

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO FUMAÇA E SEUS IMPACTOS SOBRE  
OS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO DE BELISÁRIO (MG)**

**GUILHERME PIRES DE CAMPOS GODOY VALVASORI**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES  
MARÇO DE 2018**

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO FUMAÇA E SEUS IMPACTOS SOBRE  
OS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO DE BELISÁRIO (MG)**

**GUILHERME PIRES DE CAMPOS GODOY VALVASORI**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**Orientador: MARCOS A. PEDLOWSKI**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES  
MARÇO DE 2018**

# ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FUMAÇA E SEUS IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO DE BELISÁRIO (MG)

## **GUILHERME PIRES DE CAMPOS GODOY VALVASORI**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 26 de março de 2018.

### **Comissão Examinadora:**

---

Profº CARLOS EDUARDO DE REZENDE (Doutor, Ciências Biológicas)  
Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF

---

Profº. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Doutor, Geografia)  
Universidade Nacional de Brasília - UnB

---

Profº. CHRISTOVAM BARCELLOS (Doutor, Geociências)  
Fundação Instituto Oswaldo Cruz - FIO CRUZ

---

Profº MARCOS A. PEDLOWSKI (Doutor, Planejamento Ambiental)  
Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF

Orientador

## **Agradecimentos**

Ainda que eu assine a autoria desta pesquisa, ela não é fruto do trabalho de apenas um. Há muitos e muitas que colaboraram para a execução desta dissertação, de parentes e amigos a mestres e agricultores. Sendo assim, agradeço de maneira geral e sincera a todos que dedicaram tempo e boa vontade para elaboração deste estudo, e para a formação do homem que teve o papel de articular e centralizar estes esforços. Nestas linhas, pontuarei apenas alguns nomes principais, certo de que eles sabem melhor do que eu o quanto e como colaboraram. Além disso, peço desculpas pela injustiça de não poder mencionar a todos.

Gladstone Valvasori e Haydée Pires de Campos Godoy Valvasori (Pai e Mãe).

Professor Dr. Marcos Pedlowski (orientador).

Professor Carlos Eduardo Resende, professor Dr. Álvaro Ramon Ovalle, Thiago Rangel (Tigrão), Ari, Diogo, Bráulio, Marcelo, e todos os técnicos e colegas do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF.

Professor Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi e seus orientandos Maitê e Rodrigo, do departamento de Engenharia Florestal da UnB.

Darlaíza Ribeiro (namorada) e toda a família Ribeiro de Freitas.

Marli, Pavão, Luisa, dona Oriza e toda a família Coelho de Oliveira.

Frei Gilberto Teixeira e todos os amigos da Associação Franciscana Santa Maria dos Anjos.

Robin e Binka Le Breton (Associação Amigos de Iracambi).

Maria de Fátima Pires de Campos Godoy.

Este trabalho é dedicado de uma maneira especial a todos os amigos da Serra do Brigadeiro, em especial a: Carminha, Cloves e toda a família Santos. Lurdinha, Faustino, Bárbara, Caio, Karine e toda a família Calais de Laia. Alcina e João Héber Massucato. Luísa e Luis Montino Sobrinho. Waldecir e Marinha Xacra. Edivaldo, Silvano e todas as famílias da Associação de Produtores Rurais de São Tomé. Kyvia e Leandro Santana Moreira (Lar dos Muriquis). Sebastião Valter Coelho. Seu José e dona Maria Carneiro. Seu Olavo e toda a família dos “Vito” da Graminha. Nereu e Regina, Margarida e Silvano, e toda a família de Paula. José Álvaro Percino da Silva (Zezinho). Cliff Jones.

Se teus projetos forem para um ano, semeia o grão

Se forem para 10 anos, planta a árvore

Se forem para 100 anos, instrua o povo

*K'ung-tzŭ*

## Resumo

O Distrito de Belisário, localizado no município de Muriaé (MG), contém 100% do seu território dentro de áreas protegidas, incluindo parte da área do Parque Estadual Serra do Brigadeiro. Entretanto, seus habitantes vêm sofrendo com os efeitos da redução das chuvas e do esgotamento de nascentes. Apesar da influência de fatores globais como as mudanças climáticas, a crise hídrica em Belisário também está associada a fatores antrópicos locais (e.g.; padrões de uso e da cobertura do solo, os quais influem na manutenção do ciclo hidrológico a partir principalmente da remoção da vegetação nativa). Este trabalho teve como objetivo determinar os principais fatores que controlam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos na cabeceira do Rio Fumaça. Para isso, o trabalho fez uso do software ArcGIS, entrevistas individuais com proprietários rurais, e análises de amostras de água coletadas em uma malha amostral no Rio Fumaça e seus principais tributários. A classificação do uso e cobertura da terra indicou que as pastagens dominam a paisagem, ocupando aproximadamente 40% da área de estudo, enquanto os remanescentes florestais ocupam ao menos 25,3%. No auge da estiagem prolongada – cujo ápice foi em 2015 -, 39,4% das nascentes amostradas tiveram seu fluxo interrompido. Apesar disso, não houve mudanças significativas na gestão das propriedades, tais como a adoção de técnicas conservacionistas voltadas à conservação do solo e dos recursos hídricos. Os resultados dos parâmetros físico-químicos indicam que a agricultura e as condições precárias de saneamento são responsáveis pelo enriquecimento em elementos dissolvidos – principalmente Ca, Mg, K, N e S -, e contagens elevadas de coliformes nos principais corpos hídricos que compõe a bacia do Rio Fumaça. Além disso, valores elevados de turbidez – média de 3,9 NTU nas áreas agrícolas de uso intensivo, e de 0,65 NTU nas áreas de mata, na estação chuvosa - indicam que a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas causou a aceleração dos processos erosivos nesta bacia hidrográfica. Todos os tributários estudados tiveram seu curso original impactado por atividades antrópicas, o que contribuiu para a diminuição da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos na cabeceira do Rio Fumaça. A elevada densidade de nascentes – estimada entre uma a cada 6,7 ha e uma a cada 9,7 ha – privilegia atividades de baixo impacto na área de estudo, tais como o cultivo orgânico ou agroecológico, e o ecoturismo. Além disso, recomendam-se intervenções visando à recuperação das margens dos rios locais e o manejo sustentável de áreas íngremes utilizadas para atividades agropecuárias.

Palavras-chave: hidroquímica, paisagem, uso da terra, Rio Fumaça.

## **Abstract**

The District of Belisário, located in the municipality of Muriaé (MG), and it has 100% of its territory inside conservation unities, including a part belonging to the Serra do Brigadeiro State Park. However, its inhabitants have been experiencing the effects of rain reduction and water springs depletion. Despite of the influence of global factors such as climatic changes, the water crisis in Belisário is also associated to local anthropic factors (e.g.; patterns of land use and land cover change which influence the maintenance of the hydrological cycle mainly by the removal of the pristine forest). The present research had as its main goal to determine the leading factors controlling the water resources availability and quality in the headwaters of Rio Fumaça basin. In order to achieve this goal, this work employed ArcGIS, individual interviews with landowners, and water sample analysis collected in a sampling grid in the Rio Fumaça and its main tributaries. The land use and cover classification indicated that the pastures predominate on the landscape, occupying approximately 40% of the studied area, while the forest remnants cover at least 25,3%. At the height of an extended drought – in 2015 - 39,4% of the sampled water springs had its flow interrupted. In spite of that, there were no significant changes regarding land use and land management, such as the adoption of soil and water conservation techniques. The water's chemical physical parameters results indicated that agriculture and the precarious sanitation conditions are responsible for the enrichment of dissolved elements – mainly Ca, Mg, K, N – and elevated counts for coliforms in the main water bodies which integrate Rio Fumaça's basin. Furthermore, elevated turbidity values – 3,9 NTU average at the areas occupied by intensive agriculture, and 0,65 NTU at forested areas, on the rain season - suggest that the substitution of native vegetation for agriculture has caused the acceleration of the erosive processes in the studied watershed. All the studied tributaries had their original courses impacted by anthropic activities, and this factor has contributed for the water resources depletion – both quality and availability- on Rio Fumaça's headwaters. The high density of water springs – estimated between one for each 6,7 ha and one for each 9,7 ha – privileges low impact activities at the studied watershed, such as organic agriculture or agroecology and ecotourism. Furthermore, interventions aiming to restore the margins of local rivers and the sustainable management of steep slopes occupied by agriculture are recommended.

Key-words: hydrochemistry, landscape, land use, Rio Fumaça.

# Sumário

Introdução .....	1
CAPÍTULO 1.0 Teorias Ecológicas .....	3
1.1. Introdução .....	3
1.2. A abordagem ecossistêmica: principais fundamentos e aplicações .....	3
1.3. A Ecologia da Paisagem: processos ecológicos e padrões espaciais .....	9
1.4. Sistemas Sócio-Ecológicos: a unidade entre a sociedade humana e os sistemas naturais... 13	
1.5. Conclusão .....	17
CAPÍTULO 2.0 Ecossistemas Florestais e Recursos Hídricos.....	18
2.1. Introdução .....	18
2.2. Ecossistemas florestais e os padrões de precipitação .....	18
2.3. Ecossistemas florestais e a questão da qualidade e disponibilidade hídrica .....	19
2.4. Recursos Hídricos, Produção Agrícola e Ecossistemas florestais no contexto das Mudanças Climáticas .....	23
2.5. A Lei de Proteção à Vegetação Nativa/2012 e seus impactos na manutenção das Áreas de Proteção Permanente (APPs) .....	25
2.6. Conclusão .....	27
CAPÍTULO 3.0 METODOLOGIA.....	28
3.1. Caracterização Física e Histórica da região em que a Área de Estudo está inserida: a Serra do Brigadeiro .....	28
O passado recente da região da Serra do Brigadeiro e suas implicações para o Distrito de Belisário .....	32
3.2. O Distrito de Belisário no contexto do PESB .....	36
3.3. A Área de Estudo da Pesquisa: a Cabeceira do Rio Fumaça.....	38
3.4. Justificativas da pesquisa .....	40
3.5. Objetivos de pesquisa .....	42
3.5.1. Objetivo principal: .....	42
3.5.2. Objetivos secundários: .....	42
3.6. Ferramentas metodológicas.....	42
3.7. Materiais e métodos .....	46
3.7.1. Caracterização físico-química das águas .....	46
3.7.2. Contaminação bacteriológica.....	47
3.7.3. Uso social da terra.....	47
3.7.4. Extração da Rede de Drenagem e Delimitação da Área de Estudo.....	48

3.7.5. Classificação do uso e cobertura da terra .....	50
CAPÍTULO 4.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS .....	54
Uso e cobertura da terra .....	54
4.1. Uso social da terra .....	59
4.1.1. Aspectos socioeconômicos.....	59
4.1.2. As Unidades de Conservação em Belisário.....	65
4.1.3. Disponibilidade e gestão dos recursos hídricos .....	69
4.1.4. Remanescentes florestais nas propriedades privadas .....	73
4.2. Características Hidroquímicas da Bacia do Rio Fumaça .....	77
4.2.1. Divisão em classes e parâmetros básicos.....	77
4.2.2 Análise de Componentes Principais .....	85
5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	98
ANEXOS .....	109



## Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama do fluxo energético.....	4
Figura 2. O fluxo energético e a ciclagem de nutrientes. ....	5
Figura 3. Localização do PESB (polígono verde), entre os meridianos 42° 40' e 40° 20' Oeste e os paralelos 20° 33' e 21° 00' Sul, e as microrregiões em seu entorno.....	28
Figura 4. Os rios formados na face leste da Serra do Brigadeiro .....	31
Figura 5. Ponto em que a laje de pedra foi explodida .....	34
Figura 6. Áreas Protegidas do Distrito de Belisário.....	35
Figura 7. Vista frontal do Distrito de Belisário, Muriaé (MG).....	36
Figura 8. Paisagem física no Distrito de Belisário mostrando contrastes no uso e cobertura da terra. .	37
Figura 9. Área de estudo e rede de drenagem principal. ....	38
Figura 10. Ordenação fluvial segundo a classificação de Sthraler. ....	39
Figura 11, Malha amostral para análise de água na cabeceira do Rio Fumaça. ....	44
Figura 12. Croqui de propriedade rural visitada realizado em campo.....	48
Figura 13. Modelo de Elevação digital para a Área de Estudo com os pontos de coleta de água .....	49
Figura 14. Floresta abaixo de faces íngreme na Pedra da Fazenda da Onça. ....	52
Figura 15. Detecção e localização dos plantios de eucalipto e da área urbana na área de estudo .....	53
Figura 16. Uso e cobertura da terra. ....	54
Figura 17. Recorte do mapa de classificação do uso e cobertura da terra e localização do Pico do Itajuru .....	55
Figura 18. Remanescente florestal próximo à área urbana de Belisário .....	56
Figura 19. Lavouras de café na paisagem do Distrito de Belisário .....	57
Figura 20. Croqui de plantios de eucalipto em APP e em área de reserva legal em propriedades na área de estudo.....	58
Figura 21. Detalhamento das fontes de renda além da produção agrícola (%) .....	63
Figura 22. Participação da propriedade na renda familiar (%).....	64
Figura 23. Entrada do PESB no distrito de Belisário .....	66
Figura 24. “Chapéu na serra, chuva na terra”, ditado local.....	67
Figura 25. As APAs trouxeram benefícios às comunidades vizinhas ao PESB.....	68
Figura 26. Ano em que as nascentes secaram. ....	71
Figura 27. Ano em que os poços foram perfurados.....	72
Figura 28. Uso e cobertura da terra em 2014 e localização dos pontos de coleta de amostras de água em cada classe de uso da terra.....	77
Figura 29. Normal pluviométrica X Estação pluviométrica em 2017 .....	79
Figura 30. Valores de condutividade no transecto principal (µS/cm). ....	80
Figura 31. Valores de pH no transecto principal. ....	81
Figura 32. Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no transecto principal. ....	82
Figura 33. Valores de Turbidez (NTU) no transecto principal.....	83
Figura 34. Contagem de coliformes fecais (100ml) no transecto principal.....	84
Figura 35. Análise de componentes principais (PCA). ....	85
Figura 36 – Integração das três teorias ecológicas: Teoria Ecológica, Ecologia da Paisagem e Sistemas Sócio-Ecológicos.....	94

## Lista de tabelas

Tabela 1. APPs ao redor de córregos e rios conforme o novo Código Florestal.....	27
Tabela 2. Uso e cobertura da terra: área (ha) e Frequência Relativa (%).....	55
Tabela 3. Idade dos entrevistados.....	60
Tabela 4. Nível de Escolaridade.....	60
Tabela 5. Número de moradores por propriedade.....	61
Tabela 6. Tamanho das propriedades (ha).....	61
Tabela 7. Culturas presentes nas propriedades (N = 100).....	62
Tabela 8. Renda familiar mensal dividida em classes.....	63
Tabela 9. A criação do PESB foi positiva para a região (n = 83).....	65
Tabela 10. A criação do PESB não foi positiva para a região (n = 10).....	66
Tabela 11. A criação do PESB contribuiu para os recursos hídricos (n = 72). ....	67
Tabela 12. A criação do PESB não contribuiu para os recursos hídricos (n = 13).....	68
Tabela 13. Número de nascentes por propriedade.....	70
Tabela 14. Investimentos realizados em captação de água.....	71
Tabela 15. Tamanho dos fragmentos de mata nas propriedades (ha).....	74
Tabela 16. Porcentagem de vegetação nativa presente nas propriedades rurais de Belisário (ha). ....	74
Tabela 17. Tamanho da área que seria alocada para reflorestamento (ha).....	75
Tabela 18. Animais avistados nas propriedades amostradas.....	76
Tabela 19. Correlação entre parâmetros e fatores. ....	86
Tabela 20. Estatística descritiva para TB (NTU). ....	87
Tabela 21. Estatística descritiva para concentrações de cálcio ( $\mu\text{g/L}$ ). ....	88
Tabela 22. Estatística descritiva para a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	89
Tabela 24. Estatística descritiva para a saturação de OD (%). ....	90
Tabela 25. Estatística descritiva para a concentração de Al ( $\mu\text{g/L}$ ). ....	91
Tabela 26. Estatística descritiva para a concentração de Cu ( $\mu\text{g/L}$ ).....	91
Tabela 27. Estatística descritiva para a concentração de P ( $\mu\text{g/L}$ ). ....	92

## Introdução

A água, além de ser um bem primordial, conecta os diversos elementos que compõem uma paisagem, tanto bióticos quanto abióticos (WEAR, TURNER e NAIMAN, 1998). Por conta de sua importância e características intrínsecas, a água possui ampla demanda por estudos multidisciplinares (DECLERCK *et al*, 2016). Além disso, a humanidade atravessa um período em que a intensificação de dinâmicas globais pode trazer profundas transformações em realidades locais, marcado pela tensão entre as necessidades humanas e as funções ecossistêmicas (PALMER *et al*, 2004; DECLERCK *et al*, 2016). Neste contexto, as pesquisas científicas devem adotar abordagens complementares às mensurações biofísicas, e incorporar as atividades humanas como componentes integrais dos ecossistemas (PALMER *et al*, 2004; POLLINI, 2009; DECLERCK *et al*, 2016). Por essas razões, pesquisas sócio-ecológicas adquiriram suma importância (DECLERCK *et al*, 2016), e há uma urgência para a realização de trabalhos que contribuam para conectar os padrões de crescimento econômico às suas implicações para os recursos hídricos (KIESECKER *et al*, 2009). Assim sendo, os estudos científicos devem abordar níveis de escala múltiplos, coletando informações sobre os indivíduos - explicitamente incorporando a dimensão humana – e também analisando elementos que agreguem informações sobre a unidade da paisagem como um todo – como as bacias hidrográficas (ALTIERI, 1999; SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004; DECLERCK *et al*, 2016).

Esta pesquisa foi conduzida na cabeceira do Rio Fumaça, no limite noroeste da Bacia do Rio Paraíba do Sul. O Rio Fumaça nasce na Serra da Mantiqueira, dentro de uma unidade de proteção integral – o Parque Estadual Serra do Brigadeiro (PESB). Ao descer as encostas das montanhas, o rio atravessa uma paisagem caracterizada pelo uso agrícola das terras e dominada por espécies exóticas, sendo comum o uso de agrotóxicos, fertilizantes químicos e condições de saneamento precárias. Em seu último trecho dentro da área de estudo, o Rio Fumaça alcança a parte urbana de Belisário, distrito do município de Muriaé (MG), onde recebe dejetos domésticos de residências e estabelecimentos comerciais ali existentes. Dessa maneira, o Distrito de Belisário ocupou o centro desta pesquisa, embora uma porção menor da área de estudo (21%) pertença ao município de Rosário da Limeira.

O primeiro e segundo capítulos desta dissertação fornecem o arcabouço teórico para as interpretações de resultados, discussões e conclusões. O primeiro capítulo discorre sobre as principais teorias ecológicas empregadas na compreensão e gestão dos recursos naturais - a teoria ecossistêmica, Ecologia da Paisagem, e os Sistemas Sócio-Ecológicos. No segundo

capítulo, são apresentadas as conexões fundamentais entre as florestas e o ciclo das chuvas; entre os ecossistemas florestais e a disponibilidade e qualidade hídrica; o desafio da gestão dos recursos hídricos e o papel das florestas no contexto das mudanças climáticas, e as determinações da Lei de Proteção à Vegetação Nativa/2012.

No terceiro capítulo é feita a apresentação da região estudada, assim como a metodologia empregada para a coleta e análise de dados. O objetivo da primeira seção é fornecer um contexto para a pesquisa – histórico, social, ambiental e econômico. Dessa maneira, informações técnicas sobre a região são apresentadas – incluindo a descrição do meio físico –, e também é fornecido o histórico da ocupação humana e transformação da paisagem local. Em seguida, uma justificativa para a realização do presente estudo é feita, conectando os problemas ambientais e sociais presentes na área de estudo aos desafios de sustentabilidade globais. Além disso, são apresentados os objetivos de pesquisa, e também as ferramentas metodológicas empregadas para a execução dos diagnósticos.

No quarto capítulo, os resultados do trabalho são apresentados e discutidos. As análises estão concentradas nas características dominantes do uso e cobertura da terra, assim como as funções e consequências para a paisagem associadas a estes elementos. Em seguida, as informações levantadas através das entrevistas individuais e os desenhos as propriedades rurais visitadas são apresentadas no subcapítulo nomeado de “Uso social da terra”. Nesta seção, é construído um perfil para as famílias de agricultores que habitam a área de estudo, sua forma de gerir as propriedades rurais, a relação dos moradores locais com o PESB e as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) municipais, a importância das terras para a renda familiar e os efeitos da estiagem de 2015. Ainda neste capítulo, as análises físico químicas das amostras de água coletadas na cabeceira do Rio Fumaça são apresentadas e discutidas.

No quinto capítulo é realizado um esforço de síntese acerca dos resultados do estudo, e também são apresentadas sugestões para pesquisas posteriores e intervenções na área de estudo.

# **CAPÍTULO 1.0 Teorias Ecológicas**

## **1.1. Introdução**

O objetivo deste primeiro capítulo é apresentar as três teorias ecológicas que nortearam a execução desta pesquisa: a abordagem ecossistêmica, a Ecologia da Paisagem e os Sistemas Sócio-Ecológicos. Os fundamentos teóricos das três abordagens são apresentados conforme a sequência cronológica de sua formalização. No entanto, o surgimento de uma nova abordagem jamais significou o fim das teorias ecológicas anteriores. Embora marcadas por características que as diferenciam das demais, as teorias apresentadas são complementares. Dessa maneira, cada teoria contribuiu de uma forma específica para a identificação de problemas e a proposta de soluções frente ao desafio de compreender e gerir os fatores que controlam a disponibilidade e a qualidade hídrica na cabeceira do Rio Fumaça.

