelagem incluem ações participativas e de valoração ecossistêmica em bacias hidrográficas rurais (FERREIRA, 2012; PENEDO et al., 2011; RODRIGUEZ-OSUNA et al., 2012; VERA-AGUIRRE, 2013; WERNER, 2012).

6. Hidrologia e agrometeorologia

O clima fundamentado na concepção dos fatores físicos da região é o fator básico às delimitações e análises dos potenciais naturais e de relevância à organização regional das atividades econômicas e sociais e ao desenvolvimento das plantas.

Para definir o clima de uma região é necessário considerar a atuação de fatores como a radiação solar, a latitude, a continentalidade¹, a ação de massas de ar e correntes oceânicas. Esses fatores condicionam os elementos climáticos, que compreendem a temperatura e a umidade relativa do ar, a precipitação pluviométrica, a pressão atmosférica, e a velocidade e a direção dos ventos. As variadas combinações dos valores associados a esses elementos definem as tipologias climáticas.

Neste ponto vale ressaltar que clima é a sucessão habitual dos tipos de tempo num determinado local da superfície terrestre e que tempo é o conjunto de valores de fenômenos meteorológicos que, num dado momento e num certo lugar, caracterizam o estado atmosférico.

Para compreender o clima de um determinado local, é preciso estudar as diversas condições de tempo que costumam ocorrer durante vários anos seguidos. Tanto o “clima” como o “tempo” se referem aos mesmos fenômenos meteorológicos, incluindo a radiação solar, a insolação, a pressão atmosférica, os ventos, a temperatura e umidade relativa do ar e as precipitações (chuvas, geada, e granizo).

Conhecer a dinâmica meteorológica de uma região é uma condição essencial para compreender os efeitos do clima atuante em dado ecossistema, como por exemplo a resposta hidrológica das bacias de drenagem às variações sazonais e interanuais de elementos climáticos, como temperatura e precipitação pluvial. Destaca-se que a rede meteorológica brasileira, mesmo considerando sua recente expansão, não é suficiente para prover informações necessárias a estudos hidrometeorológicos locais. Assim sendo, já desde a década de 1990, foram monitoradas diversas microbacias no Bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se diferentes tipos de equipamentos e estratégias. O monitoramento hidrossedimentológico e agrometeorológico sempre esteve vinculado a projetos de melhoria das práticas de manejo e conservação do solo em regiões suscetíveis à erosão. Atualmente, é reconhecida a relevância do monitoramento nos estudos de serviços ambientais na Mata Atlântica Fluminense.

Tecnicamente, avançou-se de medidas manuais, com equipamentos convencionais (pluviógrafos, termohigrômetros), para estações automáticas, sensores digitais (piezômetros, sensores de umidade do solo, turbidez, pH, etc.) e sensores sem fio.

Após muitos testes e esforços para diminuir a dependência da ida ao local para capturar e salvar dados gravados em registradores, chegou-se ao patamar da telemetria, i.e., medição automatizada com envio de dados à distância. Com o barateamento e popularização do uso da tecnologia GSM/GPRS, hoje é possível ter os dados disponíveis em tempo quase real na tela do computador. De posse destes dados em tempo hábil, torna-se mais fácil a verificação de problemas no sistema e sua correção para garantir dados com confiabilidade.

¹ Proximidade ou afastamento de um lugar em relação ao oceano. Este tem sobre a temperatura um efeito amenizador, não permitindo, nos lugares próximos, temperaturas muito elevadas no verão e muito reduzidas no inverno, como sucede nos lugares situados no interior.

Ocorrências de sinistros que interrompem a tomada de medidas não são afastadas, como a entrada de animais na área das estações, danificando aparelhos, em especial pluviômetros; limpeza da vegetação do entorno sem o devido cuidado, causando rompimento dos cabos, em especial dos sensores de umidade e temperatura do solo; vertedouros danificados por escavação da base ou por galhos durante enxurrada; sensores de nível e turbidez de água arrastados pelo canal durante eventos extremos de precipitação pluvial.

A experiência mostra que ainda há gargalos neste tipo de monitoramento, tendo como exemplos a necessidade de visitas para verificação de entupimento de pluviômetro, especialmente quando instalado dentro de fragmentos florestais, para reparo de cabos de sensores rompidos, e troca de baterias, que podem ter a vida útil reduzida em ambientes de elevada umidade.

As informações geradas no monitoramento hidrometeorológico de microbacias da Mata Atlântica do Rio de Janeiro, incluem: dados meteorológicos; altura da lâmina de água, vazão e turbidez nos canais principais das microbacias; variação de umidade do solo e variação da profundidade do lençol freático. Tais dados e informações colaboram para melhorar a compreensão de diversas funções relacionadas aos serviços do ecossistema, das quais se destacam: a) *Regulação climática pela cobertura vegetal*; b) *Regulação de diversas funções do ciclo hidrológico* e c) *Proteção física do solo por vegetação, cobertura morta ou serapilheira*, contra a ação das intempéries climáticas, como chuva, vento e elevação de temperatura.

Em resumo, o monitoramento hidrológico e meteorológico é essencial na avaliação dos serviços ambientais de regulação de clima local (microclima), de produção de água na bacia e de proteção contra a erosão do solo. Em conjunto com informações de uso da terra, manejo agrícola e classificação e caracterização físico-hídrica do solo, os dados hidrometeorológicos possibilitam a calibração de modelos matemáticos para simulação hidrológica e de transporte de sedimentos em cenários variados de uso e manejo do solo.