## **1.2. A abordagem ecossistêmica: principais fundamentos e aplicações**

A fundação da Teoria Ecossistêmica é atribuída a Sir Arthur George Tansley (ACOT, 1990; TRUDGILL, 2007), que empregou pela primeira vez a palavra Ecossistema em um artigo científico (TANSLEY, 1935). Segundo Tansley, um sistema é definido como qualquer conjunto de fatores ordenados, interdependentes e inter-relacionados; conectados por fluxos de energia e matéria que os diferenciam do ambiente ao seu redor (CHRISTOPHERSON, 2002). Além disso, Tansley propôs o ecossistema como unidade funcional básica mais apropriada para o estudo da natureza na Terra, pois inclui os seres vivos e os componentes abióticos que possibilitam a existência da vida (TANSLEY, 1935; ODUM, 1971; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006). Segundo Odum (1977) esses sistemas podem assumir extensão e duração variadas, integrar ecossistemas maiores, bem como estarem sobrepostos e interagirem com outros ecossistemas. Portanto, ao invés de uma unidade natural, o ecossistema se trata de uma divisão baseada em conveniência cujo objetivo principal é facilitar a compreensão e manejo de sistemas complexos (TANSLEY, 1935; ODUM 1971; GOLLEY *et al*, 1978). Assim como ocorre em outros sistemas, os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas são interdependentes e estão conectados principalmente por meio do fluxo energético e das trocas materiais (ODUM, 1971). Por esta razão, o fluxo unidirecional de energia e a circulação dos materiais – representada pelos ciclos biogeoquímicos - representam princípios fundamentais para a abordagem ecossistêmica (GOLLEY *et al*, 1978; ODUM, 1971; ODUM, 1977).

Os fluxos energéticos são os caminhos percorridos pela radiação solar que, ao atingir a superfície da Terra, passa por transformações sucessivas até sua eventual dissipação na forma

de calor. Em escala planetária, o fluxo energético pode ser observado ao analisarmos o ciclo hidrológico, processo em que a energia radiante do sol é responsável pela transformação da água líquida em vapor – conversão de energia radiante em energia potencial –, e cujo calor latente é eventualmente liberado quando ocorre a condensação. Em escala ecossistêmica, a abordagem pode ser empregada para o estudo da cadeia trófica. Por exemplo, na fotossíntese, parte da radiação solar (luminosa) é convertida em energia potencial (química) pelas plantas verdes, e esta energia atravessa diferentes níveis tróficos até que algum indivíduo a libere como consequência do processo respiratório (Figura 1) (ODUM, 1971; ODUM, 1977; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006).



**Figura 1. Diagrama do fluxo energético<sup>1</sup>**

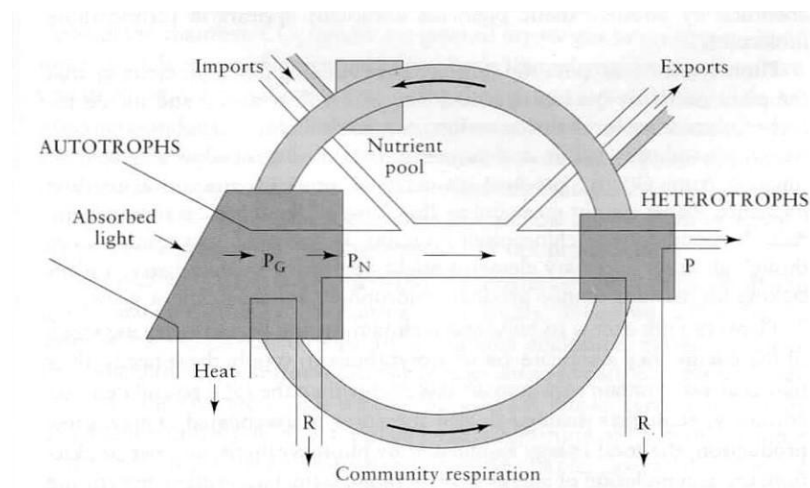
Os caminhos mais ou menos circulares através dos quais os elementos químicos – inclusive os nutrientes, ou seja, aqueles que são essenciais à vida – migram continuamente dos organismos para o ambiente são chamados de ciclos biogeoquímicos (ODUM, 1971; GOLLEY *et al*, 1978; FORTERSCUE, 1980). Estes elementos geralmente são encontrados na natureza em diversas formas químicas, e se concentram em reservatórios que podem ser do tipo gasoso – localizado na atmosfera ou hidrosfera – ou sedimentar – localizado na crosta terrestre (ODUM, 1971; MASON, 1971). Por sua vez, os ciclos são divididos em grandes compartimentos – também chamados de depósitos - de ciclagem lenta, geralmente não biológicos; e os reservatórios menores de ciclagem rápida, porção mais ativa cujas taxas de trocas com os organismos são elevadas (ODUM, 1971; MASON, 1971). Por exemplo, embora a água do oceano seja um grande reservatório de carbono graças à solubilidade do  $\text{CO}_2$  na água do mar – o sistema carbonato -, apenas a fração na forma química gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) é prontamente assimilável para os organismos fotossintetizantes (ODUM, 1971). Assim, a disponibilidade de um determinado elemento para os seres vivos não depende

<sup>1</sup> Imagem disponível em:

<[http://ascadeiasalimentares.weebly.com/uploads/1/9/3/8/19382465/604962\\_orig.jpg](http://ascadeiasalimentares.weebly.com/uploads/1/9/3/8/19382465/604962_orig.jpg)>.

apenas do tamanho de um reservatório, mas também da taxa de fluxo entre os reservatórios e a forma química em que ele é encontrado no ambiente.

Na natureza, o fluxo energético e os ciclos biogeoquímicos se sobrepõem (Figura 2) (ODUM, 1977; GOLLEY *et al*, 1978; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006). O fluxo energético impulsiona a ciclagem de elementos, e este fato pode ser ilustrado pela ciclagem mineral em ecossistemas terrestres (GOLLEY *et al*, 1978). A planta verde absorve nutrientes – tais como o fósforo e o potássio - do solo através da raiz, que migram através dos órgãos e são posteriormente incorporados à biomassa. Quando a planta ou parte dela morre, organismos decompositores iniciam a degradação dos compostos orgânicos e os elementos minerais são devolvidos ao solo, onde se tornam disponíveis novamente. Em outro caminho, a planta é predada por um herbívoro, e o retorno do elemento químico para o solo ocorre apenas com a morte do animal ou até que o elemento seja excretado (GOLLEY *et al*, 1978).



**Figura 2. O fluxo energético e a ciclagem de nutrientes<sup>2</sup>.**

Dessa maneira, os elementos são reciclados continuamente através do sistema biológico acompanhando as vias da cadeia trófica. (ODUM 1977; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006). Além disso, o exemplo evidencia que a maioria dos elementos vitais – como o carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo - e compostos orgânicos - tais como proteínas e hidratos de carbono – podem ser encontrados tanto dentro quanto fora dos seres vivos, e alternam continuamente entre as condições “viva” e “não viva” (ODUM, 1971).

É importante destacar que o processo de ciclagem descrito anteriormente não é totalmente eficiente, já que parte dos elementos é solubilizada pelas chuvas, e carregada pela

<sup>2</sup> Fonte: (ODUM, 1977, p.5).

água que deixa o sistema através da percolação no solo ou via escoamento superficial (GOLLEY *et al*, 1978). Desde o início de sua aplicação no estudo de ambientes complexos, tais como as florestas tropicais, a abordagem ecossistêmica demonstrou a possibilidade de compreender os fluxos de elementos minerais nos ecossistemas utilizando-se desta característica do ciclo hidrológico (LIKENS *et al*, 1969; GOLLEY *et al*, 1978). A concentração de elementos na água da chuva, quando multiplicada pelo volume total de pluviosidade recebido em uma área determinada, fornece a entrada total de elementos pela precipitação (LIKENS *et al*, 1969). Por sua vez, a composição e concentração de substâncias carreadas até os córregos e rios – escoamento superficial – refletem os processos bióticos e abióticos que ocorrem no interior dos ecossistemas, tais como a concentração e discriminação de elementos pelos organismos vivos e o intemperismo de rochas (GOLLEY *et al*, 1978; FORTESCUE, 1980). Dessa maneira, uma vez estimados o volume total e a concentração de elementos tanto das águas que entram, como das que deixam uma determinada bacia de drenagem, a manipulação da comunidade biológica revelaria o papel dos componentes bióticos na regulação da ciclagem de nutrientes para o ecossistema (GOLLEY *et al*, 1978; FORTESCUE, 1980).

O Laboratório Nacional de Hubbard Brook foi criado na década de 1950 pelo National Forestry Service (NFS) dos EUA, em New Hampshire, com o intuito de gerar informações sobre as implicações dos ecossistemas florestais para o fornecimento de água - quantidade e qualidade – e promover práticas de manejo florestal sustentável (LIKENS *et al*, 1969). Desde então, suas nove pequenas bacias hidrográficas têm sido fundamentais para a compreensão das interações biológicas que ocorrem nos ecossistemas florestais e as consequências geradas por alterações no ambiente, tais como a retirada da vegetação original (ODUM, 1971; FORTESCUE, 1980; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006).

Em 1965, um dos experimentos mais conhecidos de Hubbard Brook foi realizado na “Bacia Hidrográfica 2”. Ao longo dos meses de novembro e dezembro, toda a sua vegetação – árvores, arbustos e herbáceas - foi cortada e deixada no local. Durante a duração do experimento, a regeneração natural foi inibida pela aplicação de herbicidas. Ao longo dos três anos seguintes, os efeitos para a ciclagem de elementos foram monitorados e registrados (LIKENS *et al*, 1969). As principais descobertas se referiram às alterações nas taxas de exportação de nitrogênio – na forma nitrato –, potássio, substâncias inorgânicas dissolvidas e do Material Particulado em Suspensão (MPS). As novas condições na “Bacia Hidrográfica 2” elevaram em quatro vezes a exportação de Material Particulado em Suspensão (MPS) e aumentaram o teor de substâncias inorgânicas no material de 50% para 76%. Estas alterações



destacaram a importância da vegetação para o controle dos fatores erosivos, e também na estabilização das margens dos rios. O escoamento superficial, por sua vez, teve um aumento de 39% e 28% respectivamente nos anos de 1966 e 1967, sendo que o aumento no fluxo esteve concentrado durante a estação chuvosa – aumento de 414% para os verões de 1966 e 1967. Estes resultados demonstraram a capacidade que os ecossistemas florestais possuem de tamponar variações de fluxo sazonais e eventos climáticos extremos - tais como as enchentes (LIKENS *et al*, 1969). Portanto, desde suas primeiras pesquisas, as experiências em Hubbard Brook têm demonstrado que a preservação dos ecossistemas florestais é fundamental para a regulação da ciclagem de nutrientes – qualidade hídrica – e a manutenção da disponibilidade hídrica em níveis adequados aos interesses humanos.

As condições climáticas tais como a intensidade, frequência e distribuição sazonal de chuvas influenciam as taxas de entrada e saída de materiais nos ecossistemas, o que pode resultar tanto na aceleração ou redução da perda de nutrientes pela lixiviação, quanto no acúmulo de elementos cuja mobilidade na paisagem é menor – causa da alta concentração de óxidos de alumínio e de ferro em solos tropicais (MASON, 1971; FORTESCUE, 1980). Por esta razão, a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais temperados se comporta de forma distinta ao padrão observado em ecossistemas florestais tropicais. Embora as condições ambientais de alta temperatura e pluviosidade sejam ótimas para a produtividade em ambientes tropicais, elas também favorecem a lavagem do solo – com a consequente perda de elementos – e as reações químicas – como o intemperismo.

Nos anos 1967 e 1968, foi realizada uma pesquisa sobre a ciclagem de nutrientes em ecossistemas de floresta tropical úmida em Darien, no Panamá (GOLLEY *et al*, 1978). Para a execução dos experimentos ali realizados, o conteúdo mineral dos compartimentos abióticos e bióticos em diferentes tipos de floresta tropical foi determinado, e a taxa de produção e decomposição da serrapilheira foi calculada. O estudo realizado por Golley e seus colaboradores revelou que a alta produtividade das florestas tropicais devia-se a dois fatores principais: uma grande biomassa, cujo reservatório possui a capacidade de tamponar possíveis variações na disponibilidade de elementos no ambiente em curto prazo; e uma rápida e eficiente ciclagem de elementos entre os compartimentos vegetação e o solo, de forma que as perdas pela lixiviação são reduzidas e compensadas pela entrada de elementos pela precipitação e liberados pelo intemperismo das rochas (GOLLEY *et al*, 1978). Assim sendo, enquanto na zona temperada a maior parte dos nutrientes e matéria orgânica são encontrados no solo e nos sedimentos, as florestas tropicais acumulam a maior porcentagem de nutrientes essenciais na própria biomassa (ODUM, 1971).

Uma decorrência do estudo conduzido por Golley e colaboradores foi a constatação de que ecossistemas tropicais são ainda mais sensíveis à retirada da sua cobertura florestal do que os localizados nas regiões temperadas. Assim, se no ambiente temperado de Hubbard Brook a remoção da cobertura florestal resultou no rompimento dos padrões de ciclagem mineral, as consequências em ecossistemas tropicais são ainda mais pronunciadas (SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004; SILVA *et al*, 2012; VILLELA *et al* 2012; ASSAD *et al*, 2013; GROppo *et al*, 2015). Deste modo, quando áreas florestadas são substituídas por lavouras ou pastagens, os solos ficam mais expostos aos elevados índices pluviométricos, o que intensifica a atuação dos fatores erosivos e a perda de nutrientes do solo (SALEMI *et al*, 2012; ASSAD *et al*, 2013). Esta é a razão por que os mesmos locais que sustentam florestas densas apresentam baixa produtividade quando as mesmas são substituídas por espécies agrícolas (ODUM, 1971; TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006). A produtividade dos ecossistemas depende da disponibilidade de nutrientes, o que nos trópicos está intimamente ligada à existência de um grande reservatório na biomassa florestal (GOLLEY *et al*, 1978; AMAZONAS *et al*, 2011). As culturas agrícolas não apenas possuem menor biomassa, como geralmente a retirada de material orgânico das lavouras excede a capacidade de reposição do sistema (ODUM, 1971; SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004). Dado o fato de que o reservatório de nutrientes em solos tropicais é relativamente pequeno, a produtividade declina em poucos anos, e a sua manutenção depende do aporte frequente de fertilizantes (SWIFT, IZAC E NOORDWIJK, 2004), ou a abertura contínua de novas áreas de cultivo (POLLINI, 2009).

O processo de regeneração das florestas tropicais depende de fatores como intensidade, extensão e duração dos distúrbios, assim como o clima, as características do solo e a proximidade das áreas desmatadas a remanescentes florestais (FINEGAN, 1996; COLE, BHAGWAT e WILLIS, 2014). Enquanto parâmetros tais como a riqueza de espécies e a biomassa podem se recuperar cerca de um século após a ocorrência de distúrbios, o processo completo de regeneração é ainda mais lento (FINEGAN, 1996; MARTIN, NEWTON e BULLOCK, 2013; COLE, BHAGWAT e WILLIS, 2014); principalmente em áreas previamente ocupadas por pastagens e lavouras (FINEGAN, 1996; MARTIN, NEWTON e BULLOCK, 2013). Em florestas secundárias, há maior dominância de espécies arbóreas pioneiras, e poucas árvores de vida longa e elevada biomassa que caracterizam as florestas maduras (MARTIN, NEWTON e BULLOCK, 2013). Desta forma, as florestas primárias são mais eficientes na oferta de serviços ecológicos do que as florestas secundárias, o que

aumenta a importância da preservação desses ecossistemas (MARTIN, NEWTON e BULLOCK, 2013; COLE, BHAGWAT e WILLIS, 2014).

### **1.3. A Ecologia da Paisagem: processos ecológicos e padrões espaciais**

O termo “Ecologia da Paisagem” foi apresentado pelo geógrafo alemão Carl Troll em 1939 (FORMAN, 1995; SOARES-FILHO, 1998; WU e HOBBS, 2002). Troll propôs a colaboração entre geógrafos e ecólogos para a criação de uma nova abordagem científica que unisse os fundamentos das geociências e das ciências ecológicas (SOARES-FILHO, 1998). Para Troll, a paisagem compreendia não apenas a geosfera e a biosfera, como também a esfera do pensamento humano (noosfera) (SOARES-FILHO, 1998). Dessa maneira, em sua fase inicial, na Europa, as pesquisas ligadas à Ecologia da Paisagem assumiram uma abordagem holística e interdisciplinar, com ênfase nas interações entre as atividades humanas e os recursos naturais (WU e HOBBS, 2002). Desde então, abordagens distintas surgiram como consequência do desenvolvimento aprofundado de um corpo teórico e da disseminação das aplicações práticas (FORMAN, 2002).

Enquanto a Ecologia ecossistêmica buscou compreender os processos responsáveis pelos padrões espaciais encontrados na paisagem, a proposta da Ecologia da Paisagem era estudar os efeitos dos padrões espaciais sobre os processos ecológicos (TURNER, 1989). De fato, ambos os fatores estão relacionados, pois se a estrutura da paisagem influencia nos fluxos energéticos e materiais, também é certo que ambos os fluxos influenciam na estrutura da paisagem (FORMAN, 1995). Por isso, a heterogeneidade espacial é de fundamental interesse para a Ecologia da Paisagem (TURNER, 2010). O exemplo da “Bacia Hidrográfica 2”, em Hubbard Brook, foi um marco para o estudo da relação entre vegetação, manejo e ciclagem de nutrientes (FORTESCUE E BRANDSHAW, 1973; ODUM 1971). No entanto, é forçoso reconhecer que fora do laboratório, os distúrbios não atuam de maneira uniforme (TURNER, 2010). No ambiente rural, por exemplo, podem ser encontrados diversos usos e coberturas da terra, que formam um mosaico composto por remanescentes florestais, pastagens, lavouras e construções humanas (ODUM e TURNER, 1990; FIGUEIREDO *et al*, 2010).

Por outro lado, Forman (1995) definiu a paisagem como o conjunto de distintos ecossistemas e usos de terra que se repetem sobre a Terra. A paisagem, segundo Forman, constitui o elemento básico de uma região. No entanto, cada região é composta por um padrão altamente diferenciado de paisagens que, ao contrário dos ecossistemas de uma paisagem, não

se repetem (FORMAN, 1995). As três principais características da paisagem são: estrutura, função e mudança. (TURNER, 1989). A estrutura é fruto das relações espaciais entre os diversos ecossistemas que compõe uma paisagem (SOARES-FILHO, 1998). A estrutura se trata então da configuração espacial de uma paisagem, descrita pelos tamanhos, formatos, números, tipos e configuração de seus componentes; responsável pela distribuição de energia, materiais e organismos. (TURNER, 1989; SOARES-FILHO, 1998). A função diz respeito às interações entre os elementos da paisagem, representadas pelos fluxos de espécies, energia e materiais (TURNER, 1989). A mudança compreende as alterações que ocorrem na estrutura e função da paisagem ao longo do tempo (SOARES-FILHO, 1998; TURNER, 2010).

A estrutura de uma paisagem é compreendida como um mosaico, ou seja, um arranjo repetitivo de manchas e corredores que variam em tamanho, formato e arranjo, ordenados sobre uma matriz de fundo (TURNER, 1989; SOARES-FILHO, 1998). A estrutura de uma paisagem pode ser dividida em três componentes básicos: as manchas, os corredores e a matriz envolvente (FORMAN e GODRON, 1986). As manchas são superfícies não lineares com aparência distinta de seu entorno, e geralmente representam comunidades de plantas e animais, embora em certos casos também representem intervenções humanas – como as estradas e demais construções (SOARES-FILHO; 1998). As manchas podem ser de quatro tipos: manchas de perturbação – como os incêndios -, manchas remanescentes – fragmentos de vegetação nativa -, manchas de distribuição de recursos ambientais – como as jazidas minerais - e as criadas pelo homem – como as manchas agrícolas ou edificações (SOARES-FILHO, 1998). No caso específico das classificações de uso e cobertura da terra, construídas através de imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento, uma mancha representa um polígono cuja área é compreendida por pixels com valores semelhantes (BAKER, 1989).

Turner (1989) sugere que é necessário identificar e quantificar a estrutura em uma paisagem para compreender a relação entre os processos ecológicos e os padrões observados. Com esse objetivo, foram criados diversos índices para análises da paisagem, já compilados e revisados por diferentes autores (TURNER, 1989; SOARES-FILHO, 1998). A análise da estrutura da paisagem pode ser feita através de parâmetros como número, tamanho, forma, conectividade e distância entre as manchas (FORMAN e GODRON, 1986; SOARES-FILHO, 1998). Os corredores são elementos na paisagem que permitem o deslocamento e trocas genéticas entre seres vivos, enquanto o fator de conectividade de uma paisagem expressa o grau de ligação entre as manchas de uma mesma classe (TURNER e ODUM, 1990). A matriz constitui o elemento dominante, que determina a dinâmica da paisagem, e em geral se trata do

tipo de cobertura que possui maior extensão total e conectividade (FORMAN e GODRON, 1986).

Em termos de função, os elementos da paisagem podem ser classificados de acordo com o seu grau de estabilidade. Os elementos estabilizadores possuem elevada biodiversidade – por exemplo, os ecossistemas florestais -, já os elementos desestabilizadores são instáveis, e possuem menos espécies – como os monocultivos na paisagem rural (SOARES-FILHO, 1998). A vegetação nativa proporciona a manutenção de diversos serviços ecossistêmicos. Os grandes fragmentos florestais protegem os recursos hídricos e representam o único hábitat viável para espécies que precisam de grandes territórios, como a maioria dos grandes vertebrados (TURNER, 1996). Já os pequenos fragmentos florestais trazem diversidade para a matriz, e atuam como pontes que possibilitam a recolonização de fragmentos e a dispersão das espécies (FORMAN, 1995).

Na estrutura da paisagem, a vegetação ripária possui função dupla. Primeiramente, as florestas nas margens dos córregos e dos rios servem como corredores, que aumentam a conectividade entre os remanescentes florestais, facilitando o deslocamento e dispersão das espécies (SOARES-FILHO, 1998). Além disso, a vegetação ripária possui a capacidade de reter nutrientes e contaminantes, reduzindo a poluição dos recursos hídricos, principalmente em paisagens onde predominam as fontes de poluição não pontuais (TURNER, 1989; FORMAN, 1995; VOUGHT *et al*, 1995; DOSSKEY *et al*, 2010). Isso ocorre, por exemplo, em paisagens altamente fragmentadas, como a maioria das áreas rurais (FORMAN, 1995). Nestes locais, a poluição das águas pode estar associada às chuvas, que carregam para os corpos hídricos parte dos insumos utilizados nas lavouras e excrementos animais (SOARES-FILHO-1998; NAIMAN e TURNER, 2000; MARKEWITZ *et al*, 2001; WANG *et al*, 2011).

A característica “mudança” das paisagens está relacionada ao fator tempo. Isto ocorre porque a paisagem atual é fruto de processos que ocorrem em escalas temporais distintas. Os agentes formadores do relevo – como o tectonismo - moldam a paisagem em escala geológica (CHRISTOPHERSON, 2012). No outro extremo, distúrbios como incêndios e intervenções antrópicas causam transformações na paisagem em curto prazo (TURNER, 2010). Além disso, existe ainda uma escala intermediária, em que os seres vivos moldam a feição das paisagens num processo mútuo de adaptação e modificação das condições locais (SOARES-FILHO, 1998). O mosaico da paisagem é consequência tanto de processos atuais quanto de eventos que ocorreram no passado (TURNER, 1989). Por esta razão, a construção de evoluções temporais do uso e cobertura da terra é fundamental para a identificação de padrões

e tendências de mudanças na paisagem, pois possibilitam a compreensão do presente e a construção de cenários futuros (WU e HOBBS, 2002; TURNER, 2010).

A abordagem da Ecologia da Paisagem fornece ferramentas para o estudo da relação entre os padrões na paisagem e os processos ecológicos (TURNER, 1989). O desafio de compreender a redistribuição de matéria e energia através de paisagens heterogêneas, e a forma com que os distúrbios alteram o fluxo e a distribuição de nutrientes e sedimentos na paisagem é um dos maiores objetivos da Ecologia da Paisagem. (WU e HOBBS, 2002). Um elemento a ser considerado é que as mudanças no uso e cobertura da terra, geralmente relacionadas à proliferação e expansão de elementos desestabilizadores, acarretam respostas ecológicas múltiplas (SOARES-FILHO, 1998). As alterações profundas no mosaico da paisagem, assim como a relação sinérgica entre diferentes distúrbios, muitas vezes geram consequências em escalas imprevisíveis, tais como mudanças no regime das chuvas (BAKER, 1989; NAIMAN e TURNER, 2000; TURNER, 2010).

A compreensão dos padrões e processos que ocorrem na paisagem depende da determinação de escalas de estudo apropriadas (WU e HOBBS, 2002). As fronteiras artificiais, definidas arbitrariamente pelos humanos – como os limites de um estado ou município – geralmente são irrelevantes para os fluxos na paisagem (TURNER, 1989). Da mesma maneira, paisagens dinâmicas podem exibir mosaicos estáveis em escalas específicas (TURNER, 1989). Por essa razão, diversos pesquisadores apontam a necessidade de realizar estudos da paisagem em escalas múltiplas (BAKER, 1989; FORMAN, 1995; SOARES-FILHO, 1998; NAIMAN e TURNER, 2000; WU e HOBBS, 2002; TURNER, 2010). Muitas vezes, a identificação de tendências em escalas menores – como em propriedades privadas na zona rural – possibilita a previsão de mudanças em escalas maiores – como em uma bacia hidrográfica (BAKER, 1989; WU e HOBBS, 2002).

O conhecimento a respeito das características de uma paisagem – estrutura, função e mudança - possibilita a formulação de um tipo ideal, ou seja, um mosaico em que ambos os elementos estabilizadores e desestabilizadores existam em proporções equilibradas (SOARES-FILHO, 1998). Dessa maneira, os grandes contínuos de vegetação nativa - áreas menos fragmentadas – são componentes fundamentais, visto que não há substitutos conhecidos para os benefícios ecológicos a eles associados (FORMAN, 2005; WEBB *et al*, 2005). Já as áreas mais modificadas, como as manchas de cultivo ou as zonas urbanas, poderiam ser entremeadas por pequenos fragmentos e corredores florestais – principalmente ao longo dos corpos hídricos – para a mitigação dos impactos negativos associados a essas áreas de uso antrópico (TURNER, 1989; FORMAN, 1995; NAIMAN e TURNER, 2002).

Por outro lado, um paradoxo acompanha a adoção dos postulados da Ecologia da Paisagem: a sustentabilidade e preservação ambiental deveriam ser seu objetivo final; porém, as tendências mundiais de fragmentação das paisagens e aumento da frequência e intensidade dos distúrbios reduzem as probabilidades de sucesso (WU e HOBBS, 2002, TURNER, 2010). Além disso, as atividades humanas possuem cada vez mais influência nos grandes sistemas ecológicos; e os processos socioeconômicos se tornaram os principais fatores que governam o uso e cobertura da terra, determinando a estrutura, função e mudança na maioria das paisagens (WU e HOBBS, 2002).

Durante o surgimento da Ecologia da Paisagem na Europa, seus estudos eram focados em planejamento, restauração e conservação da paisagem; o que exigia uma abordagem holística e humanística (SOARES-FILHO, 1998; WU e HOBBS, 2002). No entanto, a partir da década de 1980, principalmente nos EUA, a Ecologia da Paisagem assumiu uma abordagem analítica, focada no estudo da heterogeneidade espacial e os efeitos sobre os processos ecológicos por meio do uso de métodos quantitativos (TURNER, 1989; SOARES-FILHO, 1998; WU e HOBBS, 2002). Hoje, a urgência por produções científicas que possuam aplicações práticas nas desafiadoras paisagens contemporâneas gera a tendência de fusão entre essas duas abordagens (NAIMAN e TURNER, 2000; WU e HOBBS, 2002). Tendo em vista que as paisagens são interdisciplinares é necessário que a Ecologia da Paisagem também o seja; e busque a inclusão do componente humano, com os seus comportamentos e padrões complexos (TURNER, 1989; FORMAN, 1995). Por esta razão, os estudos científicos que consigam abarcar a população, a comunidade e a ecologia ecossistêmica devem ser uma prioridade e também um desafio para a Ecologia da Paisagem (WU e HOBBS, 2002).

#### **1.4. Sistemas Sócio-Ecológicos: a unidade entre a sociedade humana e os sistemas naturais**

Berkes e Folke (1998) cunharam o termo Sistemas Sócio-Ecológicos (SSEs) para destacar a unidade formada entre os seres humanos e a Natureza, e para denunciar a arbitrariedade por trás da divisão entre fatores sociais e ecológicos (FOLKE, 2006). As interações materiais entre o homem e o ambiente - medidas pelas ciências naturais - são determinadas pela subjetividade humana; visto que, por meio do uso da tecnologia, a cultura se insere na Natureza (SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004; GLASER *et al* 2008). Além disso, os seres humanos são profundamente dependentes dos ecossistemas para a manutenção de funções essenciais para o seu bem-estar (FOLKE, 2006; CUMMING *et al*, 2013), tais

como: a regulação da composição gasosa da atmosfera – e, conseqüentemente, do clima -, o controle biológico de pragas e doenças, a ciclagem de nutrientes e a regulação do ciclo hidrológico (ALTIERI, 1999; SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004). Em todo o planeta, fatores como a crescente degradação dos sistemas naturais, a super exploração de recursos naturais, as mudanças climáticas e o contínuo agravamento da polarização econômica e social têm causado o agravamento dos problemas ambientais (GLASER *et al*, 2008). A principal diferença entre os SSEs e as abordagens apresentadas anteriormente é o reconhecimento dos impactos antrópicos como os principais causadores de mudanças nos ciclos biogeoquímicos globais (OSLSSON e FOLKE; 2004; FOLKE, 2006).

Segundo Pollini (2009), os desafios que afligem a sociedade contemporânea não são apenas ecológicos, mas também uma questão de justiça social. A pobreza é inimiga da conservação ambiental, e muitas vezes é a busca pela sobrevivência que impulsiona a exploração irresponsável dos recursos naturais (ODUM e TURNER, 1990). Assim, os fatores socioeconômicos - ligados à história dos lugares e das pessoas – são um componente essencial para a gestão ambiental eficiente (POLLINI, 2009; VIRAPONGSE *et al*, 2016). Segundo Pollini (2009), muitas das falhas cometidas em estudos ambientais são conseqüências do emprego de modelos preditivos reducionistas, que por serem baseados em algoritmos são incapazes de capturar a complexidade do comportamento. Neste contexto, as abordagens transdisciplinares se tornam pontes para a resolução de problemas ambientais e sociais (VIRAPONGSE *et al*, 2016), marcadas pelo desafio de combinar ao mesmo tempo um mínimo de profundidade científica, apelo amplo e aplicação prática (POLLINI, 2009). Em função disso, os postulados que formam os SSEs fornecem uma abordagem com potencial para aprimorar a gestão ambiental através da aplicação da transdisciplinariedade e conceitos de resiliência (VIRAPONGSE *et al*, 2016).

Diferentemente da teoria ecossistêmica, os teóricos ligados aos SSEs propõem uma definição de resiliência que abarca também o potencial de adaptação de um determinado sistema frente a novas condições, onde perturbações significam oportunidades para recombinação, renovação e emergência de novas trajetórias (FOLKE, 2006; VIRAPONGSE *et al*, 2016). O conceito de ecossistemas estáticos é substituído pela noção de sistemas complexos adaptativos, em que surpresas e incertezas são essenciais para a manutenção da estabilidade (OSLSSON e FOLKE, 2004). A fundamentação teórica que sustenta a abordagem dos SSEs tem origem nas descobertas de Holling (HOLLING, 1973) que, ao construir modelos de predação com mais de duas variáveis – atuando em escalas temporais e/ou



espaciais distintas – constatou o surgimento de múltiplos estados de equilíbrio (FOLKE, 2006).

Dessa maneira, os SSEs propõem uma abordagem de gestão ambiental pautada na promoção de transformações cujo objetivo é conduzir o sistema para uma nova condição (regime), em que as funções ecossistêmicas e o bem-estar humano sejam garantidos (CUMMING *et al*, 2013). Por isso, é que o conceito dos SSEs ganha relevância em tempos de transformação acelerada dos sistemas que dão suporte à vida (OLSSON e FOLKE, 2004), ambientes em que o retorno a uma condição pré-distúrbio é cada vez menos provável (FOLKE, 2006; TURNER, 2010), e situações em que a abordagem de comando e controle pode contribuir para o colapso do sistema (CARPENTER e GUNDERSON, 2001). Assim, novos termos passam a ser empregados, sendo que a ideia de “equilíbrio” é substituída por “regime”, e “recuperação” dá lugar às palavras “renovação” e “reorganização” (FOLKE, 2006).

A capacidade de prever o comportamento dos sistemas é reduzida pela incerteza e a surpresa inerentes a eles (CARPENTER e GUNDERSON, 2001; GLASER *et al* 2008). Neste contexto, qualquer política ambiental é mais uma hipótese do que uma solução definitiva (CARPENTER e GUNDERSON, 2001), que precisa ser testada e continuamente monitorada e aprimorada (OLSSON e FOLKE, 2004). Portanto, a gestão dos ecossistemas depende de instituições apropriadas e sistemas de governança flexíveis, que permitam a realização de práticas e testes (OLSSON e FOLKE, 2004; CUMMING *et al*, 2013).

Portanto, os três componentes principais da gestão de ecossistemas – a partir da perspectiva dos SSEs - são: conhecimento, flexibilidade e práticas intimamente relacionadas à capacidade de aprendizagem e experimentação (OLSSON e FOLKE, 2004; CUMMING *et al*, 2013). Ao invés de propor prescrições rígidas, a alternativa mais eficiente para a obtenção de paisagens resilientes e sustentáveis é encorajar e criar condições para que a sociedade encontre as suas próprias soluções, através de arenas institucionais em que a aprendizagem e a experimentação se tornem instrumentos para a identificação e teste de soluções sócio-ecológicas diversas e contextualmente relevantes (CUMMING *et al*, 2013; VIRAPONGSE *et al*, 2016). Além disso, Virapongse et al (2016) sugerem que conhecimento e a aprendizagem possuem papel central para gestão de sistemas adaptativos (VIRAPONGSE *et al*, 2016). A sustentabilidade está relacionada ao conhecimento gerado pela aprendizagem contínua e adaptação perpétua. (CARPENTER e GUNDERSON, 2001; OLSSON e FOLKE, 2004).

No entanto, essa forma de aprendizagem requer mais do que a participação de técnicos especialistas (CARPENTER e GUNDERSON, 2001). Para gerar conhecimento sobre a

dinâmica de ecossistemas complexos é necessário que haja cooperação entre os conhecimentos científico e tradicional (OLSSON e FOLKE, 2004). Em função disso, a abordagem dos SSEs valoriza a experiência das comunidades locais, muitas vezes atentas a indicadores ignorados ou pouco utilizados pela ciência (OLSSON e FOLKE, 2004, VIRAPONGSE *et al*, 2016). Essa forma de conhecimento empírico, a que Scott (1998 *apud* POLLINI, 2009) nomeou “Metis”, é definida como a soma de habilidades práticas e inteligência adquirida através da adaptação a ambientes naturais e humanos em constante mudança. A valorização do conhecimento das comunidades locais é vista como um importante contraponto, por exemplo, à ideia de que o uso da terra por pequenos agricultores é sempre agressivo ao ambiente e que o tipo de agricultura por eles praticada é desconectado do mundo (DOVE, 1983).

Por outro lado, a união entre os conhecimentos “científico” e “tradicional” exige uma mudança de postura por parte dos gestores e pesquisadores. É preciso que ambos deixem o papel de especialistas externos com uma agenda pré-definida, e passem por uma imersão na situação problema, tornando-se um entre diversos agentes que atuam em um sistema e que contribuem para a aprendizagem e o processo de geração de conhecimento (POLLINI, 2009, VIRAPONGSE *et al*, 2016). Dessa maneira, os especialistas se transformam em facilitadores, responsáveis pela conexão entre grupos locais, indivíduos-chave, e instituições relevantes para o enfrentamento de desafios sócio-ecológicos (VIRAPONGSE *et al*, 2016). Em ambientes caracterizados pela incerteza, as pequenas iniciativas, que atuam como fatores endógenos em sistemas complexos, possuem maiores chances de sucesso (CUMMING *et al*, 2013). Da mesma forma, o papel do indivíduo ganha relevância, pois graças a sua habilidade de exercer liderança e inspirar confiança, possui a capacidade e a legitimidade para promover transformações a partir de dentro do sistema (OLSSON e FOLKE, 2004).

Além disso, as crises se tornam oportunidades, tanto para a renovação e começo de uma nova trajetória para o sistema, quanto para a aprendizagem e geração de conhecimento (CARPENTER e GUNDERSON, 2001; CUMMING *et al*, 2013). Isso porque o processo de aprendizagem das comunidades locais está profundamente conectado aos ciclos de sucesso e fracasso das políticas de gestão a que elas estão sujeitas (WESTLEY, 1995). Durante as fases de sucesso quase não há aprendizagem, porém, quando as políticas de gestão falham, a aprendizagem se torna urgente e adquire relevância (CARPENTER e GUNDERSON, 2001).

## **1.5. Conclusão**

Os princípios da teoria ecossistêmica e suas possibilidades de aplicação prática como instrumento de diagnóstico ambiental continuam sendo importantes em esforços de caracterização física química de corpos hídricos. Da mesma forma, os fundamentos da Ecologia da Paisagem são importantes para que se analise a função das classes de uso e cobertura da terra atual, bem como para verificar a possível associação entre os elementos predominantes em setores distintos da imagem e as características das águas que drenam essas áreas. Por sua vez, a abordagem dos SSEs é explícita na tentativa de reconstruir o histórico de ocupação humana e as distintas fases que caracterizaram o uso da terra e a exploração dos recursos naturais em uma determinada área da superfície da terra. Em função dessas características é que na presente dissertação foi buscado o uso destas três teorias, de modo a potencializar a contribuição da mesma ao entendimento dos processos aqui sendo analisados.

## **CAPÍTULO 2.0 Ecossistemas Florestais e Recursos Hídricos**

### **2.1. Introdução**

O objetivo deste capítulo é fornecer embasamento teórico para análises e discussões dos resultados da presente pesquisa. Dessa maneira, são apresentados os estudos científicos mais recentes a respeito da relação entre os ecossistemas florestais e os padrões de precipitação, e o conhecimento consolidado em torno do tema “ecossistemas florestais e a disponibilidade e qualidade hídrica”. Além disso, é levantada a associação entre os desafios ligados à manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, a produção agrícola e os ecossistemas florestais; e é comentada a Lei de Proteção à Vegetação Nativa/2012.

### **2.2. Ecossistemas florestais e os padrões de precipitação**

Diversos estudos demonstraram em décadas recentes a relação entre os ecossistemas florestais e a ocorrência de chuvas (SALATI, LOVEJOY e VOSE, 1983; SALATI e NOBRE, 1991; MAKARIEVA e GORSHKOV, 2007; DOBROVOLSKI e RATTIS, 2015). Em função disso, a perspectiva outrora dominante de que a vegetação nativa surge como consequência das condições climáticas, somadas aos fatores geomorfológicos e geológicos locais, cedeu espaço para o entendimento de que as condições climáticas também podem ser determinadas pela vegetação (SALATI e NOBRE, 1991; MAKARIEVA e GORSHOKV, 2007).

Enquanto na Bacia Amazônica foi verificado que nuvens se formavam a partir do dossel da floresta (SALATI, LOVEJOY e VOSE, 1983), na Costa Rica foi constatado que a formação de nuvens era inibida em áreas desmatadas (LAWTON, NAIR e WELCH, 2001). Um transecto estabelecido na Amazônia Brasileira, indo de Belém (PA) a Tabatinga (AM) (numa distância de 2500 km), registrou o aumento de pluviosidade no sentido Leste-Oeste, resultado oposto ao que seria esperado caso a umidade atmosférica precipitada tivesse sua origem direta no oceano (SALATI e NOBRE, 1991). A partir da utilização de isótopos de  $O_{18}$  foi comprovado que entre 50% e 60% das chuvas na Amazônia provêm da umidade evapotranspirada pela vegetação, demonstrando a capacidade que a floresta possui de reciclar a umidade (SALATI e NOBRE, 1991; SHEILD e MURIYARSO, 2009). Além disso, foi verificado que esse fluxo de vapor de água, ao alcançar a Cordilheira dos Andes, no sudoeste da Amazônia, tomava a direção norte-sul e avançava pelo sudeste da América do Sul (SALATI e NOBRE, 1991). Dessa forma, o papel da floresta amazônica como importante dispersor regional de umidade foi demonstrado, bem como o fato de que a maioria do vapor

de água presente no Brasil central, sul da Bolívia, Paraguai e o norte da Argentina é originária da Amazônia (MARENGO *et al*, 2004; NOBRE, 2014).

Por outro lado, Makarieva e Gorshkov (2007) notaram que o fluxo de umidade do oceano para a terra era diferente em regiões terrestres florestadas e não florestadas; e que, desde que conectados a grandes corpos hídricos, ecossistemas florestais extensos e contínuos seriam capazes de manter a umidade em patamares elevados durante o ano todo. Makarieva e Gorshkov descreveram o funcionamento da “bomba biótica de umidade atmosférica” da seguinte maneira: o fluxo de evapotranspiração da floresta mantém correntes de ar ascendentes, que atraem o ar úmido do oceano; ao ascender, essa massa de ar oceânica resfria-se e sua capacidade de reter umidade é reduzida, causando a precipitação (MAKARIEVA e GORSHKOV, 2007). Pesquisas posteriores revelaram que o dossel das florestas libera aerossóis que servem como suporte para a condensação do vapor de água e contribuem para a formação de nuvens (NOBRE, 2014).

Numa região de Mata Atlântica no estado de São Paulo foi constatado que, embora as áreas florestadas não apresentassem maior volume anual de pluviosidade, a frequência de chuvas era maior; ao mesmo tempo em que eventos chuvosos intensos – como as tempestades – eram mais comuns em áreas desmatadas, comprovando a capacidade da floresta de mitigar eventos climáticos extremos (WEBB *et al*, 2005). Além disso, Webb e colaboradores também verificaram que grandes variações climáticas estavam relacionadas a uma maior variação na cobertura florestal. Por este motivo, eles chegaram à conclusão de que a proteção das florestas existentes é o fator mais importante para a regulação climática, seguido pela expansão da cobertura florestal (WEBB *et al*, 2005).

### **2.3. Ecossistemas florestais e a questão da qualidade e disponibilidade hídrica**

Embora o ciclo hidrológico não dependa exclusivamente de fatores bióticos, o seu funcionamento é afetado diretamente pela condição ambiental dos ecossistemas que o suportam. (SALATI e NOBRE, 1991; SALATI, LOVEJOY e VOSE, 1983; VALENTE e GOMES, 2005). Isto decorre do fato que os ecossistemas asseguram os níveis fundamentais de quantidade e qualidade de água disponível (MARENGO *et al*, 2004; SALATI e NOBRE, 1991; WWDR4, 2012).