7. Qualidade do solo

O estado do Rio de Janeiro possui extensas áreas de relevo movimentado e grande diversidade de classes de solos, onde predominam propriedades rurais de pequeno porte que formam mosaicos com múltiplos usos da terra, de forma que a avaliação da qualidade do solo em regiões como essa seja um grande desafio para a pesquisa. Mensurar a saúde

do solo implica em amostrá-lo adequadamente (dentro da escala e dos objetivos do trabalho), selecionar um conjunto mínimo de atributos indicadores que possam ser facilmente medidos, tenham baixo custo de análise e que sejam sensíveis a alterações de uso e manejo daquele solo (DONAGEMMA et al., 2010; DORAN; PARKIN, 1994; LOPES et al., 2013; TÓTOLA; CHAER, 2002). Implica ainda em entender o agricultor e seu sistema de produção para que as mudanças propostas em seu manejo, com vistas na melhoria da qualidade do solo, sejam viáveis e compatíveis com sua lógica, bem como sua necessidade e capacidade de produção. Entende-se ainda que para essas mudanças (de manejo) ocorrerem de fato, é imprescindível a internalização e apropriação do conceito e dos benefícios dos serviços ambientais por esses agricultores (MACFADYEN et al., 2012).

Nesse sentido, tem sido adotadas as unidades pedoambientais (UPs), isto é, áreas ou polígonos com atributos de solo (classe) e tipo de cobertura/uso da terra o mais semelhantes possíveis para nortear as amostragens em microbacias (PRADO et al., 2013a). Para a definição das UPs, inicialmente são utilizadas análises espaciais integradas entre os mapas de solo, o de uso e cobertura da terra e o modelo digital de elevação (MDE) da área de estudo. Para seleção de pontos de amostragem pode-se utilizar ferramentas estatísticas que sugerem a localização dos pontos de amostragem a partir da variação de atributos do solo na paisagem (ex., método do Hiper Cubo Condicionado) (MINASNY; McBRATNEY, 2006) ou análises espaciais em ambiente SIG. Porém, o confronto e a discussão dos resultados dessas ferramentas com a verificação em campo são fundamentais e necessários. Isso torna comum ajustes nos procedimentos de amostragem, para que a microbacia seja bem representada em termos da variabilidade espacial e de sistemas de produção.

A profundidade de 0-10 cm é preferencialmente adotada, devido à concentração do sistema radicular da maioria das culturas nessa camada onde, conseqüentemente, há maior atividade biológica do solo e perturbações causadas pelo manejo. Em avaliações em curto prazo, a amostragem de camadas mais superficiais (0-5 cm) pode elevar a sensibilidade de determinados indicadores. Porém, na amostragem de sistemas com culturas perenes, é recomendada também a amostragem de camadas inferiores (chegando até 40 cm) devido à profundidade do sistema radicular e à aplicação de insumos que podem atingir essas profundidades. A definição da profundidade a ser amostrar também pode ser influenciada pelo potencial de prestação de serviços ambientais do solo

(ou do sistema) e do objetivo da amostragem. Por exemplo, se o foco for o estudo da regulação hídrica, é necessária a avaliação de camadas mais profundas do solo; por outro lado, se o serviço em questão for a produção de alimentos, o foco pode ser a camada arável, e assim por diante. Então, para que a amostragem possa responder aos questionamentos do trabalho de forma apropriada, é preciso levar em conta os objetivos das análises, ou seja, os serviços que se pretende avaliar.

Para o estudo da avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos da microbacia do Córrego Pito Aceso, em Bom Jardim, região Serrana do Rio de Janeiro, o desenho amostral (citado anteriormente) gerou 120 amostras compostas de solos, representando 60 pontos amostrais e abrangendo os terços superior, médio e inferior da encosta (consistindo em 3 repetições). Cada amostra composta foi confeccionada a partir da mistura de no mínimo oito amostras simples de solo de igual volume, retiradas da profundidade de 0-10 cm, com auxílio de um trado holandês.

Uma vez homogeneizadas em campo, cada amostra foi subdividida em duas partes, sendo uma parte acondicionada em caixa térmica, para análises microbiológicas (especialmente o carbono da biomassa microbiana do solo, a respiração basal e a atividade de enzimas do solo, como as fosfomonoesterases ácida e alcalina, a β -glicosidase, a arilsulfatase e da hidrólise da fluoresceína diacetato. A partir dos valores do carbono da biomassa microbiana (CBM) e do conteúdo de matéria orgânica e da respiração basal são determinados ainda o quociente microbiano ($qMIC$) e metabólico (qCO_2), respectivamente). A outra parte da amostra é identificada e acondicionada em saco plástico, seca ao ar, ou estufa a 40 °C, peneirada em malha de 2 mm e nela são realizadas as determinações de pH, P e K disponíveis, Ca, Mg e Al trocáveis, acidez potencial (H+Al) e o C orgânico total.

O fracionamento físico e químico da matéria orgânica tem sido utilizado no contexto de avaliação da qualidade do solo em sistemas de produção da região serrana, mostrando, inclusive, variações na sua sensibilidade em função da classe de solo estudada (BENITES et al., 2010; FREITAS et al., 2013; PINHEIRO et al., 2004).

Atributos físicos, como a textura e a densidade do solo também são avaliados, sendo que para a textura, são utilizadas subamostras. Para a determinação da densidade, macro e micro porosidade e porosidade total, são utilizadas amostras não deformadas, coletadas com anel volumétrico (100 cm³) nos pontos associados às coletas realizadas com o trado.

O aprofundamento do conhecimento das partículas da fração areia tem sido também focado pela equipe (CLEMENTE; OLIVEIRA, 2013), por auxiliar na interpretação de questões relacionadas tanto à dinâmica de sedimentos, gênese e classificação de solos, como também na avaliação do comportamento físico (dos agregados em relação aos usos) e geotécnico do solo. A análise de imagens digitais obtidas por meio de câmeras acopladas a microscópios, lupas ou, eventualmente, scanners de mesa são processadas por meio de programas específicos a este fim, e quantificadas com base em parâmetros morfológicos descritos na literatura. Os softwares mais utilizados pela equipe de física que se concentra nesses estudos são o Quantiporo (FERNANDES FILHO; VIANA, 2001), que auxilia a análise morfométrica de agregados e o ImageJ 1.47t (FERREIRA; RASBAND, 2012), para o tratamento das imagens e análises quantitativas.

Em função da multifuncionalidade do solo, a avaliação da sua qualidade envolve a integração de atributos diversos. Durante muito tempo a análise de dados em ciência do solo envolveu a análise univariada, onde apenas uma variável é medida sistematicamente nas várias amostras. Com a sofisticação das técnicas instrumentais de análise e de processamento de dados por meio de computadores, o uso da análise multivariada tornou-se crescente, uma vez que leva em consideração a correlação de muitas medidas simultaneamente, permitindo a extração de uma quantidade muito maior de informações (POPPI; SENA, 2000; RACHID et al., 2012; SILVA et al., 2009; SOUZA et al., 1997; TÓTOLA; CHAER, 2002). Entre os métodos de análise mais utilizados está a análise de componentes principais (ACPs), que possui a finalidade básica de reduzir os dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. Poppi e Senna (2000) descrevem os procedimentos matemáticos e gráficos envolvidos nessa análise e na caracterização dos chamados componentes principais (CPs), que na realidade são variáveis novas e independentes (ortogonais e não correlacionadas) que explicam partes da variância total contida nos dados originais. Essas CPs explicam a maior parte da informação relevante, simplificando com isso a interpretação dos dados e eliminando a informação desnecessária. Da mesma forma o método *Nonmetric Multidimensional Scaling* (NMS) possui objetivos semelhantes a PCA e tem sido usado com frequência na avaliação da qualidade do solo (BALIEIRO et al., 2005; GOMES et al., 2012; RACHID et al., 2012).

Outra abordagem é o uso de modelos denominados índices de qualidade do solo (IQS), que têm sido propostos não

apenas para diferenciar alterações na qualidade do ambiente, mas relacionar índices numéricos elevados a solos com melhor qualidade e vice-versa (BURGUER; KELTING, 1999; CHAER, 2001, 2010; PANIAGUA et al., 1999). Esses índices podem ser uma estratégia interessante de se demonstrar o potencial de prestação de serviços ambientais pelo solo e que possuem potencial para serem usados em tomadas de decisão relacionadas à eficiência de ações implementadas por projetos de pagamentos por serviços ambientais. Porém, o uso generalizado de modelos, sem considerar as variações dos atributos em função do tipo de solo, e o método para atribuição de pesos às funções e aos indicadores do solo tornam o uso desses índices questionáveis, quando se pretende fazer comparações entre estudos realizados em regiões com características diferentes.

Ter um conjunto mínimo de indicadores de qualidade de solo e de limites desses indicadores para cada solo e ambiente é um grande desafio, mas que deve ser perseguido incansavelmente. A título de exemplo, um grupo de pesquisadores da Embrapa (LOPES et al., 2013) já conseguiu calibrar faixas de valores para enzimas do solo para áreas do Cerrado cultivadas com soja, representando um avanço na avaliação da qualidade do solo desses sistemas, anteriormente assistidos quase que unicamente pela análise de fertilidade de rotina. Implementar uma rotina de análise de solo onde atributos biológicos/bioquímicos do solo possam ser monitorados em consonância com outros, complementam e enriquecem ainda mais o julgamento do estado de qualidade de solo dessas áreas.

8. Estoque de carbono no solo

O sequestro de carbono pelos solos representa o principal mecanismo de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) nos ecossistemas terrestres (PARRY et al., 2007). A mudança de uso e cobertura da terra e as práticas de manejo dos solos, das florestas e dos sistemas agropecuários afetam o balanço de GEE pelo aumento ou decréscimo dos seus estoques de carbono e fluxos associados. Essa quantidade de carbono orgânico estocado no solo pode ser estimada ou medida e utilizada para valoração do serviço ambiental carbono.

A equipe da Embrapa Solos tem participado de alguns projetos no estado do Rio de Janeiro, em parceria com a Secretaria de Agricultura do Governo estadual, que visam o apoio à adoção de práticas agrícolas sustentáveis e à conservação dos recursos naturais em propriedades familiares, tais como sistemas de pastejo rotacionado, proteção

de nascentes e córregos, recuperação de matas ciliares, implantação de sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas.

Mais especificamente, esta equipe tem realizado o monitoramento do estoque de carbono dos solos em áreas selecionadas, com o objetivo de avaliar o potencial de redução de emissão de carbono das intervenções realizadas pelos projetos e contribuir para a valoração do serviço ambiental carbono. Nesse contexto, tem sido estimado o estoque de carbono dos solos sob áreas de pastagens (uso do solo mais representativo do estado do Rio de Janeiro) e florestas, a fim de obter uma referência (linha de base) do estoque de carbono do solo em áreas onde serão realizadas as intervenções. Até o momento, os levantamentos de estoque de carbono foram realizados em três microbacias, localizadas no norte (São Francisco de Itabapoana), no noroeste (São José de Ubá) e na região serrana (Trajano de Moraes) do estado do Rio de Janeiro.

A metodologia adotada para avaliação e monitoramento do estoque de carbono do solo prevê a seleção de área de remanescente florestal em estágio sucessional médio ou avançado de regeneração e de pastagens situadas na mesma superfície morfopedológica e em áreas contíguas, com tamanhos mínimos de 1 ha. Para tal, foram demarcados três transectos de 50 m de extensão situados perpendicularmente à linha de declive e localizados nos terços superior, médio e inferior da vertente, ou equidistantes em áreas sem declive acentuado (menor que 5%). Foram abertas três minitrincheiras, de 100 cm de profundidade, em cada transecto, equidistantes 15 m, totalizando nove minitrincheiras em cada área. Em cada minitrincheira as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-100 cm e, nelas, analisadas os atributos químicos de rotina, a granulometria e a densidade do solo (CLAESSEN, 1997). O estoque de carbono orgânico dos solos foi calculado pela equação proposta por Ellert e Bettany (1995). No terço médio de cada área de estudo foram abertas duas trincheiras de dimensões aproximadas de 2,0 m x 1,5 m x 2,0 m (comprimento x largura x profundidade), visando a caracterização e classificação dos solos.