Desta forma, um elemento importante que afeta o funcionamento do ciclo hidrológico é a cobertura florestal, pois esta, ao interceptar a água das chuvas, regula o escoamento

superficial e a taxa de erosão dos solos. Além disso, em ecossistemas florestais, os solos são porosos e ricos em matéria orgânica, o que aumenta a sua permeabilidade e capacidade de reter a umidade (SALEMI *et al*, 2013). Outro fato importante para o funcionamento do ciclo hidrológico é que as estruturas das plantas influenciam diretamente na forma e velocidade com que a água das chuvas atinge a porção superior dos solos, já que suas raízes facilitam a drenagem dos horizontes superficiais, influenciando assim a infiltração, contribuindo para o reabastecimento do lençol freático e propiciando maior tempo de permanência da água na bacia hidrográfica (WWDR4, 2012; MORAIS, 2012; VALENTE e GOMES, 2005; SILVA, SHULZ e CAMARGO, 2007). Como consequência disso, embora o fluxo anual total dos rios seja maior em áreas tropicais desmatadas, o volume de água disponível durante a estiagem diminui, com reduções significativas no fluxo de base e na concentração de umidade no solo (BROWN *et al*, 2005; SALEMI *et al*, 2013).

Deste modo, a cobertura vegetal é fator chave no processo de infiltração das águas, pois além de proteger os horizontes superficiais do solo do impacto das gotas da chuva, aumenta indiretamente sua macro porosidade, atenuando a compactação e impedindo o selamento da superfície. (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 1991; VALENTE e GOMES, 2005; MORAIS, 2012). A vegetação possui também a capacidade de estabilizar encostas e reduzir o escoamento superficial, diminuindo a vulnerabilidade das encostas a deslizamentos, e a ocorrência de enchentes (DOSSKEY *et al*, 2010; SALEMI *et al*, 2012). As matas ciliares também desempenham funções múltiplas, pois servem de habitat para espécies endêmicas, e atuam como importantes corredores biológicos na paisagem, estabilizam as margens dos rios e ainda são capazes de reter sedimentos e químicos – como os fertilizantes e agrotóxicos utilizados na agricultura (DOSSKEY *et al*, 2010; SALEMI *et al*, 2012).

No entanto, Swift, Izac e Van Noordwijk (2004) enfatizam o controle hierárquico exercido pelas plantas sobre os outros subsistemas que compõe a comunidade biológica – herbívoros e decompositores. Segundo Swift, Izac e Van Noordwijk, embora existam diferentes interações entre os três componentes, a produtividade, massa, diversidade química e complexidade física das plantas exerceria papel determinante na diversidade e eficiência funcional dos outros dois subsistemas. Assim sendo, a maior parte das funções ecossistêmicas – como a regulação do ciclo hidrológico – seria predominantemente determinada pela comunidade de plantas (SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004).

A substituição de ecossistemas florestais por terras agrícolas traz diversos prejuízos para a manutenção das funções ecossistêmicas (SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004; MADRI-LÓPES e GIAMPIETRO, 2015). O problema é que enquanto a agricultura é

associada à erosão e contaminação das águas, o desmatamento reduz a capacidade ecossistêmica de absorção destes distúrbios (POSTEL e THOMPSON, 2005). Além disso, quando o manejo da terra é ineficiente ou inadequado, a agricultura reduz a concentração de matéria orgânica no solo, liberando o carbono armazenado para a atmosfera, e contribuindo, entre outras coisas, para o agravamento do aquecimento global (SWIFT, IZAC e NOORDWIJK, 2004; SALEMI *et al*, 2012; ASSAD *et al*, 2013). Isso ocorre porque a conversão de florestas em lavouras reduz a entrada de matéria orgânica nos solos; ao mesmo tempo em que o aumento da temperatura na superfície dos solos, somado a introdução de práticas agrícolas que causam o revolvimento do solo, acelera a decomposição do carbono estocado (POLLINI, 2009; SALEMI *et al*, 2012, ASSAD *et al*, 2013; GROppo *et al*, 2015). Os solos sob uso agrícola também são menos eficientes na retenção de nitrogênio, o que resulta na depleção do estoque de nitrogênio do solo, além de contribuir para o processo de nitrificação das águas (GROppo *et al*, 2015). Outra alteração causada pelo uso agrícola dos solos é o aumento do fósforo nas águas superficiais, que contribuiu para o aumento de produtividade primária e pode levar à eutrofização dos ecossistemas aquáticos (TOWNSEND, BEGON e HARPER, 2006; GROppo *et al*, 2015).

Diversas pesquisas apontam que a infiltração de água no solo é sempre máxima quando coberto por floresta primária (VALENTE e GOMES, 2005; SILVA, SCHULZ e CARVALHO, 2007; MORAIS, 2012). Assim sendo, desmatar e substituir paisagens naturais por culturas agrícolas significa interferir negativamente no ciclo hidrológico. Isto ocorre porque o solo cultivado, com o passar do tempo, possui a tendência de ter sua estrutura modificada pelo fracionamento dos agregados em estruturas menores, aumentando sua densidade e diminuindo a infiltração de água. (PANACHUKI *et al*, 2011). Além disso, a substituição de espécies nativas por plantas com alta demanda hídrica pode contribuir para a depleção das águas subterrâneas (BROWN *et al*, 2005; JACKSON *et al*, 2005; POSTEL e THOMPSON, 2005; SALEMI *et al*, 2013; WWDR4, 2012; LIU *et al* 2017).

No Brasil, dos 270 milhões de hectares usados para práticas agrícolas, 200 milhões de hectares são pastagens (Assad *et al*, 2013). O pisoteio do gado gera o aumento da densidade do solo (compactação), o que reduz a condutividade hidráulica dos horizontes superficiais (SALEMI *et al*, 2012). Por essa razão, quando as florestas são convertidas em pastagens, a porcentagem de chuva que se transforma em escoamento superficial dobra; causando aumento no fluxo de íons para os córregos, e deixando o solo das pastagens mais exposto à erosão e a eventos climáticos extremos (SALEMI *et al*, 2012; SILVA *et al*, 2012; SALEMI *et al*, 2013). Além disso, quando não existem estruturas de coleta e aproveitamento, as fezes excretadas

pelas criações podem levar à contaminação dos recursos hídricos por coliformes fecais (POSTEL e THOMPSON, 2005; WANG *et al*, 2010).

As bacias hidrográficas possuem papel importante para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos de nutrientes – como o carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre -, visto que a química das águas e as taxas de exportação de nutrientes pelos córregos são determinadas por processos que ocorrem em toda a bacia de drenagem (ANDRADE *et al*, 2011). Portanto, as análises químicas das águas fornecem um diagnóstico de saúde e integridade dos ecossistemas (SILVA *et al*, 2012), e as pequenas bacias hidrográficas são importantes ferramentas para a detecção de mudanças no uso da terra, principalmente pela eficiência no processamento e transporte de elementos (SILVA *et al*, 2012).

Os corpos hídricos impactados por práticas agrícolas geralmente apresentam alta turbidez – causada pelo aumento das taxas de erosão -, elevação das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID), além de aumento na concentração de íons como nitrato, cloro, fósforo e amônia (KRUSCHE *et al*, 2002; ANDRADE *et al*, 2011; SILVA *et al*, 2012). Da mesma forma, a contaminação de corpos hídricos em áreas urbanas também possui características específicas. A decomposição da matéria orgânica, consequência do despejo de esgotos in natura nos rios, gera o aumento das taxas de respiração e reduz as concentrações de oxigênio dissolvido (ANDRADE *et al*, 2011). Ballester e colaboradores (1999) observaram que os esgotos domésticos alcançam os rios principais através de tributários altamente poluídos, que chegam a apresentar valores de contaminação de 4 a 5 vezes maiores do que os encontrados ao longo dos rios principais. Em locais onde a contaminação por esgoto é alta, as concentrações de oxigênio dissolvido estão relacionadas ao volume de água dos corpos hídricos, pois quanto menor a diluição, menores serão as concentrações de oxigênio (BALLESTER *et al*, 1999). Além disso, a urbanização é fonte de metais pesados – tais como o chumbo -, relacionados principalmente à atividade industrial (SILVA *et al*, 2012). Dessa maneira, em geral as águas antropizadas apresentam maiores concentrações de turbidez, COD e íons dissolvidos, ao mesmo tempo em que as concentrações de oxigênio dissolvido e os valores de pH tendem a diminuir (ANDRADE *et al*, 2011).



## **2.4. Recursos Hídricos, Produção Agrícola e Ecossistemas florestais no contexto das Mudanças Climáticas**

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas já alertou que as mudanças climáticas deverão criar pressões e preocupações para a sustentação da sociedade humana e para os sistemas naturais da Terra, especialmente no que se refere à disponibilidade e à qualidade da água (IPCC, 2014). Este prognóstico implica na possibilidade de que as mudanças climáticas serão vivenciadas principalmente por meio das alterações na distribuição dos recursos hídricos, tanto na escala temporal – por meio das estações e dos anos – quanto na escala espacial – a partir de sua localização em regiões e países (WWDR4, p. 45, 2012). As mudanças climáticas também deverão contribuir para aumentar a demanda mundial por água a partir do aumento das taxas de evapotranspiração das plantas, o que significaria um aumento da pressão sobre os recursos hídricos disponíveis pela agricultura (LAPOLA et al, 2014). Outra consequência prevista das mudanças climáticas é o aumento da demanda por energia elétrica gerada, entre outros motivos, pela disseminação e intensificação do uso de aparelhos de refrigeração e ar condicionado (WWDR4, 2012).

As mudanças climáticas devem ainda comprometer a integridade dos ecossistemas florestais, alterando sua estrutura e reduzindo sua capacidade de ofertar serviços ecossistêmicos (WWDR4, 2012; NOBRE, 2014). O aquecimento da superfície do solo - mantendo-se o volume atual de precipitação - causará por si só a redução na umidade disponível para as plantas (MEIR e PENNINGTON, 2011). No entanto, em algumas regiões - como na porção leste da Amazônia – está previsto que a elevação das temperaturas será acompanhada de uma redução no volume das chuvas, especialmente durante a estação seca (NOBRE, 2014). Essa redução na disponibilidade hídrica pode alterar as características da vegetação – gerando, por exemplo, reduções na biomassa e diversidade - e, uma vez que a floresta se torna mais susceptível a incêndios, deve acelerar o processo de savanização da floresta amazônica (MEIR e PENNINGTON, 2011). Além disso, eventos climáticos extremos como as estiagens prolongadas deverão reduzir a produtividade e a biomassa de ecossistemas florestais (MEIR *et al*, 2009); e a ocorrência das mesmas poderão se tornar mais comuns com a intensificação das mudanças climáticas (WWDR4, 2012).

Este cenário não estaria completo sem as projeções de crescimento populacional para as próximas décadas. É estimado que a população humana será 8.5 bilhões em 2030 e 9.7 bilhões em 2050 (UNDESA, 2015). As consequências deste aumento populacional serão amplificadas pela disseminação de hábitos de alimentação e consumo vigentes atualmente nos

países desenvolvidos - principalmente em países como a China e a Índia - cuja demanda por recursos naturais e energéticos é intensiva, como as dietas ricas em produtos de origem animal (WWDR4, 2012; WBG, 2016). Por conta disso, a demanda por alimentos deverá crescer por volta de 50%, enquanto a pressão por geração de energia a partir da construção de hidrelétricas e outras fontes de energia renováveis terá um crescimento estimado de 60% (WWDR4, 2012)

A expansão na oferta de alimentos implicará ainda em aumentar, se for mantido o modelo dominante de agricultura baseado no paradigma da “Revolução Verde” (POLLINI, 2009; BARBIER, 2011; BROCKINGTON, 2012), o consumo de água e energia. Além disso, intensificar o consumo de água e energia implicará em pressionar ainda mais ecossistemas já fortemente alterados e em aumentar a disputa pelos recursos hídricos entre os diversos setores que dependem de sua disponibilidade (WWDR4, 2012; WBG, 2013; WBG2016). O setor agrícola, por exemplo, atualmente responde por 70% de toda a demanda mundial por recursos hídricos (WWDR4, 2012; DECLERCK *et al*, 2016). Embora as projeções variem, os números apontam para o aumento do consumo global de água pela agricultura, podendo variar em torno de 11 a 20% até 2050 (IWMIA, 2007).

Estudos recentes apontam que, enquanto o desmatamento e a conversão de florestas em áreas agrícolas são os principais responsáveis pela emissão de gases associados ao efeito estufa nos trópicos, a conservação dos ecossistemas florestais e a expansão de sua cobertura contribuiriam para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (BONAN, 2008; FAO, 2010; NOBRE, 2014). Isso ocorre porque o acúmulo de biomassa – especialmente elevado nas florestas tropicais - faz destes ecossistemas drenos naturais de carbono atmosférico. Além disso, as elevadas taxas de evapotranspiração das florestas causam localmente o resfriamento do ar, e ainda contribuem para a manutenção da pluviosidade.

Portanto, observamos que o processo de escassez hídrica possui diversas faces distintas, mas complementares. De um lado, estão as mudanças climáticas atuando em nível global, causando o aumento das temperaturas e a intensificação de períodos de secas prolongadas. De outro, em nível local e regional, os ecossistemas estão fragilizados em sua capacidade garantir a prestação de serviços ambientais, mesmo ao nível mínimo necessário. As práticas agrícolas dominantes, por sua vez, desconsideram a importância da preservação ecológica, o que contribui para o agravamento das mudanças climáticas e reduz a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos (PALMER *et al*, 2004; SWIFT, IZAC e NORWIDJIK, 2004; DECLERCK *et al*, 2016

## **2.5. A Lei de Proteção à Vegetação Nativa/2012 e seus impactos na manutenção das Áreas de Proteção Permanente (APPs)**

A legislação e as políticas públicas são de grande importância para o manejo sustentável da terra (SPAROVEK *et al*, 2012). Por exemplo, considerando que 53% dos remanescentes da Mata Atlântica se encontram em propriedades privadas, proteger fragmentos florestais localizados apenas no interior de unidades de proteção integral não seria o bastante para assegurar a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos (SOARES-FILHO *et al*, 2014; BRANCALION *et al*, 2016). Na área em que a presente pesquisa foi desenvolvida, as matas em propriedades privadas podem abranger uma porcentagem ainda maior dos remanescentes florestais, visto que as áreas pertencentes às unidades de proteção integral são pequenas e se sobrepõem<sup>3</sup> (IEF, 2007). Portanto, é necessário refletir sobre a paisagem tendo em vista as determinações da Lei de Proteção à Vegetação Nativa<sup>4</sup>, legislação que substituiu o Código Florestal brasileiro, em vigor desde 1965 (BRANCALION *et al*, 2016).

A comunidade científica foi ignorada na preparação da Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei Nº 12.651, de 25 de maio 2012), e houve pouca participação da sociedade civil na elaboração do novo código (METZGER *et al*, 2010; BRANCALION *et al*, 2016). É importante notar que o setor ruralista precisava se adequar às novas exigências de certificação internacional e nos ditames da legislação nacional (SPAROVEK *et al*, 2012). Como a adequação do setor agrícola ao Código Florestal então vigente exigia mudanças drásticas nas práticas dominantes (SPAROVEK *et al*, 2012), a opção feita pelo governo federal foi de alterar a legislação (METZGER *et al*, 2010; SPAROVEK *et al*, 2012; SOARES-FILHO *et al*, 2014). Portanto, as mudanças trazidas pela nova legislação expressam acordos políticos realizados entre o governo federal e o setor ruralista (METZGER *et al*, 2010), e não propriamente os anseios da sociedade civil ou, tampouco, o conhecimento obtido pela ciência desde 1965 (SPAROVEK *et al*, 2012).

Uma das principais novidades trazidas pela Lei Nº 12.65/2012 foi a eliminação da exigência de Reserva Legal para propriedades com até quatro módulos fiscais expressa no artigo 67 (SPAROVEK *et al*, 2012). O artigo 67 permitiu que as reservas legais destas propriedades fossem registradas nestas propriedades com menos de 20% do terreno, contanto

---

<sup>3</sup> A área do PESB em Belisário possui 319 hectares, porém não foi possível determinar as dimensões do PMPI, ou mesmo o grau de sobreposição destas duas unidades. O diagnóstico realizado pelo IEF apenas menciona a sobreposição e aponta ingerência por parte da prefeitura municipal de Muriaé (IEF, 2007).

<sup>4</sup> Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, oriunda do projeto de Lei nº 1.876/99.

que se respeitassem as florestas existentes em 22 de Julho de 2008<sup>5</sup> (SOARES-FILHO *et al*, 2014). Essas áreas seriam automaticamente consideradas cotas de reservas ambientais, que poderiam ser negociadas com proprietários cujos terrenos possuem menos florestas do que exigido pela legislação (SOARES-FILHO *et al*, 2014). No entanto, em 24 de Junho de 2015, o Tribunal de Justiça de Minas Gerais declarou a inconstitucionalidade incidental do artigo 67, por considerar que ele fere o dever geral de proteção ambiental e compromete a função social das propriedades rurais<sup>6</sup>. Portanto, as pequenas e médias propriedades em Minas Gerais continuam obrigadas a reservar 20% do terreno para a conservação da vegetação nativa.

Da mesma forma, a partir de 2012 as Áreas de Proteção Permanente (APPs) foram incluídas no cálculo para determinar a percentagem da propriedade destinada à reserva legal (SOARES-FILHO *et al*, 2014), além de terem tido seu tamanho reduzido. Por exemplo, o entorno das nascentes intermitentes não é mais considerado APP e houve redução de 87% nas APPs localizadas em topos de morro. Tais medidas devem contribuir para a redução da disponibilidade e qualidade hídrica, e agravar problemas sociais e ambientais como as estiagens prolongadas e a desestabilização das encostas. (BRANCALION *et al*, 2016). Enquanto o Código Florestal de 1965 estabelecia as áreas de vegetação ripária a partir do nível máximo dos córregos e rios, a Lei Nº 12.65/2012 estabelece essas áreas a partir do nível médio do rio (BRANCALION *et al*, 2016). Em várzeas drenadas, isto significa uma dupla redução, pois a retificação do curso dos corpos hídricos reduz sua extensão linear (CHRISTOFOLETTI, 1974), e a drenagem causa o rebaixamento do lençol freático (RATSEP *et al*, 1994).

As faixas destinadas às APPs ao longo dos corpos hídricos pela LPVN são definidas conforme apresentado na Tabela 1.

---

<sup>5</sup> Nesta data foi criada a Lei de Crimes Ambientais, que especifica as infrações e sanções ambientais (BRANCALION *et al*, 2016).

<sup>6</sup> Notícia disponível no site do Ministério Público do Estado de Minas Gerais: <<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/tjmg-declara-a-inconstitucionalidade-do-artigo-67-do-novo-codigo-florestal.htm#.Wi-0aEqnHIU>>.

**Tabela 1. APPs ao redor de córregos e rios conforme o novo Código Florestal<sup>7</sup>**

<b>Tamanho da propriedade (módulos fiscais)</b>	<b>Raio de proteção (m)</b>
Até 1	5
Entre 1 e 2	8
Entre 2 a 4	15
Entre 4 a 10	20
> 10	30

Portanto, a implementação da Lei Nº 12.65/2012 deve trazer mudanças na estrutura da paisagem. Espera-se que a nova legislação tenha grande adesão por parte dos proprietários rurais, visto que as propriedades que não efetuarem o registro no Cadastro Ambiental Rural (CAR) sofrerão restrições para obter licenças ambientais e financiamentos em bancos públicos (BRANCALION *et al*, 2016). No entanto, a Lei Nº 12.65/2012 deve gerar corredores florestais descontínuos ao longo dos corpos hídricos, posto que a largura exigida varia conforme o tamanho das propriedades (BRANCALION *et al*, 2016). Além disso, em paisagens caracterizadas por pequenas propriedades, a faixa de mata ciliar será mais estreita do que a largura mínima de 10 m (VOUGHT *et al*, 2010) indicada para a retenção de sedimentos, poluentes e manutenção do fluxo de animais (VOUGHT *et al*, 1995; BRANCALION *et al*, 2016).

## **2.6. Conclusão**

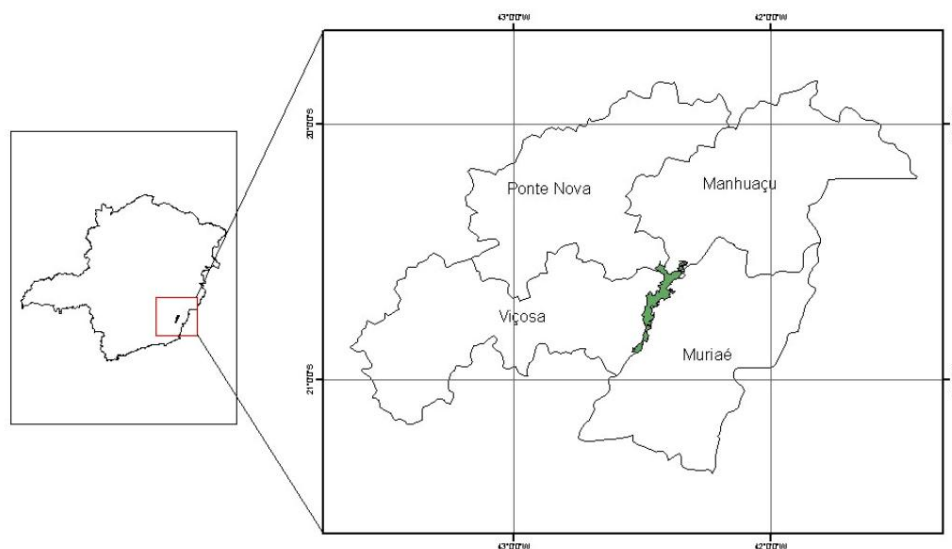
Os estudos científicos apontam para a existência de uma associação positiva entre a integridade dos ecossistemas florestais e os recursos hídricos, tanto em termos de qualidade quanto de quantidade. Além disso, a conservação e a recuperação destes ecossistemas se tornam ainda mais importante no contexto atual, tendo em vista o potencial que as florestas possuem de mitigar os efeitos das mudanças climáticas globais. Contudo, os interesses de elites que detêm o poder econômico muitas vezes prevalecem sobre os interesses ambientais e sociais (POLLINI, 2009; BRANCALION *et al*, 2016). No Brasil, a Lei Nº 12.65/2012 legaliza diversos retrocessos e a aplicação de suas diretrizes será insuficiente para a manutenção dos serviços ecossistêmicos em níveis adequados aos interesses humanos, especialmente no que se refere aos recursos hídricos (SOARES-FILHO *et al*, 2014; BRANCALION *et al*, 2016).

<sup>7</sup> Informações retiradas do trabalho “Cracking Brazil’s Forest Code” (SOARES-FILHO *et al*, 2014).

## CAPÍTULO 3.0 METODOLOGIA

### 3.1. Caracterização Física e Histórica da região em que a Área de Estudo está inserida: a Serra do Brigadeiro

A Serra do Brigadeiro está situada no leste do Estado de Minas Gerais (Figura 3), e se estende por uma linha de orientação aproximada NE-SO (Plano de Manejo do PESB, 2006). Trata-se de um prolongamento natural da Serra da Mantiqueira, uma das mais altas cadeias de montanhas do Brasil, que atinge altitudes superiores a 1900 metros (Plano de Manejo do PESB, 2006; MARTINELLI, 2007). Além disso, a Serra do Brigadeiro é o divisor de águas entre duas das mais importantes bacias hidrográficas da região Sudeste: as bacias do Rio Paraíba do Sul e do Rio Doce (CTA, 2005) (Figura 3).



**Figura 3. Localização do PESB (polígono verde), entre os meridianos 42° 40' e 40° 20' Oeste e os paralelos 20° 33' e 21° 00' Sul, e as microrregiões em seu entorno<sup>8</sup>.**

A Serra do Brigadeiro está localizada entre os grupos geológicos do complexo Juiz de Fora e Piedade, sendo a sua parte montanhosa constituída por migmatitos e gnaisses charnoquíticos do primeiro grupo (Plano de Manejo do PESB, 2006). O relevo atual está relacionado à reativação de falhas causadas pelo encontro entre as placas tectônicas do São Francisco e do Congo há 600 milhões de anos, durante o ciclo orogênico Brasileiro (Plano de Manejo do PESB, 2006). Na borda oriental da Serra do Brigadeiro, o Grupo Juiz de Fora é

<sup>8</sup> Fonte: Diagnóstico do PESB, p. 4 (IEF, 2007).

a unidade que se estende em direção a leste; face esta submetida à intemperismo intenso por se beneficiar da umidade do oceano e do efeito orográfico proporcionado pelo relevo (Plano de Manejo do PESB, 2006; AB'SÁBER, 2012). Esta região é caracterizada pela presença de rochas de filiação charnoquítica/granodiorítica de origem ígnea e seus gnaisses bandados possuem grau de metamorfismo elevado, com quantidades variáveis de biotita com K-feldspato, granada, cordierita, plagioclásio e sillimanita (Plano de Manejo do PESB, 2006).

O clima regional se caracteriza como “Cwb” na classificação de KÖPPEN (1948), que corresponde ao clima subtropical de altitude, com temperatura média anual entre 19 °C a 21°C (CTA, 2005; GS SOUTO ENGENHARIA LTDA E AMBIENTE SUSTENTÁVEL ENGENHARIA LTDA, 2011). Este é um clima de aspecto mesotérmico, marcado por verões chuvosos e invernos secos – precipitação do mês mais seco inferior a 30 mm – com 4 a 5 meses de duração (CTA, 2005). A precipitação total acumulada no ano é de 1500 mm a 1600 mm, sendo que mais de 70% da precipitação ocorre ao longo dos seis meses mais quentes (CTA, 2005; GS SOUTO ENGENHARIA LTDA E AMBIENTE SUSTENTÁVEL ENGENHARIA LTDA, 2011).

Na borda leste da Serra do Brigadeiro predominam os Latossolos Vermelho-amarelos (IEF, 2007) que são geralmente ácidos, distróficos, e que possuem altas concentrações de alumínio (IEF, 2007; GIOVANINI, 2006). Os Latossolos Distróficos são solos em que a intemperização removeu a maioria dos minerais e, por essa razão, sua capacidade de troca catiônica é reduzida, o que resulta em uma baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (Plano de Manejo do PESB, 2006). Além disso, a soma de bases dos solos não chega a 50% e ocorre a concentração de elementos cuja mobilidade é menor, tais como o ferro e o alumínio – o que resulta em solos álicos (GIOVANINI, 2006; FORTESCUE, 1980). Outra característica relacionada ao grau de evolução desta classe de solos é a sua elevada profundidade, que com frequência atinge dezenas de metros (IEF, 2007; AB'SÁBER, 2012).

A deficiência em nutrientes dos Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos é compensada por uma maior resistência à erosão e pela boa drenagem (GIOVANINI, 2006; IEF, 2007). Isso ocorre porque o estágio avançado de evolução deste tipo de solo favorece a formação de estruturas granulares no horizonte B, conferindo-os grande capacidade de resistência à erosão<sup>9</sup> (GIOVANINI, 2006). Além disso, quando as partículas de certos solos tropicais estão agregadas por óxidos e hidróxidos de Fe e Al, estes podem adquirir valores de condutividade hidráulica superiores ao esperado para solos argilosos (MORAIS, 2012).

---

<sup>9</sup> Essas capacidades são comprometidas pela retirada da vegetação nativa, tal como descrito mais adiante.

A Serra do Brigadeiro é uma das áreas *core* (centrais) do domínio dos “Mares de Morros<sup>10</sup>” – regiões serranas granítico-gnáissicas florestadas -, que é universal para grandes setores de áreas montanhosas acidentadas nos planaltos cristalinos do sudeste brasileiro (AB’SÁBER, 2012). Destaca-se neste domínio a presença de “pães de açúcar”, ou seja, rochas de cume arredondado em áreas onde o espaçamento das diaclases tectônicas é acentuado e onde as repercussões das diaclases recurvas são mais frequentes – associadas ao fenômeno “*unloading*”, que consiste na descompressão de rochas causada quando o material que as cobre é removido pela erosão (AB’SÁBER, 2012; CHISTOPHERSON, 2012).

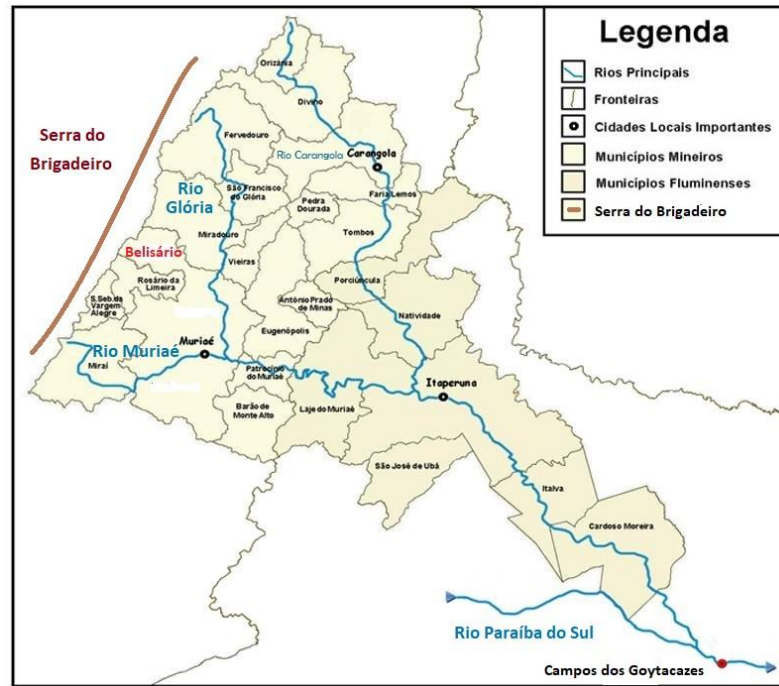
Além disso, em pontos onde há concentração de drenagem ou a montante de soleiras rochosas mais resistentes, é comum a formação de planícies aluviais, mais conhecidas como várzeas (AB’SÁBER, 2012). Essas áreas planas ou de inclinação leve são formadas pela deposição de sedimentos trazida pelos corpos hídricos, e ocorrem principalmente em áreas montanhosas de amplitude topográfica expressiva e antes de soleiras de rochas cujo material é mais resistente (CHISTOFOLETTI, 1974; AB’SÁBER, 2012). Como reflexo da direção dos dobramentos a que a região foi submetida no passado, as formas alongadas do tipo cristas e vales também apresentam geralmente orientação SO-NE, (GIOVANINI, 2006). Outra característica importante é o equilíbrio sutil entre os processos morfoclimáticos, pedológicos e hidrológicos, destacado por Aziz Ab’Sáber (2012) e Thornbury (1969).

Os rios mais próximos à Serra do Brigadeiro possuem porte pequeno, e as suas águas geralmente percorrem trechos intercalados onde o fluxo é turbulento, sendo comum a presença de cachoeiras e corredeiras; e outros onde o fluxo é laminar (em camadas e mais lento), tal como ocorre nas planícies aluviais (várzeas), onde os rios assumem um traçado meândrico (Plano de Manejo do PESB, 2006). A drenagem regional é densa, dendritificada e perene até mesmo para os menores tributários (AB’SÁBER, 2012). O Rio Muriaé e o seu afluente Rio Glória são os maiores rios da região, e suas nascentes se encontram na face leste da Serra do Brigadeiro (Figura 4).

---

<sup>10</sup> Este domínio é caracterizado pela profunda alteração das rochas e intensa mamelonização dos elementos topográficos em todos os níveis, ou seja, dos morros às montanhas (AB’SÁBER, 2012).





**Figura 4. Os rios formados na face leste da Serra do Brigadeiro<sup>11</sup>**

Na borda oriental da Serra do Brigadeiro, a excelente drenagem e grande capacidade de armazenamento hídrico dos solos (Plano de Manejo do PESB, 2006), somado aos efeitos orográficos associados ao relevo (GS SOUTO ENGENHARIA LTDA E AMBIENTE SUSTENTÁVEL ENGENHARIA LTDA, 2011; AB’SÁBER, 2012), corroboram a visão proposta pela Convenção sobre Diversidade Biológica, que atribui a função de “torres de água” para as áreas montanhosas do planeta (MARTINELLI, 2007).

A “Zona da Mata Mineira” – formada pelas regiões sul e sul oriental de Minas Gerais – foi assim denominada porque apresentava originalmente um contínuo de florestas tropicais densas e de alta biodiversidade (VALVERDE, 1958; AB’SÁBER, 2012). A Serra do Brigadeiro está inserida na região fitogeográfica da Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO, 1991), que integra o bioma Mata Atlântica. Esta formação é caracterizada por duas estações climáticas de grande contraste, uma seca e outra chuvosa, sendo que parte das árvores – cerca de 20% a 50% - perdem as folhas na estação seca como adaptação à deficiência hídrica (VELOSO, 1991; IEF, 2007). No entanto, mesmo inserida em uma região de estacionalidade acentuada, a vegetação regional apresenta características ombrófilas. Isso ocorre principalmente na borda oriental da Serra do Brigadeiro, onde a vegetação densa é suportada pela influência orográfica da Serra da Mantiqueira (AB’SÁBER, 2012). Além das

<sup>11</sup> Fonte: figura produzida pelo autor a partir de mapa disponível em: <[www.skycrapercity.com/showthread.php?t=861860](http://www.skycrapercity.com/showthread.php?t=861860)>.

florestas submontana e montana, a vegetação escrube e os campos de altitude ocorrem nas partes mais elevadas da serra, especialmente junto a afloramentos rochosos (VELOSO, 1991; Plano de Manejo do PESB, 2006; IEF, 2007). O Ministério do Meio Ambiente classificou a Serra do Brigadeiro como uma área extremamente importante para a conservação da biodiversidade brasileira (MARTINELLI, 2002).

## **O passado recente da região da Serra do Brigadeiro e suas implicações para o Distrito de Belisário**

A indústria do ferro e do aço cresceu no Brasil principalmente no final da década de 1950 e início da década de 1960, período em que o Brasil adotou políticas que buscavam a industrialização rápida (ACHINELLI, 2004). Em Minas Gerais, a conjunção entre os fatores ampla disponibilidade de minério de ferro, aparente abundância de florestas e ausência de minas de carvão resultou na opção por um modelo de produção siderúrgica pautado no uso de carvão vegetal; obtido principalmente a partir da queima de matas nativas (ACKERMAN e ALMEIDA, 1990). Esta exploração em escala industrial dos maiores remanescentes florestais de Minas Gerais teve seu auge nas décadas de 1970 e 1980 (ACKERMAN e ALMEIDA 1990; ACHINELLI; 2004; IEF; 2007). No início da década de 1990, as matas de Minas Gerais já se mostravam insuficientes para satisfazer a demanda das siderúrgicas, fato que pôs em risco a produção industrial nacional na época (ACKERMAN e ALMEIDA, 1990).

Na Serra do Brigadeiro, a produção de carvão para as siderúrgicas foi um dos principais fatores responsáveis pelo desmatamento (ACHINELLI, 2005; IEF, 2007). Em 1980, a preocupação com a devastação causada pela exploração de carvão pela empresa Belgo-Mineira culminou na redação de um documento que sugeria a criação de um Parque Nacional na região – ato precursor da criação do Parque Estadual Serra do Brigadeiro<sup>12</sup> (PESB), em 1996 (CTA, 2005). No entanto, até a sua proibição na década de 1990 - atribuída ao Decreto nº 750, conhecido como “Lei da Mata Atlântica<sup>13</sup>”, em 1993, a exploração de carvão deixaria marcas profundas na região de Belisário. Por exemplo, o levantamento florístico<sup>14</sup> realizado na trilha do Itajuru - área do PESB inserida no Distrito de Belisário – revelou que este é o setor mais antropizado da unidade, que apresenta dossel incipiente,

---

<sup>12</sup> Daqui em diante PESB.

<sup>13</sup> O Decreto Nº 750 proibiu o corte e exploração de vegetação primária ou em estado médio e avançado de regeneração na Mata Atlântica. Disponível na íntegra em:  
[http://www.ibama.gov.br/licenciamento/modulos/arquivo.php?cod\\_arqweb=dec750](http://www.ibama.gov.br/licenciamento/modulos/arquivo.php?cod_arqweb=dec750).

<sup>14</sup> O levantamento florístico consta no “Diagnóstico Ambiental” realizado em outubro de 2007 como parte do Plano de Manejo do PESB.

floresta de porte baixo, árvores mais espaçadas, segunda menor área basal e segunda menor riqueza; fatos que são relacionados no documento à existência de ruínas de fornos nas trilhas (IEF, 2007).

Na década de 1960, houve também a instalação de duas madeireiras na região: uma localizada em Rosário da Limeira<sup>15</sup>, e outra no Distrito de Belisário, no início da trilha de acesso ao Pico do Itajuru<sup>16</sup>. Ambas exploraram as matas da região em escala comercial, buscando principalmente espécies características de florestas primárias<sup>17</sup>, geralmente localizadas em áreas íngremes e de difícil acesso. Assim como a produção de carvão, a exploração de madeira em Belisário teve seu ápice nas décadas de 1970 e 1980<sup>18</sup>. Segundo o depoimento de moradores locais, a atuação das madeireiras foi um fator que contribuiu para o alto grau de antropização do Distrito de Belisário, hoje inserido no PESB.

A Revolução Verde se intensificou no Brasil a partir da década de 1960, e causou diversas transformações na paisagem rural, principalmente a partir da expansão das monoculturas e a disseminação do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos (TEIXEIRA, 2005; BALSAN, 2006). A expansão dos cultivos de café representa, junto com a produção de carvão, a principal causa do desmatamento e um dos principais fatores associados à contaminação de recursos hídricos na Serra do Brigadeiro (WATSON, 2001; ACHINELLI, 2004; CTA, 2005; IEF, 2007). A adoção desse novo modelo causou a expansão de lavouras de café na região, e a conseqüente redução das florestas (ACHINELLI, 2004; CTA, 2005). Isso porque, enquanto a exploração de carvão e madeira representavam formas de se obter lucro com o desmatamento<sup>19</sup>, os incentivos governamentais estimularam o plantio de lavouras em áreas tipicamente desprezadas pelos agricultores familiares – como as partes mais altas e íngremes dos terrenos -, impedindo o reestabelecimento das matas. (ACHINELLI, 2004; BALSAN, 2006).

A chegada da Revolução Verde na região da Serra do Brigadeiro trouxe também diversos impactos sociais e ambientais, tais como a intensificação do êxodo rural, o endividamento dos agricultores e a contaminação de recursos hídricos (TEIXEIRA, 2005). Isso porque este novo modelo agrícola se baseia na redução do uso de mão de obra através de um aumento da utilização de insumos, o que reduziu a oferta de empregos disponíveis na zona

---

<sup>15</sup> José Carneiro, agricultor de Belisário (Entrevista, 2017).

<sup>16</sup> José Álvaro Percino da Silva, artesão e ativista ambiental de Belisário (Entrevista, 2017).

<sup>17</sup> Sebastião Valter Coelho, 87 anos, um dos fundadores do Sindicato de Trabalhadores Rurais de Muriaé, Rosário da Limeira e Barão do Monte Alto (Entrevista, 2017).

<sup>18</sup> José Álvaro Percino da Silva (Entrevista, 2017).

<sup>19</sup> Sebastião Valter Coelho (Entrevista, 2017).

rural (TEIXEIRA, 2005; BALSAN, 2006). Da mesma forma, essa dependência de insumos externos para a produção minou a independência dos agricultores, em muitos casos levando à exclusão e ao endividamento causado por prejuízos associados a fatores que comprometem a rentabilidade das lavouras, como as variáveis climáticas, pragas e doenças, ou mesmo a volatilidade de preços (TEIXEIRA, 2005; INAES, 2010).

A intensificação da agricultura também trouxe impactos para as várzeas da região, áreas geralmente cobiçadas por sua fertilidade natural e relevo que favorece o uso intensivo (AB’SABER, 2012). Alguns moradores do Distrito de Belisário se uniram, na década de 1980, para aprofundar – com o uso de explosivos – o início de uma sequência de quedas e cachoeiras<sup>20</sup>. Tratava-se de uma barragem natural, formada por uma laje de pedra (Figura 5) ao final de uma grande planície aluvial aos pés das montanhas (AB’SÁBER, 2012). Duas explosões foram realizadas ao todo, com o objetivo de drenar a várzea e favorecer os cultivos<sup>21</sup>, principalmente o plantio arroz<sup>22</sup>.



**Figura 5. Ponto em que a laje de pedra foi explodida<sup>23</sup>**

Em 1981, o governo federal lançou o programa “PROVÁRZEAS NACIONAL”, que também fez parte do pacote de iniciativas de modernização da zona rural, cujo objetivo oficial era promover o “aproveitamento racional das várzeas<sup>24</sup>”. Na prática, o PROVÁRZEAS consistia na oferta de crédito e suporte técnico para a drenagem de várzeas na zona rural. As

---

<sup>20</sup> Valter Gomes de Paula, morador de Belisário (Entrevista, 2017). Seu pai era o dono do terreno em que fica a laje de pedra na ocasião das explosões.

<sup>21</sup> José Carneiro (Entrevista, 2017).

<sup>22</sup> Oriza Cerqueira Coelho (Entrevista, 2017).

<sup>23</sup> Fonte: todas as fotos deste trabalho pertencem ao arquivo pessoal do autor, com exceção da Figura 7.

<sup>24</sup> O decreto de criação do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis – PROVÁRZEA NACIONAL – está disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-86146-23-junho-1981-435419-publicacaooriginal-1-pe.html>. Consultado em: 29 de out. 2017.

máquinas da “RURALMINAS” iniciaram as atividades de drenagem em Belisário apenas na década de 1990<sup>25</sup>. Contudo, o trabalho foi de tal forma eficiente que todos os cursos d’água principais tiveram parte de seu curso retificado.

A partir da década de 1990 houve início uma recuperação parcial dos ecossistemas florestais em nível regional: Em 1991, a Prefeitura Municipal de Muriaé (PMM) criou um parque municipal – o Parque Municipal do Pico do Itajuru, bem com uma área de proteção, a Área de Proteção Ambiental (APA)<sup>26</sup> do Pico do Itajuru. Em 1996, o governo estadual de Minas Gerais incluiu parte do território do Distrito de Belisário no PESB. Em 1999, um casal de estrangeiros radicado no Brasil criou a OSCIP Amigos de Iracambi e a RPPN Fazenda Iracambi, que passou a se dedicar à recuperação e conservação do meio ambiente, colocando cerca de 250 ha em programas de recuperação da cobertura florestal. Em 2006, a PMM criou a APA Rio Preto, buscando uma maior pontuação nos critérios do ICMS ecológico. Além disso, o Distrito de Belisário possui, ainda, outras duas RPPNs em vias de oficialização – RPPN Pico da Graminha e RPPN Lar dos Muriquis. Desta forma, atualmente, 100% do território de Belisário está situado dentro de algum tipo de área protegida (Figura 6).



**Figura 6. Áreas Protegidas do Distrito de Belisário<sup>27</sup>.**

<sup>25</sup> Oriza Cerqueira Coelho (Entrevista, 2017).

<sup>26</sup> Daqui em diante, APA.

<sup>27</sup> Fonte: imagem original cedida pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Muriaé, editada pelo autor (2016).

### 3.2. O Distrito de Belisário no contexto do PESB

O Distrito de Belisário (Figura 7) está localizado no sul da Serra do Brigadeiro, nos limites da bacia do Rio Paraíba do Sul. Com pouco mais de 2300 habitantes (AGEVAP, 2013), e 113 km<sup>2</sup> de área (FRANÇA, 1997), Belisário pode ser caracterizado como sendo pronunciadamente rural<sup>28</sup>. Embora inserido em uma região onde tradicionalmente o café era o produto de maior importância econômica, houve um avanço da pecuária leiteira nas últimas décadas (ACHINELLI, 2004; CTA, 2005; VALVERDE, 1958).