Os resultados da avaliação do estoque de carbono sob floresta e pastagem no município de São José de Ubá, RJ mostraram que a área de pastagem apresentou maior estoque em relação à floresta, com valores de 83,2 e 70,8 Mg ha⁻¹, respectivamente. O estudo também revelou a importância de se estudar os atributos dos solos em topossequência, já que variam em função de sua posição na paisagem. Para o estoque



de C, observou-se a seguinte tendência na área de estudo: maiores valores no terço superior, reduzindo à medida que se caminha para o terço inferior da vertente.

Na literatura são encontrados resultados controversos quanto à capacidade dos solos acumular carbono orgânico sob floresta, quando comparados aos solos sob pastagens, ora apontando valores superiores do estoque de carbono do solo em florestas em relação às pastagens (MENDONÇA-SANTOS et al., 2005), ora o contrário ou ainda diferenças não significativas (COSTA et al., 2009). Esses resultados contraditórios podem estar relacionadas a uma série de fatores, como variação no tipo de vegetação natural e seu estágio sucessional, as características e variações intrínsecas e extrínsecas dos solos entre os ambientes, o tipo de plantas forrageiras utilizada nos estudos, a época e o protocolo de amostragem (COSTA et al., 2009; SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Apesar de a metodologia adotada apresentar resultados satisfatórios, indicando, por exemplo, a relevância de se estudar os atributos dos solos em topossequência, um procedimento alternativo que merece maiores estudos é a coleta de amostras apenas no terço médio das vertentes em áreas declivosas. Se por um lado o trabalho de Coelho et al. (2011) mostrou ser essa uma alternativa mais econômica e cientificamente acurada na avaliação do estoque de C, reduzindo a densidade de amostragem em relação ao protocolo de amostragem utilizado; por outro, a limitada abrangência do estudo inviabiliza sua recomendação como protocolo de amostragem para avaliação do estoque de carbono em áreas fisiograficamente distintas e sob diferentes usos e coberturas vegetais em relação àquelas estudadas.

Outra questão metodológica que permeia as discussões entre a equipe de monitoramento do estoque de carbono é a necessidade de coleta até 100 cm de profundidade. Um dos principais motivos desse questionamento é que as alterações do estoque de carbono do solo, devido à adoção de práticas que beneficiam o aumento da matéria orgânica, são mais variáveis na profundidade até 30 cm, ao menos na escala temporal comumente adotada no monitoramento (EGGLESTON et al., 2006).

Dentre os ajustes metodológicos necessários, ressalta-se o desenvolvimento ou adaptação de metodologias mais simplificadas e de baixo custo, a fim de utilizar a quantificação de carbono orgânico no solo sob diversos usos e práticas de manejo como forma de pagamento ao agricultor pelo serviço ambiental carbono, estimulando-os ao desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

9. Agroturismo

O turismo e o lazer são algumas das novas funções do espaço rural. O agroturismo, um segmento do turismo rural associado à atividade agropecuária, vem se destacando no Brasil como uma forma alternativa de desenvolvimento rural, aumento da renda dos pequenos produtores rurais e, ao mesmo tempo, de conservação dos recursos naturais, culturais e paisagísticos de espaços agrários (PEDREIRA, 2006). Está baseado no uso multifuncional da terra e representa um bom equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a utilização dos recursos da terra. Bem conduzida, essa atividade pode servir como fonte geradora de serviços ambientais culturais, ou seja, aqueles referentes aos benefícios intangíveis que os ecossistemas propiciam aos seres humanos, tais como: religiosos, espirituais, culturais, sociais, patrimoniais, paisagísticos, recreacionais, educacionais e estéticos (ASSOCIAÇÃO DE AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005; GUEDES; SEEHUSEN, 2012).

Visando complementar a abordagem multidisciplinar necessária à identificação e/ou ao estudo dos serviços ambientais potenciais existentes na bacia do Guapi-Macacu, vem sendo realizado um projeto de pesquisa que visa diagnosticar a viabilidade de implantação de práticas agroturísticas nessa região envolvendo os pequenos produtores rurais familiares, com foco no município de Cachoeiras de Macacu. Esse projeto prioriza o desenvolvimento socioeconômico da região, aliado à questão da conservação ambiental e envolve o levantamento de dados secundários e informações coletadas junto aos atores locais representantes de órgãos públicos e privados e, também, por meio de visitas realizadas em propriedades rurais, empreendimentos agroindustriais e meios de hospedagem. O conjunto de informações levantadas foi sintetizado em um relatório diagnóstico, que contém, ainda, um mapa de pontos de interesse agroturístico identificados no município em estudo. Com base nesse diagnóstico, vem sendo elaborado um plano básico preliminar de orientação às possíveis iniciativas de agroturismo que venham a surgir nas comunidades rurais produtivas de base familiar do município e região, visando imprimir sustentabilidade à atividade.

Os principais fatores positivos identificados na região em relação à potencialidade ao agroturismo são a sua vocação agrícola e pecuária, a predominância de pequenas propriedades rurais que desenvolvem a agricultura familiar, a existência de assentamentos agrícolas, a diversificação da produção agropecuária, a presença de agroindústrias artesanais e a intenção da gestão pública atual em valorizar o turismo

em seu espaço rural. Como principais limitações, podem ser apontadas: a falta de mão de obra disponível e qualificada para atuar em atividades voltadas ao turismo, a falta de articulação efetiva entre os setores público e privado em relação ao turismo rural, a falta de adequação das propriedades rurais e de outros empreendimentos rurais para atuar na recepção de visitantes e a falta de orientação, planejamento e de definição de legislação específica para o desenvolvimento da atividade, além de deficiências em infraestrutura.

Em síntese, a região apresenta um conjunto de características que favorecem a prática de atividades agroturísticas envolvendo pequenos produtores rurais familiares e a comunidade local como um todo. Entretanto, há limitações que evidenciam a necessidade de um melhor planejamento e gestão das atividades ligadas ao setor turístico no meio rural, a fim de orientar o seu adequado desenvolvimento.

Existe um vasto campo para estudos em relação à questão da aplicação de instrumentos de compensação econômica, como é o caso do pagamento por serviços ambientais (PSA), envolvendo turismo rural em região de predomínio de agricultura familiar. O agricultor pode ser um agente importante na conservação de ecossistemas, paisagens e do patrimônio arquitetônico e cultural, e por isso devem ser criadas condições de permanência da população agrária nos núcleos rurais (OREA, 1994). Nesse sentido, fica evidente a importância da participação dos agricultores nas decisões a respeito da gestão dos recursos naturais e a necessidade de conscientização ambiental, para que as atividades relacionadas ao turismo realmente favoreçam a conservação da paisagem rural e a qualidade dos recursos naturais existentes.

10. Pesquisa participativa para o desenvolvimento rural sustentável

O pensamento cartesiano de Descartes (1596-1650) era caracterizado por fatores mensuráveis quantitativos; pelo reducionismo (método analítico) e pelo entendimento de que o universo e os organismos vivos funcionavam de acordo com as leis mecânicas (MOTA et al., 2005). Nesse contexto, o homem era considerado um fator perturbador e como sujeito não teve lugar nesse pensamento. Entretanto, o método analítico tornou-se instrumento principal da ciência moderna e foi extremamente útil no desenvolvimento de teorias científicas e na concretização de complexos projetos tecnológicos (CAPRA, 1993), a exemplo das tecnologias geradas na Era industrial (1760-1870).

A agricultura àquela época buscava o aumento de produtividade e a eficiência econômica, tendo sua máxima expressão na Revolução Verde. Nesse modelo, a abordagem de comunicação por transmissão (transferência de tecnologia) não considerava as diferenças socioeconômicas de cada agricultor e as tecnologias desenvolvidas pelas instituições de pesquisa não eram apropriadas pelos grupos. Por isso, grande parte das sociedades rurais foi excluída do processo de desenvolvimento (BENEZ et al., 2013; MOTA et al., 2005).

A abordagem sistêmica foi introduzida em pesquisa e extensão em função das críticas aos impactos da Revolução Verde. Além disso, as demandas de sustentabilidade na agricultura passaram a requerer novas abordagens, onde a importância da participação do agricultor no processo de pesquisa agropecuária se evidenciou. A partir de então vários modelos e métodos participativos foram formulados pelos principais centros de pesquisa estaduais, nacionais e internacionais, a exemplo do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (BENEZ et al., 2013).

No Brasil, com a ampliação da fronteira agrícola acentuaram-se de forma significativa os impactos socioambientais e culturais, tornando o espaço rural em um sistema complexo. Desta forma, o conceito de participação foi incorporado nos processos de geração e difusão do conhecimento e de desenvolvimento rural. Segundo Barrios et al. (2011), o conhecimento do local tem recebido maior atenção por sua importante contribuição no desenho de estratégias para o manejo sustentável dos recursos naturais.

Nas últimas décadas, a preocupação com a conservação do ambiente, bem como o enfoque participativo têm estado presentes em iniciativas e projetos desenvolvidos por instituições de ensino, pesquisa e extensão, públicos e privados. Estas se relacionam principalmente à agricultura familiar, estimulados por agências financeiras, como por exemplo o Banco Mundial. Neste contexto estão inseridas as pesquisas participativas desenvolvidas na Embrapa Solos. Também políticas públicas municipais, estaduais e federais, implementadas por prefeituras, secretarias de agricultura e meio ambiente estaduais, pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), dentre outros, tem reforçado este tipo de abordagem participativa.

Existe uma diversidade de teorias e métodos de pesquisa participativa que caracterizam as especificidades para a construção do conhecimento. Nesse contexto, alguns aspectos são considerados importantes: conhecimento

local e científico; ator principal nas decisões sobre pesquisa, tecnologia e desenho de processo; responsabilidade e poder; controle sobre recursos (financeiros, humanos, produtivos); nível e função de organização social; e principal ator de aprendizagem (PINHEIRO; BOEF, 2005).

De acordo com Benez et al. (2013), as características teóricas das pesquisas participativas incluem a abordagem construtivista e o uso de métodos qualitativos, bem como o enfoque sistêmico. Estas se baseiam no diálogo e na comunicação que complementam pesquisas quantitativas no sentido de melhor entender os fatores que estimulam certas escolhas em diferentes contextos e categorias sociais. Além disso, possibilitam com que os agricultores, com base em suas experiências e conhecimentos participem da elaboração das propostas de pesquisa, colocando em pauta suas necessidades e expectativas em relação à construção do conhecimento.

A Embrapa tem se destacado na participação de alguns projetos que envolvem métodos de pesquisa participativa, a exemplo de um projeto liderado pela equipe da Embrapa Solos em andamento, que tem como público-alvo a agricultura familiar no município de Cachoeiras de Macacu, na comunidade de Faraó, no contexto do bioma Mata Atlântica. O projeto considera os atores sociais como agentes de transformação do seu meio, e cujo objetivo constitui na caracterização dos sistemas produtivos locais, a partir do diagnóstico participativo para intervenção nesses sistemas, almejando a conservação do solo e da água, assegurando a manutenção dos principais serviços ambientais e o bem-estar humano. O projeto também tem aplicado a metodologia denominada Integração Participativa de Conhecimento sobre Indicadores de Qualidade do Solo (INPaC-S) (BARRIOS et al., 2011), que tem por objetivo a integração do conhecimento local em sistemas de monitoramento da qualidade do solo e processos de tomada de decisão, visando o manejo sustentável dos recursos naturais.