**Figura 7. Vista frontal do Distrito de Belisário, Muriaé (MG)<sup>29</sup>.**

Dessa maneira, a economia local gira principalmente ao redor da produção de leite e do café, e é complementada por diversos cultivos de importância secundária, como banana, mandioca e hortaliças (ACHINELLI, 2004; CTA, 2005). Como consequência, o comércio local se baseia na comercialização de produtos e maquinários agrícolas – como fertilizantes, calcário, agrotóxicos, rações, maquinário agrícola e remédios para as criações -, além de mercados e outros estabelecimentos que fornecem produtos e serviços para a pequena população do distrito.

A área urbana do Distrito de Belisário é tipicamente um “*Strassendorf*” – agrupamento urbano linear ao longo de uma via principal (VALVERDE, 1958) -, sendo relativamente pequena. O Distrito não possui serviço público de tratamento de esgoto (AGEVAP, 2013). Dessa maneira, os dejetos são despejados diretamente no Rio Fumaça, que

<sup>28</sup> Segundo o último diagnóstico realizado pela AGEVAP (AGEVAP, 2013), Belisário possui 1028 habitantes na área urbana e 1299 na zona rural, totalizando 2327 pessoas.

<sup>29</sup> Fonte: Panoramio, por Wellington Alvim da Cunha (2014). Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/105909121>>. Acesso em 24 de Outubro de 2017.



se origina dentro do PESB, e ganha volume ao atravessar a parte rural do distrito. A porção rural é igualmente desprovida em termos da infraestrutura de saneamento básico.

O Distrito de Belisário, além de estar localizado em região montanhosa e, conseqüentemente, de relevo pronunciado, dista 40 km de Muriaé, sendo que o único acesso entre o distrito e a sede do município é uma estrada de terra. Durante a estação chuvosa, o trânsito por essa estrada é dificultado, e o funcionamento da linha de ônibus municipal que liga Belisário a Muriaé chega a ser interrompida por vários dias. O relevo íngreme da região em que o Belisário está inserido não permitiu um amplo avanço da agricultura mecanizada (INAES, 2010; MUCHIMUTI, 2014). Mas do ponto de vista agrícola, a paisagem é dominada por pastagens, plantações de eucalipto e de cafezais (ACHINELLI, 2004; Plano de Manejo do PESB, 2006; MUCHIMUTI, 2014). Os remanescentes florestais estão concentrados na parte mais elevada da Serra do Brigadeiro, principalmente nas bordas do PESB ou já dentro desta unidade de conservação (Plano de Manejo do PESB, 2006; IEF, 2007; IRACAMBI, 2013). (Figura 8).



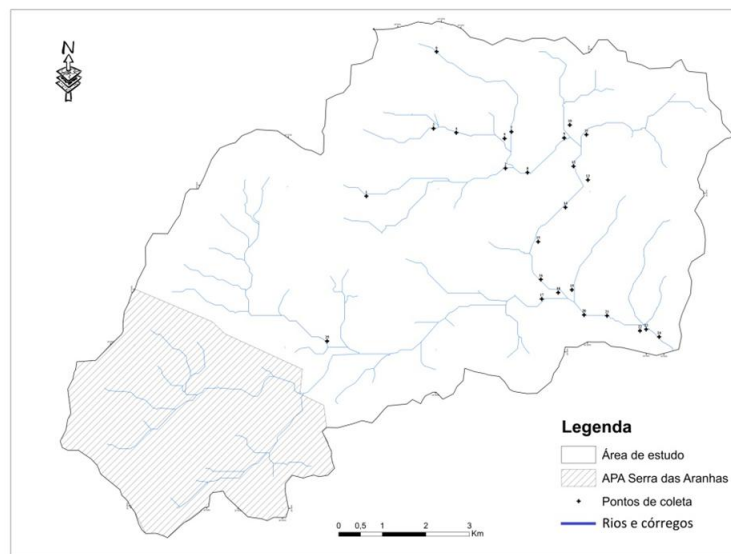
**Figura 8. Paisagem física no Distrito de Belisário mostrando contrastes no uso e cobertura da terra.**

O espaço rural em Belisário foi recentemente renovado pela atribuição de funções e serviços que ultrapassam a simples produção de commodities e alimentos, tais como o ecoturismo, as festas tradicionais e as atividades ligadas à preservação ambiental (MARDSSEN, 1989, SCHNEIDER, 2001). Em função disso, houve a consolidação de eventos tradicionais– como a “Cavalgada de Belisário” – e diversas iniciativas locais - como a criação de pousadas e roteiros de cunho rural e ecológico – que têm impulsionado o setor de turismo no distrito. Da mesma maneira, por conta de seus atrativos naturais, como trilhas na mata,

montanhas e cachoeiras, Belisário têm se destacado como destino turístico regional, principalmente entre os adeptos do turismo de aventura e simpatizantes de causas ambientais.

### 3.3. A Área de Estudo da Pesquisa: a Cabeceira do Rio Fumaça

A área de estudo (10.398,2 ha) cobre 62,5 % do distrito de Belisário – 8.213,3 hectares dos seus 13.100,0 hectares -, sendo que nela está incluída toda a porção do distrito mais próxima à Serra do Brigadeiro. Além disso, enquanto as divisas com o município de Miradouro (a nordeste) coincidem com os divisores de água da cabeceira do Rio Fumaça, os limites do distrito com o município de Rosário da Limeira não obedecem ao mesmo critério. Sendo assim, os 2.184,9 hectares restantes pertencem ao município de Rosário da Limeira, onde está localizada a APA Serra das Aranhas (Figura 9), ainda na zona de amortecimento do Parque Estadual Serra do Brigadeiro<sup>30</sup> (CTA, 2005).



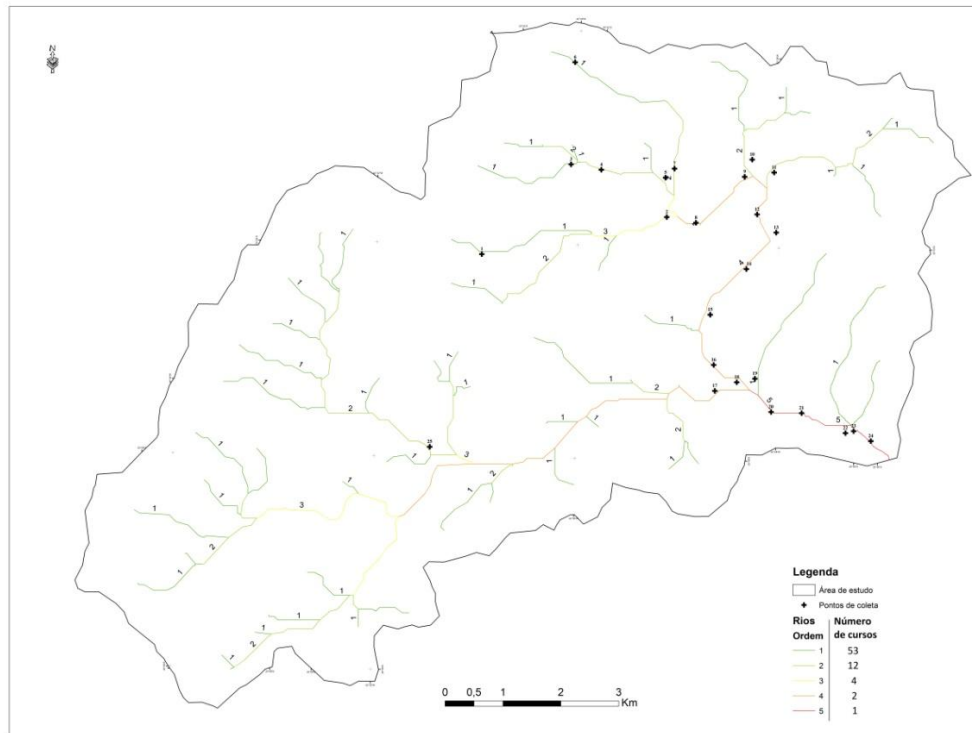
**Figura 9. Área de estudo e rede de drenagem principal.**

A configuração formada pelos cursos d'água na área de estudo se afasta do padrão dendrítico tipicamente encontrado no domínio dos mares de morros (AB'SÁBER, 2012), principalmente nos locais de maior elevação. Na porção mais próxima à cadeia de montanhas, o padrão de drenagem em treliça é o que melhor descreve o arranjo dos cursos fluviais, em que as confluências se realizam em ângulos retos, e os córregos alinham-se entre

<sup>30</sup> A zona de amortecimento do PESB possui raio de 10 km (Plano de Manejo do PESB, 2006).



formações rochosas e outros elementos topográficos paralelos – como os morros (THORNBURY, 1969, CRISTOFOLETTI, 1974). Este padrão - comum ao redor do flanco de montanhas - reflete o forte controle estrutural sobre o leito dos corpos hídricos, geralmente excetuando-se o curso principal (Figura 10) (THORNBURY, 1969).



**Figura 10. Ordenação fluvial segundo a classificação de Sthraler.**

A hierarquia fluvial consiste no processo de estabelecer a classificação dos corpos hídricos tendo em vista o conjunto total da bacia de drenagem em que eles se encontram. Neste trabalho, foi adotado o sistema de classificação de Sthraler (Figura 10) (STHRALER, 1952 *apud* CRISTOFOLETTI, 1974). Este sistema pressupõe que a ordem dos canais aumenta de uma unidade quando um curso d'água entra em confluência com outro canal de mesma ordem<sup>31</sup>.

Por uma questão de escala, além de tempo e recursos disponíveis, é impossível examinar todos os cursos d'água de uma bacia de drenagem em campo (TARBOTON, BRAS e RODRIGUES-ITURBE, 1992). Via de regra, os pesquisadores estão cientes das diferenças entre os corpos d'água encontrados em campo e aqueles derivados de mapeamentos à

<sup>31</sup> O processo de ordenamento proposto por Sthraler é muito semelhante ao sistema pioneiro criado por Horton (1952), com a diferença de que, no sistema de Horton, o rio principal recebe o mesmo número de ordem desde a sua nascente (CRISTOFOLETTI, 1974).

distância (MARK, 1983; TARBOTON, BRAS e RODRIGUES-ITURBE, 1992; PAZ *et al*, 2008). Como resultado, a omissão de córregos de primeira ordem é frequente (TARBOTON, BRAS e RODRIGUES-ITURBE, 1992) e pode ter ocorrido no presente estudo.

As bacias de drenagem rochosas e com alta declividade geralmente apresentam uma rede de drenagem mais densa e com rios menores<sup>32</sup> (PORTO, 2012). Este grande número de córregos, no entanto, dificulta a identificação da rede de drenagem completa. A rede de drenagem utilizada neste trabalho (Figura 10) foi extraída respeitando-se a máxima de que, em áreas que possuem muitos cursos d'água, devem ser incluídos os canais principais (MARK, 1983). O maior mérito do modelo apresentado consiste em facilitar a divisão da bacia hidrográfica estudada.

### **3.4. Justificativas da pesquisa**

Pesquisas têm a função não apenas de instrumento de diagnóstico ecológico, como também servem de referencial científico para orientar possíveis iniciativas de gestão ambiental e social que busquem o uso sustentável dos recursos naturais (SALATI e NOBRE, 1991; PALMER *et al*, 2004; SACRAMENTO e REGO, 2006). Neste contexto, a bacia hidrográfica surge como uma possível unidade natural de análise. Tendo em vista que os corpos hídricos são receptores de todos os processos que acontecem dentro de uma dada bacia de drenagem, a análise dos diferentes cursos d'água que compõe uma mesma unidade serve para inferir o estado ambiental de todo o sistema (RICHEY, 1990; BALLESTER *et al*; 1999; ANDRADE *et al*, 2011; SALEMI *et al*, 2013).

Há diversos aspectos que justificam o estudo da bacia hidrográfica do Rio Fumaça. Um primeiro aspecto é que sua cabeceira pode ser dividida em quatro partes. Na primeira, podemos tomar como referência um ambiente preservado, onde as nascentes partem de uma altitude superior a 1500m acima do nível do mar, dentro de uma unidade de conservação estadual, e ao descer as encostas atravessam uma floresta secundária. Na segunda parte de seu curso, o Rio Fumaça corta uma paisagem caracterizada pelo uso agrícola da terra e dominada por plantios perenes e pastagens, onde é comum o uso de agrotóxicos, fertilizantes químicos e as casas existentes não possuem serviços de saneamento básico. Em seguida, o Rio Fumaça atravessa terras onde o uso agrícola divide espaço com fragmentos de floresta secundária, e o povoamento é menos intenso. Já no último trecho, o Rio Fumaça alcança a parte urbana do Distrito de Belisário, onde recebe os dejetos domésticos de residências e estabelecimentos

---

<sup>32</sup> Esta característica favorece a redução do tempo de permanência das águas nas bacias hidrográficas (PORTO, 2012).

comerciais ali existentes. Por conta dessas características, a bacia hidrográfica do Rio Fumaça permite não apenas o estudo em conjunto dos seus principais corpos hídricos, como também a análise do seu transecto, podendo assim ser utilizada para compreender as dinâmicas e transformações que ocorrem em corpos hídricos que atravessam paisagens sob diferentes tipos dominantes de uso e intensidades de perturbação.

Para a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), a presente pesquisa foi uma oportunidade de expandir seu raio de atuação. A bacia do Rio Fumaça integra a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que é objeto de pesquisas do Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) UENF desde a sua fundação. Dessa maneira, as amostras coletadas passaram a compor o banco de dados do LCA, e podem auxiliar as investigações cujo objetivo tem sido ampliar o entendimento dos processos físico-químicos que caracterizam a bacia do Rio Paraíba do Sul. Além disso, o trabalho gerou a aproximação da UENF com a OSCIP Amigos de Iracambi, que cedeu ao autor uma de suas licenças na plataforma ArcGIS durante a execução da pesquisa. A OSCIP Amigos de Iracambi, situada a cerca de 200 km de Campos dos Goytacazes, possui 27 anos de experiência em conservação ambiental e promoção de trabalhos junto à comunidade local. Além disso, a Amigos de Iracambi detém em suas duas RPPNs importantes fragmentos de floresta estacional semidecidual montana e campos de altitude (PESB, 2006; IRACAMBI, 2013).

Para a comunidade local, a presente pesquisa representa uma oportunidade de melhor compreender os fatores que influenciam na disponibilidade e qualidade hídrica do Distrito de Belisário. Além disso, as análises feitas ao longo da pesquisa poderão servir para orientar o processo de planejamento, gestão e de tomada de decisões tanto por indivíduos - proprietários rurais - quanto por órgãos de governo ou por organizações não governamentais (ONGs). Ao longo desta pesquisa duas questões de pesquisa orientaram o esforço de coleta e análise de dados:

- Até que ponto as mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra estão afetando a disponibilidade e qualidade hídrica no Distrito de Belisário?
- A implantação de Unidades de Conservação contribui para a efetivação de práticas de uso da terra que promovem a conservação de recursos hídricos em comunidades rurais de entorno?

### **3.5. Objetivos de pesquisa**

#### **3.5.1. Objetivo principal:**

- Determinar os principais fatores que controlam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Fumaça

#### **3.5.2. Objetivos secundários:**

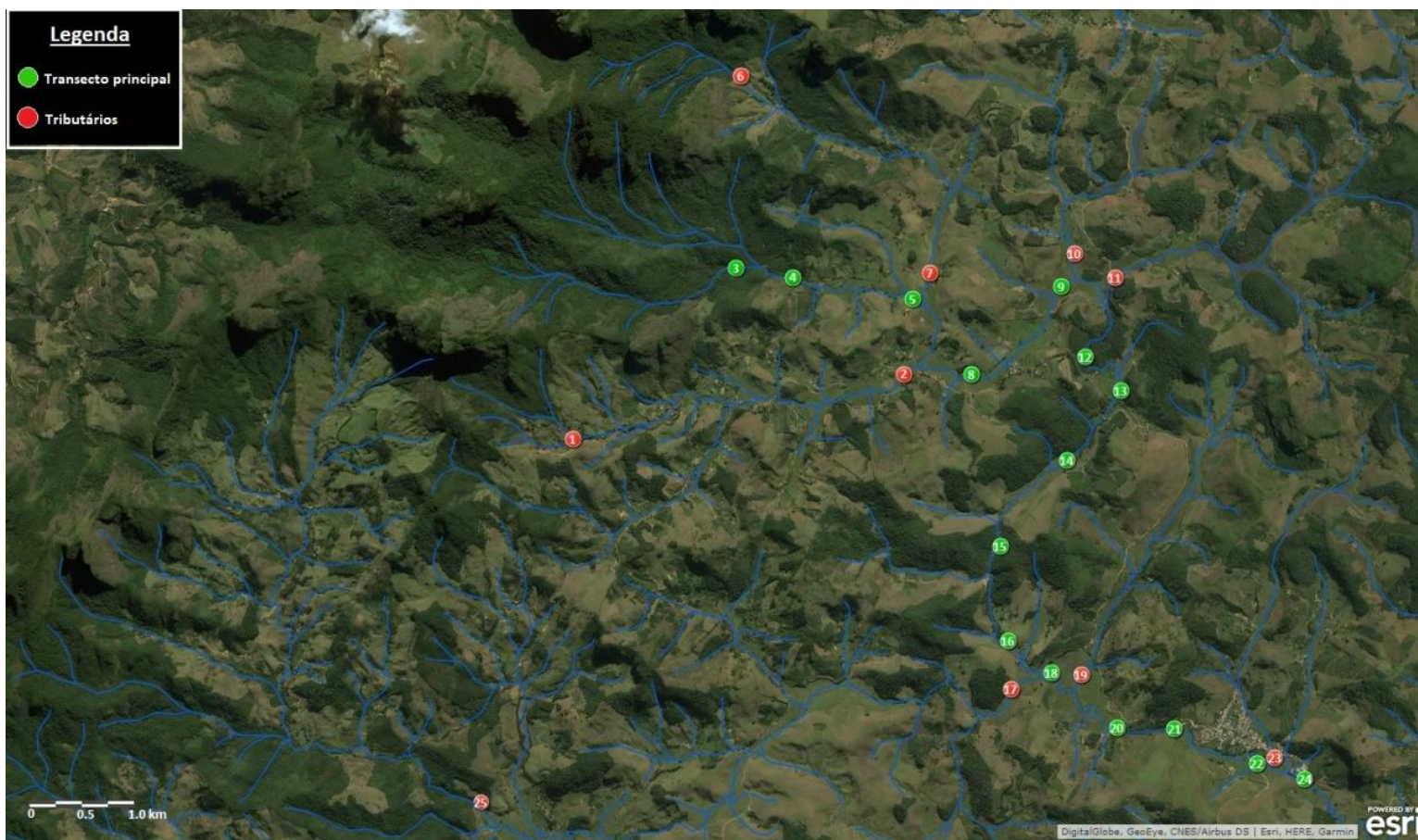
- Classificar e avaliar o uso e cobertura da terra atual na cabeceira do Rio Fumaça.
- Avaliar o impacto das mudanças na estrutura da propriedade e no uso da terra na adoção de estratégias de conservação de recursos hídricos no Distrito de Belisário.
- Analisar a variação espacial da composição química nos principais cursos d'água na bacia hidrográfica do Rio Fumaça.
- 

### **3.6. Ferramentas metodológicas**

A construção metodológica desta pesquisa adotou três técnicas de coleta de dados: elaboração de um diagnóstico sobre os principais corpos hídricos que compõe a cabeceira do Rio Fumaça – por meio da caracterização físico-química das águas-; avaliação do uso e cobertura da terra usando uma classificação de imagens de satélite; e a obtenção de informações sobre o uso da terra nas propriedades rurais no Distrito de Belisário com a utilização de um questionário. O pressuposto adotado foi de que estas três ferramentas distintas, quando integradas, forneceriam os dados necessários para responder às questões de pesquisa que guiaram a realização deste trabalho.

A realização do diagnóstico das características químicas das águas implicou na coleta de amostras de água dos principais corpos hídricos que compõe a bacia hidrográfica do Rio Fumaça. As coletas foram realizadas ao longo de um transecto principal estabelecido a partir do PESB e de tributários principais imediatamente antes das confluências com o Rio Fumaça, passando pela Zona Rural, até depois da área urbana de Belisário. Parâmetros como condutividade, pH e temperatura foram medidos em campo. Já para a realização de análises mais detalhadas – tais como a determinação da concentração de oxigênio dissolvido, concentração de metais e contagem de coliformes totais e fecais - foram recolhidas amostras em pontos escolhidos dentro destas três zonas pré-estabelecidas para serem posteriormente analisadas no LCA da UENF.

Inicialmente, as coletas abrangeriam um total de 24 pontos, sendo que 10 pontos estariam localizados em tributários do Rio Fumaça, e outros 14 pontos seriam distribuídos ao longo do transecto principal. No entanto, o ponto 25 foi incluído na amostragem após a realização da primeira campanha de coletas – em março de 2017 -, quando se verificou a necessidade de obter mais informações a respeito das águas na porção oeste da área de estudo (Figura 11).



**Figura 11, Malha amostral para análise de água na cabeceira do Rio Fumaça<sup>33</sup>.**

<sup>33</sup> Imagem de satélite fornecida pelo BING através da plataforma ArcGIS (BING Maps Aerial, 2016). Camada com os principais corpos hídricos locais fornecidos pela ANA (2017). Mapa produzido pelo autor (2017).