Estes métodos de pesquisas participativas tanto permitem estreitar as relações entre produtores, *stakeholders*, pesquisadores, extensionistas e tomadores de decisão, assim como podem atender às diferentes escalas de problemas socioeconômicos e ambientais; integrar e traduzir a linguagem técnico-científica; facilitar a realização de programas conservacionistas e de compensação econômica, como por exemplo os programas de PSA; subsidiar as políticas públicas para soluções e tecnologias para a agropecuária mais adequadas à realidade local, e dessa forma contribuir para o desenvolvimento rural sustentável.

Outro projeto que conta com a participação do grupo de Pesquisa Participativa é o “Transição Produtiva e Serviços Ambientais”, que é coordenado pela Embrapa Cerrados, e visa a transição de diversos sistemas tradicionais de produção em sistemas mais sustentáveis, dos biomas Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado.

11. Considerações finais

O bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro passou por vários ciclos de degradação e seus remanescentes florestais encontram-se, na sua maior proporção, em relevo movimentado, onde a agricultura de pequena escala ocorre intermeada, muitas vezes em áreas de APP. Esta peculiaridade gera uma demanda por estudos que possam subsidiar a conservação dos serviços ambientais em prol de uma agricultura mais sustentável no bioma. As pesquisas relacionadas aos serviços ambientais no bioma Mata Atlântica nesse Estado avaliam e monitoram o impacto do uso e manejo da terra nos serviços ambientais no nível de bacia hidrográfica, fazendo uso de indicadores de qualidade de solo, estoque de carbono, água, perdas de solo, clima; assim como utilizando modelos matemáticos e ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para mapear a dinâmica de uso e cobertura da terra, métricas de paisagem, visando compreender os agroecossistemas como um todo, levando em conta os serviços ambientais culturais e pesquisas participativas. No entanto, muitos são os desafios encontrados, sendo estes, de modo geral, relacionados à logística e custos necessários às coletas e análises dos indicadores de serviços ambientais, bem como sua integração, sendo estes apresentados neste capítulo com bastante detalhamento. Percebe-se uma demanda crescente por indicadores e métodos de baixo custo e de fácil análise e interpretação dos resultados pelos tomadores de decisão, para que possam subsidiar políticas públicas. Serviços ambientais culturais e pesquisas participativas são quesitos importantes mas ainda muito tímidos na maioria dos projetos. Isto se deve ao número reduzido de pesquisadores com formação e atuantes nesta área. Fatores que merecem destaque nessa abordagem são: considerar a realidade local, a visão e a experiência do homem do campo ao longo do desenvolvimento das pesquisas; buscar soluções mais práticas, interagindo o conhecimento empírico e científico para atender às demandas emergenciais das comunidades rurais no que tange a sustentabilidade e bem-estar no campo; apresentar os principais resultados e sua aplicação

ao final dos projetos para as comunidades e produtores rurais envolvidos; e buscar continuidade das ações. Uma rede de pesquisa no tema Serviços Ambientais encontra-se em andamento na Embrapa, sendo oficializada por meio do “Arranjo de Projetos em Serviços Ambientais na Paisagem Rural”, o que facilitará a troca de experiências e melhoria do fluxo de informação acerca do tema com equipes atuantes nos demais trechos do bioma Mata Atlântica, assim como em outros biomas brasileiros.

Referências

2030 WATER RESOURCES GROUP. **Charting our water future: economic frameworks to inform decision-making**. 2009. Disponível em: <http://www.2030waterresourcesgroup.com/water_full/Charting_Our_Water_Future_Final.pdf>. Acesso em: 6 maio 2014.

ANDRADE DONAGEMMA, R.; DONAGEMMA, G. K.; PRADO, R. B.; CAMPOS, T. M. P. **Validação de método espectrofotométrico para avaliação e monitoramento de paraquat em solo e água no município de Bom Jardim-RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 39 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 174).

ASSOCIAÇÃO DE AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Ecosistemas e bem-estar humano: estrutura para uma avaliação**. São Paulo: SENAC, 2005. 384 p.

BALIEIRO, F. C.; CHAER, G. M.; REIS, L. L.; FRANCO, N. O.; FRANCO, A. A. Qualidade do solo em área degradada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental**. Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: integração participativa de conhecimentos sobre indicadores de qualidade do solo: guia metodológico**. Nairobi: ICRAF: Embrapa: CIAT, 2011. 178 p.

BENEZ, M. C.; GÓMEZ, C. U.; PINHEIRO, S. L. G.; SIMON, A. A. Pesquisa-extensão e aprendizagem participativa (PEAP): a formação de equipes interinstitucionais e a implementação de dez experiências-piloto em Santa Catarina. In: SIMON, A. A.; PINHEIRO S. L. G.; GÓMEZ, C. U.; BENEZ, M. C. **Marcos de referência teórico e histórico: contexto do desenvolvimento de experiências de PEAP**. Florianópolis: Epagri, 2013. p 11-14.

BENITES, V. M.; MOUTTA, R. O.; COUTINHO, H. L. C.; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 685-690, 2010.

BLANCO, M. A. M. **Análisis de la erosión mediante modelado e indicadores visuales en la microcuenca Batatal, rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão de Recursos nos Trópicos e Subtrópicos) - Universidade Autonoma de San Luis de Potosi, Cologne University of Applied Sciences. San Luis de Potosi, México.

BURGER, J. A.; KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess Forest stand management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 122, p. 155-166, 1999.

BURKHARD, B.; GROOT, R. de; COSTANZA, R.; SEPPELDT, R.; JORGENSENE, S. E.; POTSCHEIN, M. Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 1–6, 2012a.

BURKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV, S.; MÜLLER, F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 17–29, 2012b.

CAPRA, F. **O ponto de mutação: a ciência, a sociedade e a cultura**. São Paulo: Cultrix, 1993. 447 p.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 89 p.

CHAER, G. M. Métodos de integração de indicadores para avaliação da qualidade do solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 239-253.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

- CLEMENTE, E. P.; OLIVEIRA, F. S. Micromorfologia aplicada a morfometria de agregados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.
- COELHO, M. R.; FONTANA, A.; MONTEIRO, J. M. G.; GOULART, A. C.; TANIZAKI-FONSECA, K.; COSTA, M. M. **Estoque de carbono orgânico do solo sob floresta e pastagem no município de São José de Ubá, Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 32 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 196).
- COSTA, G. A.; OSTWALD, P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B. INTERIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 4, p. 331-337, 2008.
- COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S. FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STAWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special Publication, 35).
- DONAGEMMA, G. K.; CHAER, G. M.; BALIEIRO, F. C.; PRADO, R. B.; ANDRADE, A. G.; FERNANDES, M. F.; COUTINHO, H. L. C.; CORREIA, E.; BARRIOS, E. Indicadores de qualidade de solo. In: INDICADORES de Sustentabilidade agrícola. Belo Horizonte: [S.n.], 2010. p. 143-201.
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1995. 1.134 p.
- EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC: guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japan: IGES, Japan. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2013.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, v. 75, p. 529-538, 1995.
- FERNANDES FILHO, E. I.; VIANA, J. H. M. QUANTIPORO: um novo programa para tratamento e quantificação de imagens digitais para aplicações em ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2001. p.224.
- FERREIRA, T.; RASBAND W. **Image user guide: IJ 1.46r**. Disponível em: <<http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>>. Acesso em: 29 jun. 2012.
- FERREIRA C. E. G. **Sistema de suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu/RJ**. 2012. 157 f Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: Wiley, 1986. 619 p.
- FREITAS, T. B.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; PEIXOTO, R. T. G. Carbono das frações orgânicas como indicador de uso de cambissolos e latossolos no estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Ciência do solo: para quê e para quem: anais**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: novos dados sobre a situação da Mata Atlântica**. 2012. Disponível em: <<http://www.sosma.org.br/5697/sos-mata-atlantica-e-inpe-divulgam-dados-do-atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica-no-periodo-de-2010-a-2011/>>. Acesso em: 10 jul. 2012.
- GODOY, J. M.; PRADO, R. B.; SOLURI, D. S. Aplicação de índice de qualidade de água na microbacia do córrego Pito Aceso-RJ: vivência experimental em campo para alunos de graduação da PUC-Rio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009. CD-ROM.

GOMES, J. B.; BARRETO, M. F.; BARRETO, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CURTI, N. Soil attributes under agroecosystems and forest vegetation in the coastal tablelands of northeastern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 6, p. 649-664, 2012.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. 2. ed. Brasília, DF: MMA, 2012. (Série Biodiversidade, 42).

HERRICK, J. Soil quality: an indicator of sustainable land management? **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 75-83, 2000.

LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M. D. A.; GEIST, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 82, p. 321-331, 2000.

LIAN LI, B. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. **Ecological Modelling**, v. 132, p. 33-50, 2000.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M.; CHAER, G. M.; REIS-JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, p. 78, 2013.

MACFADYEN, S.; CUNNINGHAM, S. A.; COSTAMAGNA, A. L.; SCHELLHORN, N. A. Managing ecosystem services and biodiversity conservation in agricultural landscapes: are the solutions the same? **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 49, p. 690-694, 2012.

MARTINS, A. L. S.; SCHULER, A. E.; MONTEIRO, J. M. G.; FIDALGO, E. C. C.; ALMEIDA, E. P. C. Desenvolvimento rural: uma abordagem participativa em sistemas produtivos na comunidade de Faraó, Cachoeiras de Macacu, RJ. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMA DE PRODUÇÃO, 10., 2014, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 2014.

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; NEEL, M. C.; ENE, E. **FRAGSTATS version 3: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Amherst: University of Massachusetts, 2002.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. (Technical Report, PNW-GTR-351).

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G.; COELHO, M. R.; PARES, G. J. **Caracterização de paisagens e solos representativos do estado do Rio de Janeiro para fins de estimativa de estoques de carbono no solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 32 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 66).

MENEZES, J. M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio São Domingos – RJ**. 2009. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; SILVA JUNIOR, G.; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. S. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos – RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 687-698, out./dez. 2009.

MENEZES, J. M.; SILVA JUNIOR, G. C. da; PRADO, R. B. Índice de qualidade de água (IQACCME) aplicado à avaliação de aquíferos do estado do Rio de Janeiro. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 77-92. 2013.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Washington, D.C.: Island Press, 2005.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 1378-1388, 2006.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. M.; REICHERT, J. M. L.; CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Org.). **Manejo e conservação dos solos e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 105-121.