A escolha dos pontos de coleta foi baseada em estudos similares que foram realizados em outras partes do Brasil (AMAZONAS *et al*, 2011; ANDRADE *et al*, 2011; ASSAD *et al*, 2013; BALLESTER *et al*, 1999; GROppo *et al*, 2015; LAPOLA *et al*, 2014; PANACHUKI *et al*, 2011; SALEMI *et al*, 2012; SALEMI *et al*, 2013; TAVARES *et al*; VILELA *et al*, 2012, RICHEY *et al*, 1990). É importante registrar que o início do transecto foi determinado de forma arbitrária, conforme os objetivos da pesquisa, e não coincide com a nascente oficial do Rio Fumaça (IBGE, 2010). A análise da imagem de satélite mostrou que a microbacia que mais conserva cobertura florestal está inserida na área que pertence ao PESB e ao Parque Municipal do Pico do Itajuru. Deste modo, ainda que a floresta predominante nas áreas de contribuição dos pontos 3 e 4 seja secundária e possua no máximo 30 anos<sup>34</sup>, se trata da melhor referência disponível na região para uma microbacia com o mínimo de intervenções antrópicas. As coletas ocorreram em dois períodos distintos, uma em cada estação mais marcante do ano - chuvosa e seca -, em março e agosto de 2017.

Os trabalhos de georeferenciamento foram construídos graças à colaboração do professor Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi e de seus alunos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Nacional de Brasília (UNB). Ao longo de uma semana de trabalho, foi construída uma classificação do uso e cobertura da terra para o Distrito de Belisário, e também foram confeccionados mapas posteriormente usados nas análises realizadas no presente estudo.

Já as informações sobre as características, a gestão e o uso da terra nas propriedades rurais de Belisário foram obtidas com a aplicação de um questionário. A amostragem foi realizada nas comunidades mais próximas à Serra do Brigadeiro que pertencem ao Distrito de Belisário<sup>35</sup>. A cada dia uma ou mais comunidade foram visitadas – nove ao todo -, e o questionário foi aplicado conforme a presença e disponibilidade do (a) proprietário (a). Após a visita de todas as comunidades, o processo foi repetido até que o total de 100 questionários fosse atingido. Além disso, uma fração menor da amostra (9 questionários) foi feita com pessoas que, embora possuam terrenos na zona rural, residem na área urbana. Este procedimento foi necessário para que completássemos as coletas de dados dentro do prazo disponível.

---

<sup>34</sup> A estimativa é baseada no depoimento de moradores locais e a data de criação do PESB.

<sup>35</sup> As principais comunidades rurais de Belisário representadas em nossa pesquisa são: Graminha, Buracada, Santa Catarina, Pedra Alta, Santa Lúcia, São Tomé, Fundão e Fazenda da Onça. Além dessas, foi realizada uma entrevista com proprietário cuja propriedade encontra-se próxima à área urbana, e três na Fazenda Ribada.

### 3.7. Materiais e métodos

#### 3.7.1. Caracterização físico-química das águas

Os seguintes parâmetros físico-químicos: pH - potenciômetro portátil WTW ProfiLine-3110 com eletrodo de Ag/AgCl-; condutividade elétrica e temperatura – ambos com condutivímetro portátil Digimed DM-3P, foram determinados na sub-superfície ( $\pm 0,2\text{m}$ ) da coluna d'água e “in situ”.

O teor de Oxigênio Dissolvido foi determinado pelo Método de Winkler, descrito em Golterman *et al.* (GOLTERMAN *et al.*, 1978), nas amostras coletadas e previamente fixadas no campo com Cloreto de Manganês e Iodeto de Potássio. Neste estudo, utilizamos o percentual de saturação de Oxigênio Dissolvido, obtido através de um cálculo de conversão baseado nos valores de Oxigênio Dissolvido, as temperaturas das amostras e as altitudes – pressão atmosférica- em que elas foram coletadas.

Alíquotas das amostras coletadas foram filtradas com o uso de filtros de fibra de vidro GF/F ( $0,7\mu\text{m}$  de porosidade), previamente calcinados ( $350^\circ\text{C}/4\text{h}$ ). Os filtros foram secos e pesados antes e após a filtração para obtenção do material particulado em suspensão (MPS) por gravimetria e expressos em mg de MPS  $\text{L}^{-1}$ . Alíquotas do volume filtrado foram separadas para análise do carbono orgânico dissolvido (COD) (previamente lavados com solução de HCl a 10% e enxaguados com água deionizada e ultra -pura) contendo 5% (v/v) de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  10%, estocadas a  $4^\circ\text{C}$  na geladeira até a análise. Além disso, outras três alíquotas de cada amostra foram separadas para determinação da concentração de metais e turbidez do material filtrado. A determinação da turbidez das amostras– do material bruto e filtrado – foi realizada em laboratório utilizando aparelho La Motte modelo 2020we.

Para a determinação do COD e Nitrogênio Total Dissolvido (NTD) as amostras foram acidificadas com HCl 2N, posteriormente purgadas com ar sintético ultrapuro 5.0, durante 5 minutos para retirada da fração inorgânica do carbono (convertida a  $\text{CO}_2$  pela acidificação), e então injetada no equipamento. O COD e NTD foram determinados pela oxidação catalítica de alta temperatura ( $680^\circ\text{C}$ ) com detector dispersivo de infravermelho, no equipamento Shimadzu TOC-VCPH. Os valores do COD foram expressos em  $\mu\text{M}$  e o coeficiente de variação analítico foi inferior a 5%.

Para a determinação da concentração de metais, o volume das amostras (120 ml) foi aferido a pH 2.0 utilizando ácido  $\text{HNO}_3$  (65%) e analisados utilizando ICP-OES Varian modelo 720 ES (adaptado U. S. EPA, 1996, método 3052).



### **3.7.2. Contaminação bacteriológica**

As amostras foram coletadas em frascos de vidro de 200 ml, previamente esterilizados em autoclave a pressão de 1 atm, a 121° C por 15 minutos. As amostras foram conservadas em gelo, e transportadas em recipiente térmico até LCA/UENF. No LCA, duas diluições de cada amostra foram feitas - uma com concentração da amostra original a 10% e outra a 1% -, adicionando-se água ultrapura. A determinação da presença e a contagem de coliformes totais e fecais foram realizadas através do Método Coli-ert® (APHA, 1998). O substrato bacteriológico foi adicionado em alíquotas de 100 mL de cada amostra e suas respectivas diluições. Em seguida, o conteúdo foi despejado em cartelas (Quanti-Tray), que foram seladas e então deixadas em estufa com temperatura de 35 °C, entre 18 a 24 horas. As contagens foram realizadas visualmente, sendo que a dos coliformes fecais foi realizada com auxílio de luz Ultravioleta. Os resultados foram interpretados conforme a tabela própria ao método Coli-ert®. Após a multiplicação dos resultados encontrados em cada cartela pela respectiva concentração de amostra original (1X, 10X e 100X), foram obtidos três valores para cada ponto amostrado. O maior valor entre os três foi registrado - resultados apresentados neste estudo - e os outros dois desconsiderados.

### **3.7.3. Uso social da terra**

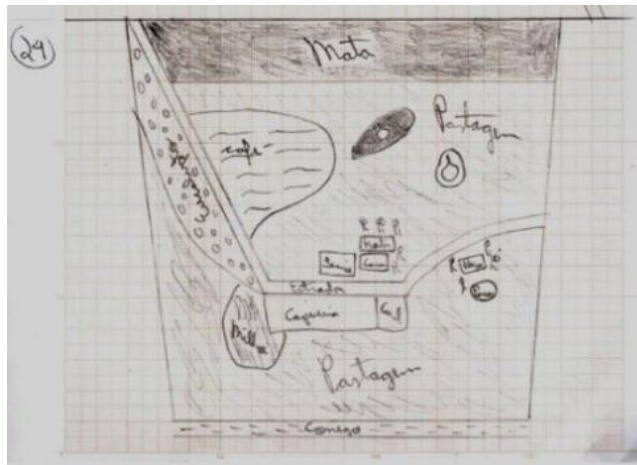
A pesquisa de campo foi realizada por meio da aplicação de um questionário estruturado - do tipo *survey* – em propriedades rurais selecionadas de maneira randômica. O questionário utilizado (ANEXO I) foi elaborado com o auxílio do professor William Vásquez<sup>36</sup> da Fairfield University, e alterado após sugestões feitas pela banca de defesa do projeto - em Março 2017 – e a execução de pré-testes em campo. O instrumento foi composto por 73 questões relacionadas às práticas agrícolas, cultivos presentes nas propriedades, estratégias adotadas para viabilizar a conservação dos ecossistemas e nascentes, área e % de cobertura florestal, além de saneamento e uso da água.

A aplicação do questionário foi complementada pelo desenho de mapas das propriedades, cujas coordenadas - obtidas com GPS (Garmin GPSMAP 64SC) – foram registradas junto aos desenhos. Idealmente, todos estes desenhos seriam feitos com a presença dos proprietários. No entanto, como o questionário era extenso, na maioria dos casos isso não foi possível. Mesmo assim, graças às visitas in loco, a cooperação dos donos

---

<sup>36</sup> Dr. Willaim F. Vásquez Mazariegos, professor de Economia na Fairfield University.

das terras, e imagens de satélite atuais, foi possível obter modelos que agregaram informações sobre a gestão do espaço nas propriedades rurais. (Figura 12).



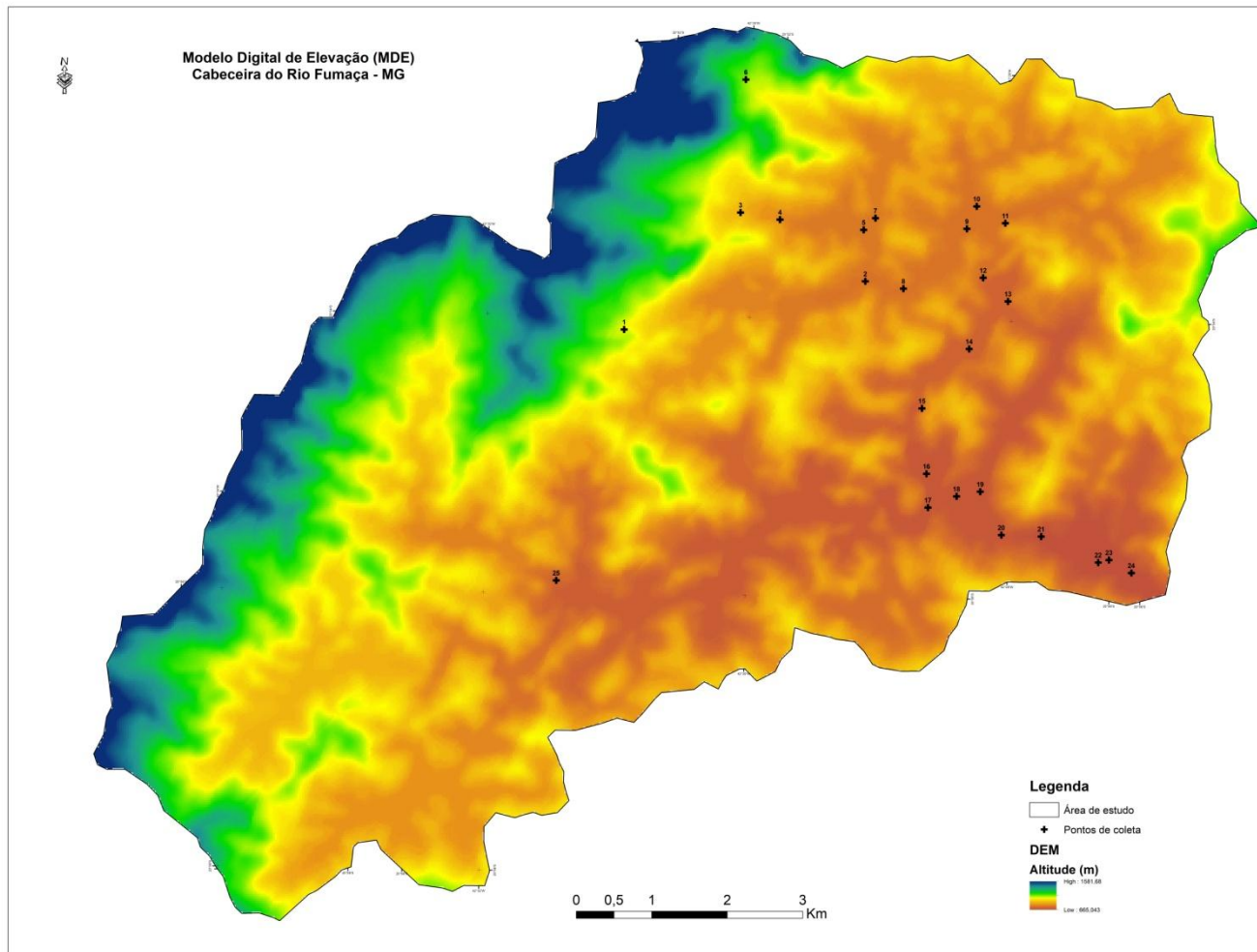
**Figura 12. Croqui de propriedade rural visitada realizado em campo.**

Além disso, foram realizadas entrevistas semiestruturadas, com roteiro previamente elaborado (ANEXO II), junto a lideranças comunitárias e pessoas de referência na comunidade local (em especial pessoas acima dos 50 anos), com o objetivo de compreender melhor o contexto local e auxiliar na construção de um histórico de ocupação para a região.

#### **3.7.4. Extração da Rede de Drenagem e Delimitação da Área de Estudo**

Algoritmos de análise hidrológica presentes na caixa de ferramentas *Hydrology* do ArcGIS foram utilizados para extrair a rede de drenagem e delimitar a área de estudo. Neste método, o processo de extração da rede de drenagem e de delimitação de bacias hidrográficas é feito com base em Modelos Digitais de Elevação (MDE) (TARBOTON, BRAS e RODRIGUEZ-ITURBE, 1992; LIN *et al*, 2006). Nesta pesquisa foi utilizado o Topodata<sup>37</sup>, MDE disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), devidamente reprojetoado para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zone 23S (Figura 13).

<sup>37</sup> Link para o site oficial do Topodata: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>



**Figura 13. Modelo de Elevação digital para a Área de Estudo com os pontos de coleta de água <sup>38</sup>.**

<sup>38</sup> Fonte: modelo fornecido pelo Topodata, mapa criado pelo autor (2017).

Um arquivo *raster* com as direções dos fluxos dos córregos e rios foi criado a partir do MDE com o uso da ferramenta *Flow Direction*. Os possíveis vazios e imperfeições foram identificados com o auxílio da ferramenta *Sink*, e corrigidos com a utilização da ferramenta *Fill*. Dessa maneira, um novo MDE - corrigido através da ferramenta *Fill* - foi criado e utilizado para gerar a versão final da direção do fluxo (*Flow Direction*). Uma vez obtida a direção do fluxo, a acumulação do fluxo pôde ser determinada através da ferramenta *Flow Accumulation*.

Para a extração da rede de drenagem foi necessário determinar quantos pixels adjacentes deveriam formar os rios. Em função disso, diversos valores foram testados – 1000 pixels, 500 pixels, 200 pixels -, sendo que o limiar de 300 pixels mostrou ser o mais adequado. Para esta escolha, os registros feitos em campo a respeito da rede de drenagem local e o conhecimento empírico do autor a respeito da área de estudo foram importantes. O limiar adotado serviu de base para a formulação de uma expressão algébrica que foi empregada para a criação de um *raster* com a rede de drenagem por meio da ferramenta *Spatial Analyst – Map Algebra – Raster Calculator*. Em seguida, a rede de drenagem foi convertida em um arquivo *shapefile* através da ferramenta *Spatial Analyst -> Hydrology -> Stream to Feature*.

A Bacia de Drenagem foi gerada por meio da ferramenta *Spatial Analyst -> Hydrology -> Basin*. Nesta pesquisa, o último ponto de amostragem da rede de coletas foi adotado como exutório, o que serviu de base para a definição dos limites da bacia de drenagem, e resultou na formatação final da área de estudo.

### **3.7.5. Classificação do uso e cobertura da terra**

Para obter a classificação do uso e cobertura da terra foi realizada uma classificação supervisionada utilizando a ferramenta de análise espacial “*Maximum Likelihood Classification*” (classificação por máxima semelhança), no ambiente do software ArcGIS. As imagens do satélite *RapidEye*, adquiridas em 2014, possuem resolução de cinco metros<sup>39</sup> (BLACKBRIDGE, 2015). Estas imagens foram solicitadas e obtidas gratuitamente no catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens do INPE<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> Isso significa que cada pixel da imagem possui as dimensões 5m X 5m e representam, portanto, uma área de 25 metros quadrados.

<sup>40</sup> Link para o catálogo de imagens: <http://www.geocatalogo.mma.gov.br/>

Inicialmente foi feito o empilhamento das cinco bandas espectrais que compõe a imagem. Em seguida, esta imagem foi reprojeta para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zone 23S. As classes de interesses que comporiam a classificação foram definidas de acordo com os objetivos da pesquisa e os elementos que caracterizam a paisagem local. A partir daí foi criado um arquivo vetorial do tipo “polígono” em formato *shapefile*, onde foram coletadas amostras (*Training Areas*) de cada classe de interesse. As amostras foram então fornecidas para que o classificador identificasse as respostas espectrais características a cada classe. Em seguida, cada conjunto de amostras que representam a mesma classe recebeu código (valor numérico inteiro) na tabela de atributos – por exemplo, “1” para as amostras de mata, “2” para pastagem e “3” para eucalipto. Com o arquivo *shapefile* final, contendo todas as amostras coletadas para todas as classes, as assinaturas espectrais foram geradas com o uso da ferramenta *Spatial Analyst Tools -> Multivariate - Create Signatures*. Estas assinaturas foram a base para a classificação da área de estudo por meio da ferramenta *Spatial Analyst-> Multivariate -> Maximum Likelihood Classification*.

De início, apenas cinco classes foram definidas para a classificação da área de estudo: floresta, pastagem, cafezal, eucalipto e área urbana. As classes que compuseram a classificação final (n=9) são fruto da conciliação entre as cinco classes de interesse propostas inicialmente, as características da paisagem regional, as peculiaridades da imagem de satélite utilizada e as possibilidades de detecção da ferramenta de classificação empregada.

Dessa maneira, as sombras produzidas ao lado de afloramentos rochosos como resultado do ângulo de iluminação (ANEXO III<sup>41</sup>) constituíram a primeira classe que precisou ser incluída na classificação. A semelhança entre a resposta espectral das áreas sombreadas e os corpos hídricos tornou necessária a criação de uma classe específica para as águas. Além disso, o classificador teve dificuldade em reconhecer as semelhanças entre as áreas de pastagens nas várzeas e aquelas que estavam localizadas nos morros. As amostras de cada uma destas áreas – na chave de classificação adotada– registram que, embora o uso da terra fosse o mesmo, as respostas espectrais das várzeas possuíam características específicas. Enquanto a cor verde brilhante predominou nas várzeas – fato associado à atividade fotossintética mais intensa (WU *et al*, 2008; LU *et al*, 2015) – as pastagens nos morros exibiram tons rosa avermelhados, mais semelhantes às respostas encontradas em áreas de solo exposto. Deste modo, uma classe específica foi adicionada para essas áreas mais úmidas

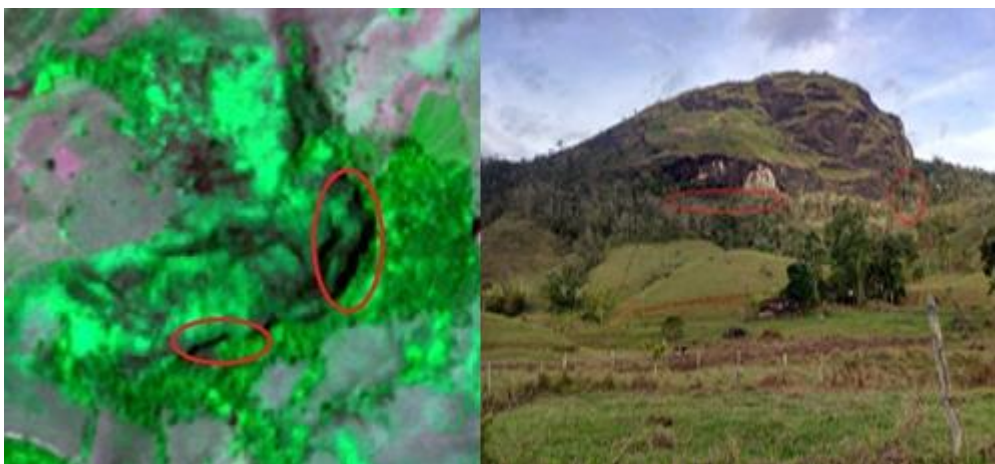
---

<sup>41</sup> Todas as classes comentadas aqui podem ser visualizadas no anexo III.

que acompanham o traçado dos córregos e dos rios, e que em determinados pontos da paisagem se alargam em grandes “várzeas” (CHISTOFOLETTI, 1974).

A ferramenta de classificação automática também não conseguiu diferenciar o padrão das áreas urbanas das áreas de solo exposto, como as estradas. Em função disso, uma classe específica foi criada para representar as áreas de solo exposto. Uma vez criada esta classe, surgiu a necessidade de diferenciá-la dos afloramentos rochosos, presentes principalmente nas áreas de maior elevação. Isso porque enquanto a classe “solo exposto” está invariavelmente associada às intervenções humanas – como terraplanagem, abertura de estradas e erosão -, os afloramentos rochosos são elementos naturais na paisagem de Belisário. Além disso, como a intensa atividade fotossintética das áreas em regeneração natural conferia a elas uma resposta espectral específica, uma última classe denominada “regeneração” foi criada.

Finalmente, foi iniciado o processo de eliminação de algumas dessas classes. O selecionador não conseguiu distinguir áreas de eucalipto, de regeneração natural e os cafezais. Por essa razão, as três classes foram agrupadas em uma mesma classe. As áreas de sombra, por sua vez, foram incluídas na categoria “floresta” (Figura 14); Devido à grande declividade associada a essas áreas, a proximidade com o PESB da maioria delas, com base em observações de campo e com o auxílio de imagens da plataforma “*Google Earth*”.