- MOTA, D. M.; SCHMITZ, H.; VASCONCELOS, H. E. M. Agricultura familiar e abordagem sistêmica. In: SCHMITZ, H. A **abordagem sistêmica**: pressupostos teóricos metodológicos. Aracaju: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 2005. p. 19-52.
- NICHOLSON, E.; MACE, G. M.; ARMSWORTH, P. R.; ATKINSON, G.; BUCKLE, S.; CLEMENTS, T.; EWERS, R. M.; FA, J. E.; GARDNER, T. A.; GIBBONS, J.; GRENYER, R.; METCALFE, R.; MOURATO, S.; MUÛLS, M.; OSBORN, D.; REUMAN, D. C.; WATSON, C.; MILNER-GULLAND, E. J. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 46, n. 6, p. 1365-2664, 2009.
- NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema INTERIMAGE e imagens do sensor QUICKBIRD**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- OREA, D. G. **Ordenación del territorio**: una aproximación desde el medio físico. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 1994. 238 p. (Serie Ingenieria Ambiental).
- PANIAGUA, A.; KAMMERBAUER, J.; AVEDILLO, M.; ANDREWS, A. M. Relationship of the characteristics to vegetation successions on a sequence of degraded and rehabilitated soils of Honduras. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 72, p. 215-225, 1999.
- PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOK, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (Ed.). **Climate change 2007**: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2013.
- PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; FADUL, M. J.; BASTOS, E. C.; SILVA, S. A.; ZAINER, N. G.; PELUZO, J. **Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas do Guapi-Macacu e Caceribu – RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 66 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 136).
- PEDREIRA, B. C. C. G. **Seleção de espaços rurais para desenvolvimento do agroturismo sob a perspectiva da conservação ambiental**: uma proposta metodológica. 2006. 343 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- PENEDO, S.; KÛNNE, A.; PRADO, R. B., SCHULER, A. E.; ROEHRIG, J.; RIBBE, L. Implementation of a Hydro-climatic monitoring network in the Guapi-Macacu River Basin in Rio de Janeiro, Brazil. **WORLD WATER CONGRESS**, 14., 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** [Porto de Galinhas]: International Water Resources Association, 2011. 14 p.
- PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 79-84, 2004.
- PINHEIRO, S. L. G.; DE BOEF, W. S. Construção social de conhecimentos: uma experiência de formação, ação e aprendizado promovendo pesquisas participativas com comunidades em Santa Catarina. **Eisforia**, v. 3, n. 1, p. 33-47, 2005.
- POPPI, R. J.; SENA, M. M. Métodos quimiométricos na análise integrada de dados. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. (Ed.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 19-36.
- PRADO, R. B. **Aspectos relacionados ao monitoramento da qualidade da água em áreas rurais sob relevo montanhoso do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 8 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 60).
- PRADO, R. B.; CAMPOS, T. B.; GUANAIS, L. F.; DONAGEMMA, G. K.; TURETTA, A. P. D. Utilização de imagens de alta resolução para o mapeamento do uso e cobertura do solo na microbacia do córrego Pito Aceso - Região de Mata Atlântica - RJ. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia**: perspectivas e desafios. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Fortaleza: UFC, 2009. CD-ROM.

- PRADO, R. B.; CHAER, G. M.; BALIEIRO, F. de C.; DONAGEMMA, G. K.; CORREIA, M. E. F.; PEIXOTO, R. T. dos G.; CHAGAS, C. da S.; TURETTA, A. P. D.; FIDALGO, E. C. C.; FONTANA, A.; SCHULER, A. E.; GONCALVES, A. O.; COUTINHO, H. L. da C.; GODOY, J. M.; DONAGEMMA, R. A. **Proposta metodológica para amostragem de solo e água em unidades de paisagens rurais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013a. 16 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 69).
- PRADO, R. B.; DI LULLO, L. B. **Estudo de Índices de qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 54 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 125).
- PRADO, R. B.; GONÇALVES, A. O.; SCHULER, A. E.; POLI, R.; TAVARES, N. S. Water quality and land use-cover relationship in microbasins of Atlantic Forest biome - Rio de Janeiro – Brazil. In: WORLD WATER WEEK CONFERENCE, 2013. **Proceedings...** Estocolmo: Instituto Internacional de Água de Estocolmo, 2013b.
- PRADO, R. B.; MENEZES, J. M.; MANSUR, K. L.; MARTINS, A. M.; FREITAS, P. L.; SILVA JUNIOR, G. C.; CARVALHO, L. G.; PIMENTA, T. S.; LIMA, L. A. Parâmetros de qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. CD-ROM.
- RACHID, C. T. C. C.; LEITE, D. C. A.; BALIEIRO, F. C.; COUTINHO, H. L. C.; VAN ELSAS, J. D.; PEIXOTO, R. S.; ROSADO, A. R. Physical-chemical and microbiological changes in Cerrado Soil under differing sugarcane harvest management systems. **BMC Microbiology**, v. 12, n. 170, 11 p., 2012.
- REMPEL, R. S.; CARR, A.; ELKIE, P. **Patch analyst and patch analyst (grid) function reference**. Thunder Bay: Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Ontario Ministry of Natural Resources, Lakehead University, 1999.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, p. 1141–1153, 2009.
- RODRIGUEZ-OSUNA, V.; BÖRNER, J.; NEHREN, U., PRADO, R. B., GAESE, H.; HEINRICH, J. **Towards cost-effective watershed management in the Brazilian Atlantic Forest: valuing forest ecosystem services related to water quality in the Guapi-Macacu watershed**. Leipzig: TEEB CONFERENCE 2012, 2012.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilidade de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 113-117, 1997.
- SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 6, p. 613-620, jun. 2009.
- SOUZA, A. L.; FERREIRA, R. L. C.; XAVIER, A. **Análise de agrupamento aplicada à área florestal**. Viçosa, MG: SIF, 1997. 109 p. (Documento SIF, 16).
- TALLIS, H.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.; WOOD, S.; SHARP, R. **InVEST 2.3.0 user's guide: iterated valuation of environmental services and tradeoffs**. 2012. Disponível em: <<http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>>. Acesso em: 27 nov. 2012.
- THOMPSON, D.; FIDALGO, E. C. C. **Vulnerabilidade dos solos à erosão: estimativa da perda de solos na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, [2015?]. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Em revisão.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Avançados em Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002.
- TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; VALLADARES, G. S. Evaluating the potential of landscape metrics in supporting landscape planning in Atlantic Forest – Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems**, v. 4, n. 1, 2013. Special issue: Remote Sensing Data for Agricultural and Environmental Geographic Information Systems.

TURNER, M. G.; COLLINS, S.; LUGO, A. Long-term ecological research on disturbance and ecological response. **Bioscience**, Washington, DC, v. 53, p. 46–56, 2003.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice**. New York: Springer. 2001.

TURNER, M. G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, n. 1, p. 21–30, 1990.

VERA-AGUIRRE, S. M.; PRADO, R. B.; MILÁN, P. M.; RIBBE, L. Avaliação da governança da água em bacias hidrográficas do Rio de Janeiro como suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. CD-ROM.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. P. Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. dos. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília, DF: MMA, 2007. cap. 4.

WERNER, F. **Assessment of the stream physical environment and study of its relation with water quality in the Guapi-Macacu watershed, Rio de Janeiro, Brazil**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado) -Universidade de San Luis de Potosi, México.