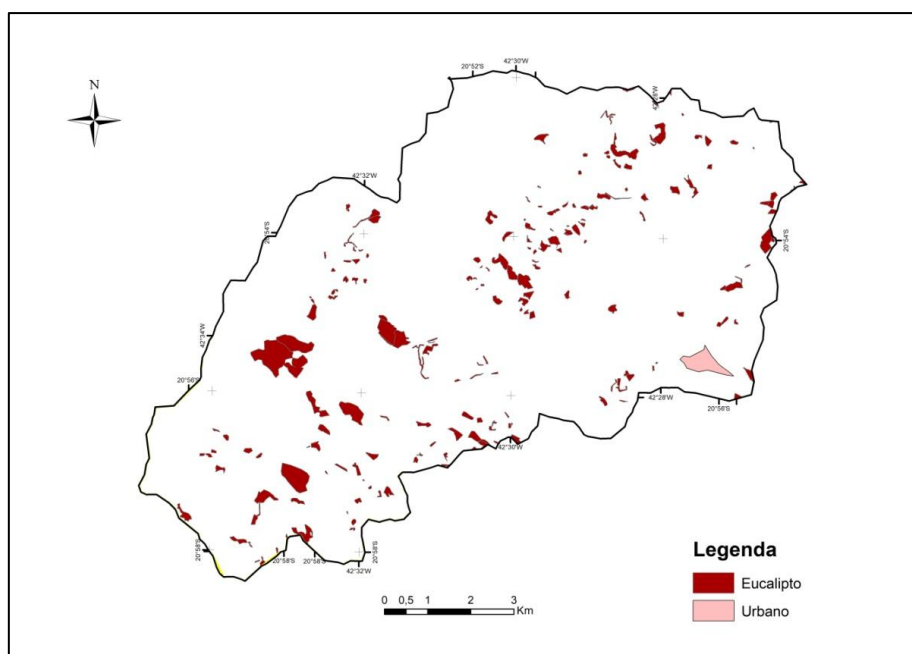


**Figura 14. Floresta abaixo de faces íngreme na Pedra da Fazenda da Onça.**

Para filtrar os “ruídos” da classificação do uso e cobertura da terra, foi utilizado o filtro de maioria – *Spatial Analyst Tools -> Generalization -Majority Filter*. Esta técnica de filtragem converte os pixels isolados – ou seja, aqueles localizados no interior de uma classe

maior - na mesma classe dos pixels em seu entorno (maioria). Dessa maneira, parte dos ruídos presentes na imagem classificada foi eliminada.

A identificação de cada plantio de eucalipto foi feita manualmente. Isso foi possível graças ao auxílio de imagens de satélite, em especial as imagens de 2014 obtida pela *RapidEye* e imagens de 2017 fornecidas pelo “*Google Earth*”. Dessa maneira, as maiores áreas de plantio de eucalipto foram identificadas visualmente, e os seus contornos foram desenhados individualmente. Para a seleção das áreas, criou-se um arquivo específico do tipo “polígono” no formato *shapefile*. O mesmo método foi empregado para o delineamento da área urbana. Em seguida, ambas as camadas – eucalipto e área urbana - foram fundidas em uma mesma camada, e foi estabelecida a condição de que, onde esta camada estivesse presente, ela prevaleceria sobre a classificação supervisionada. Dessa forma, a sobreposição entre as classes criadas foi evitada a partir da classificação por máxima semelhança e as outras duas criadas manualmente (Figura 15).



**Figura 15. Detecção e localização dos plantios de eucalipto e da área urbana na área de estudo<sup>42</sup>**

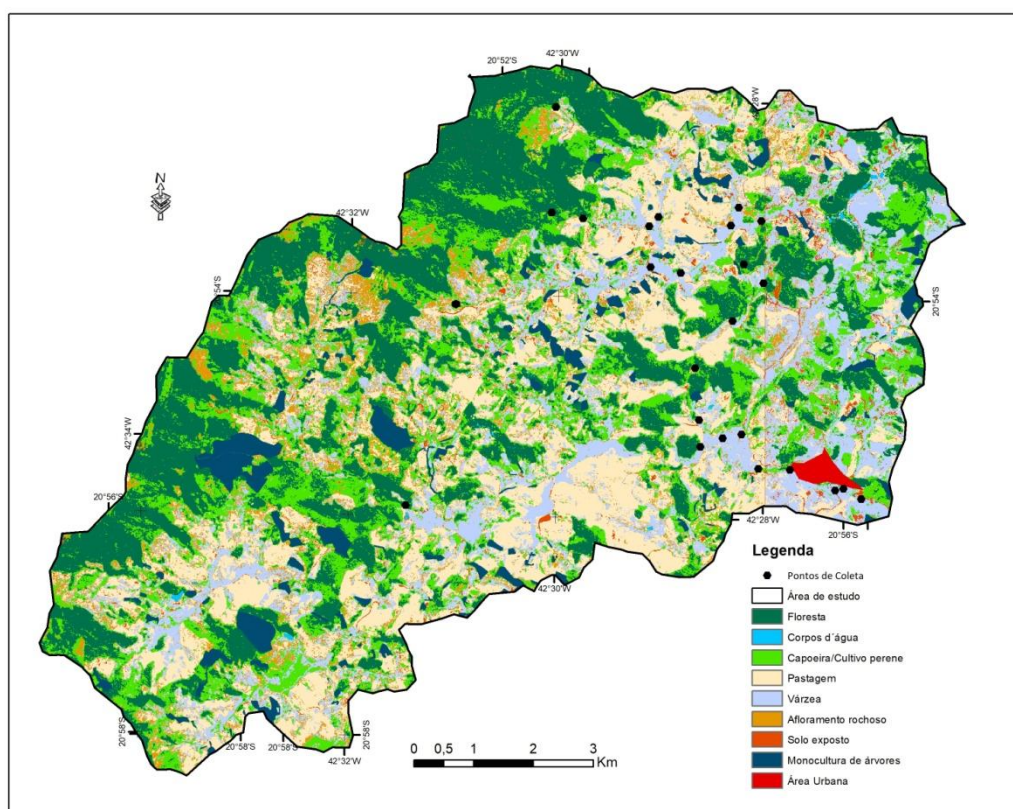
<sup>42</sup> Fonte: mapa produzido pelo autor (2017).



## CAPÍTULO 4.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

### Uso e cobertura da terra

A classificação do uso e cobertura da terra dividiu a vegetação nativa em duas classes: floresta e capoeira. A primeira é composta por formações florestais consolidadas, enquanto a segunda é representada por vegetação nativa menos densa – tal como os campos de altitude e escrubes (Plano de Manejo do PESB, 2006) –, além de cultivos perenes (café) e florestas em estágio inicial de regeneração. No entanto, tendo em vista o histórico de ocupação da região, é possível afirmar que todas as florestas nativas na área de estudo estão em processo de regeneração, visto que a maioria delas ainda está se recuperando de distúrbios antrópicos (IEF, 2007), tais como: o corte seletivo de madeira, a exploração de carvão e os incêndios (Figura 16).



**Figura 16. Uso e cobertura da terra.**

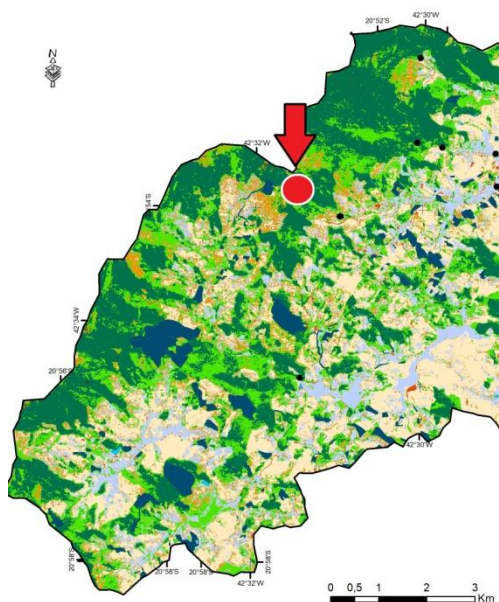
A floresta densa e contínua que cobria originalmente a da região foi substituída por fragmentos florestais imersos em uma matriz antrópica – a maioria pastagens (Tabela 2).



**Tabela 2. Uso e cobertura da terra: área (ha) e Frequência Relativa (%)**

Classe	Área (ha)	FR (%)
Florestas	2.630,8	25,3
Corpos d'água	18,8	0,2
Capoeira/cultivos perenes	2.191,5	21,1
Pastagem	2.314,3	22,3
Várzeas	1.876,0	18,0
Afloramento rochoso	703,4	6,8
Solo exposto	199,1	1,9
Monocultura de árvores	430,0	4,1
Área urbana	34,3	0,3
<b>Total</b>	<b>10.398,2</b>	<b>100</b>

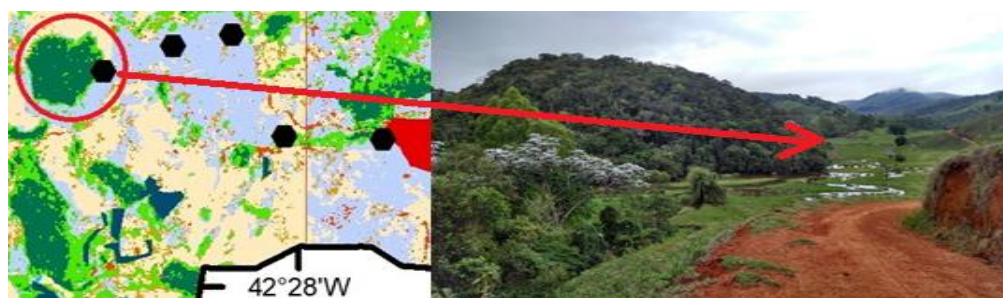
Observa-se na área de estudo que o relevo foi um fator limitante para a ocupação agrícola, principalmente nas encostas das montanhas. Portanto, ainda que oficialmente o PESB tenha início no Pico do Itajuru e se estenda na direção norte, tanto a serra quanto as florestas estão presentes ao sul deste marco natural (Figura 17).



**Figura 17. Recorte do mapa de classificação do uso e cobertura da terra e localização do Pico do Itajuru**

Observou-se que a faixa de floresta no topo da Serra do Brigadeiro com frequência possui largura inferior a um quilômetro, mesmo na parte que pertence ao PESB. O formato

alongado desta unidade de conservação, que a torna mais vulnerável aos efeitos de borda (SOARES-FILHO, 1998), faz com que a preservação de remanescentes florestais no entorno do PESB seja ainda mais importante. Neste sentido, é importante destacar que os fragmentos de mata estão presentes em quase toda a área de estudo, mesmo próximos à área urbana (Figura 18).



**Figura 18. Remanescente florestal próximo à área urbana de Belisário**

A exceção se dá justamente na grande várzea vizinha ao PESB, área rural povoada e onde a pressão antrópica (agrícola e urbana) é mais acentuada. Além disso, a classificação mostra que, exceto nas encostas montanhosas, os fragmentos florestais são praticamente inexistentes ao longo dos córregos e dos rios e várzeas (APPs).

A área efetivamente ocupada por pastagens na área de estudo é superior à contida na classe “Pastagem”. Como a reflectância das pastagens na zona ripária foi muito distinto do padrão obtido para as pastagens nas encostas foi necessário criar uma classe específica para as várzeas. Deste modo, as pastagens são o uso de terra dominante na cabeceira do Rio Fumaça, visto que além dos 2.314,3 ha apontados pela classificação, elas também ocupam quase que a totalidade das várzeas<sup>43</sup> (1.876,0 ha). A ocupação média das pastagens utilizadas para a pecuária bovina se encontra próxima de uma cabeça por hectare, e a suplementação alimentar inerente à pecuária leiteira é possível o maior adensamento de animais nas pastagens (IBGE, 2006). Portanto, é provável que o rebanho bocino na área de estudo seja superior à população humana.

As várzeas são áreas ricas em nutrientes e umidade, o que as conferem alta produtividade e as tornam muito cobiçadas pela agricultura (LOWRANCE, LEONARD e SHERIDAN, 1985; RATSEP *et al*, 1994). Além disso, o elevado teor de argila e matéria orgânica dos solos aluviais os confere alta capacidade de armazenamento hídrico, e por isso

<sup>43</sup> A área destas duas classes somadas (4.180,3 ha) representa 40,3% da área de estudo.

as várzeas influenciam o tempo de residência das águas em uma bacia hidrográfica (LOWRANCE, LEONARD e SHERIDAN, 1985; RATSEP *et al*, 1994; POSTEL e THOMPSON, 2005). Não obstante, o Rio Fumaça e todos os seus principais tributários tiveram parte de seu curso drenado para facilitar a ocupação agrícola. Hoje, as várzeas são ocupadas principalmente por pastagens e alguns cultivos temporários, tais como milho e arroz. A drenagem dessas áreas conduz à perda de suas propriedades físicas naturais – como a alta fertilidade natural (VOUGHT *et al*, 1995) –, assim como o rebaixamento do lençol freático e o aumento da velocidade de escoamento das águas (RATSEP *et al*, 1994).

Os cultivos perenes - inclusos na mesma classe que a capoeira – são constituídos principalmente por lavouras de café. Mesmo com a expansão da pecuária leiteira, a presença dos cafezais ainda é marcante na paisagem de Belisário. Embora estas áreas de cultivo geralmente possuam pequena dimensão, em muitos casos as lavouras de café cobrem quase toda a extensão das propriedades (Figura 19). Sendo assim, a inclusão dos cafezais e das áreas em regeneração natural em uma mesma categoria trouxeram limitações ao estudo presente. Não foi possível quantificar as áreas em regeneração do distrito, e revelar tendências sobre o percentual de área florestada no distrito – por exemplo, amplas áreas em regeneração sugeririam um possível aumento. Da mesma forma, não foi possível avaliar até que ponto as características físico-químicas das águas estão diretamente associadas às lavouras de café.

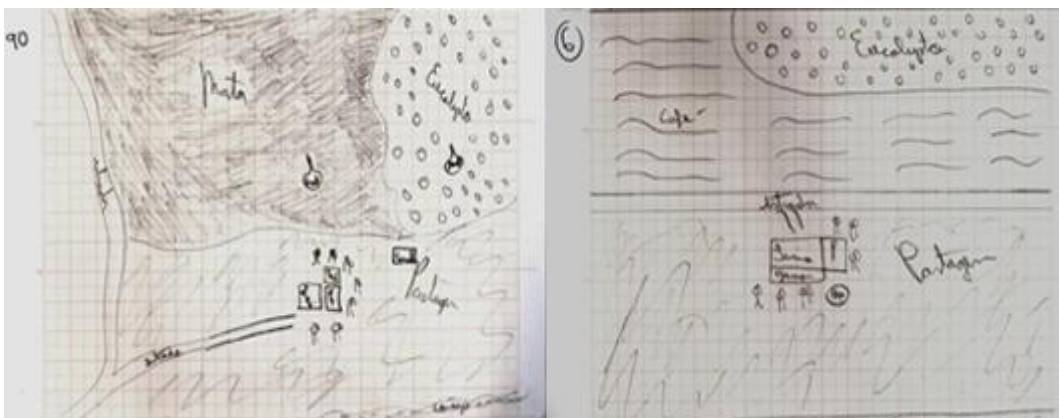


**Figura 19. Lavouras de café na paisagem do Distrito de Belisário**

A classe “Monocultura de árvores” representa os plantios de eucalipto. Como a detecção e delimitação destas áreas foi feita por inspeção visual, e os plantios geralmente

possuem pequena dimensão, a estimativa da área desta classe pode ter sido conservadora. A análise da área de estudo revela que as políticas públicas foram eficientes para a disseminação do eucalipto na paisagem rural. Apesar disso, apenas uma pequena porcentagem da área de estudo coberta por este cultivo (4,1%) por si só não representa um problema. Além disso, os pequenos plantios distribuídos na paisagem são considerados mais sustentáveis do que grandes áreas de monoculturas agrícolas (TURNBULL, 1999; CECCON e MIRAMONTES, 2008).

É preciso frisar que os agricultores nem sempre têm familiaridade com práticas de manejo mais adequadas, ou sabem quais critérios utilizar para a determinação dos tamanhos e locais mais apropriados para os plantios de eucalipto (CECCON e MIRAMONTES, 2008). Dessa maneira, muitos eucaliptais registrados nos desenhos das propriedades ocupavam áreas destinadas à reserva legal ou APPs (Figura 20).



**Figura 20. Croqui de plantios de eucalipto em APP e em área de reserva legal em propriedades na área de estudo<sup>44</sup>**

Portanto, ainda que a área total ocupada pelos monocultivos de árvores não seja preocupante, o manejo inadequado de alguns eucaliptais pode comprometer localmente a disponibilidade hídrica e contribuir para agravar os efeitos de estiagens prolongadas na escala das propriedades privadas (BROWN *et al*, 2005; JACKSON *et al*, 2005; WWDR4, 2012; LIU *et al* 2017). Isso porque os eucaliptos muitas vezes ocupam áreas estratégicas do ponto de vista da conservação na área de estudo.

<sup>44</sup> Fonte: desenhos realizados em campo pelo autor (2017).

A pequena dimensão dos corpos hídricos na área de estudo – incluindo o Rio Fumaça – não permitiu sua inclusão na classe “Corpos hídricos”. Em função desse fato, as áreas dentro desta classe são em sua maioria poços e barragens. A classe “Afloramento rochoso” é comum principalmente nas porções mais elevadas da Serra do Brigadeiro (Plano de Manejo do PESB, 2006), embora as rochas sejam elementos comuns na paisagem do distrito como um todo. A classe “solo exposto” é composta principalmente por estradas, terreiros e áreas de terraplanagem recente, embora também tenham sido identificados locais onde a erosão é intensa. A pequena área urbana do distrito – quase toda construída sobre várzeas - também foi delimitada manualmente por inspeção visual.

Na área de estudo, o cumprimento da Lei Nº 12.65/2012 pode gerar futuramente um aumento das florestas ao redor dos córregos e nascentes. Contudo, 83% das propriedades amostradas se enquadram em apenas um módulo fiscal<sup>45</sup>. Além disso, os menores terrenos amostrados estão 100% localizados em várzeas, e em propriedades com menos de dois módulos fiscais a vegetação ripária não deve exceder 10% da área total (SOARES-FILHO *et al*, 2014). Portanto, os corredores florestais que venham a ser gerados em função da aplicação da Lei Nº 12.65/2012 deverão ser estreitos e, portanto, pouco eficientes para a filtragem de poluentes, retenção de sedimentos e a manutenção do fluxo de animais silvestres (VOUGHT *et al*, 1995; BRANCALION *et al*, 2016).

## **4.1. Uso social da terra**

### **4.1.1. Aspectos socioeconômicos**

A amostra dos questionários aplicados compreende um total de 100 entrevistados, divididos em gênero por 66 homens e 34 mulheres. A maioria dos entrevistados (82%, N = 100) mora na propriedade rural visitada, enquanto os demais residem na área urbana do distrito ou propriedades rurais de terceiros, geralmente motivados pela maior proximidade à área urbana - (frequência de 9% para ambos os casos). Em relação à posse dos imóveis rurais, 98 entrevistados são proprietários e 2 arrendatários. A média de idade dos entrevistados foi de 51,6 anos, similar aos dados de 2010 para a região de estudo (INAES, 2010), que apontaram uma concentração de 60% dos agricultores na faixa etária entre 40 e 59 anos (Tabela 3)

---

<sup>45</sup> No município de Muriaé, o módulo fiscal rural possui 28 hectares.

**Tabela 3. Idade dos entrevistados**

<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>C.V. %</b>
51,64	51	51	20	87	29,53

A maioria dos entrevistados possui baixa escolaridade, visto que 65% da amostra não possui estudo ou cursou apenas parte do ensino fundamental (Tabela 4). O número de pessoas com ensino médio e ensino superior completo - 14% e 4% respectivamente - está abaixo dos valores encontrados em 2010 para a região - 21% e 22% respectivamente -, embora em ambos os estudos a maior frequência encontrada incida sobre a categoria de agricultores que possuem apenas ensino fundamental incompleto (INAES, 2010).

**Tabela 4. Nível de Escolaridade**

<b>Escolaridade</b>	<b>FR% (N=100)</b>	<b>FA%</b>
Nenhum estudo	8	8
Fundamental incompleto	57	65
Fundamental completo	12	77
Médio incompleto	5	82
Médio completo	14	96
Superior completo	2	98
Pós-Graduado	2	100
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A maioria dos agricultores é casada (84%), e as demais categorias foram pouco expressivas.

Em relação ao número de moradores por propriedade, 26% das propriedades possui 3 habitantes, e os resultados indicam uma polarização entre as propriedades que possuem apenas 1 ou 2 moradores (39%) e as propriedade que possuem pelo menos 4 moradores (37%) (Tabela 5). O primeiro grupo é composto principalmente por viúvos e casais com mais de 60 anos (aposentados) cujos filhos se mudaram para outras propriedades ou deixaram a zona rural. Já o segundo grupo representa propriedades cujo trabalho e orçamento doméstico organiza-se a partir da unidade familiar (SCHONLEITNER, 1998; GRIFFIN, KHAN e ICKOWITZ, 2002).

**Tabela 5. Número de moradores por propriedade**

Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C.V. %
3,29	3	1,71	1	12	52

O tamanho médio das propriedades (20,8 ha) não representa a amostra satisfatoriamente, tendo em vista que metade das propriedades possui até 10 ha, o que fica explícito no valor alto do coeficiente de variação (Tabela 6). Além disso, quando somadas, as áreas das 10 maiores propriedades atingem o valor de 1044 hectares, o que equivale a cerca de 50% da área total amostrada.

**Tabela 6. Tamanho das propriedades (ha)**

Média (ha)	Mediana (ha)	Desvio Padrão (ha)	Mínimo (ha)	Máximo (ha)	C.V. %
20,85	10	42,36	0,1	300	203

Na Comunidade da Santa Lúcia, localizada na planície aluvial por onde passa o Rio Fumaça, a fragmentação da propriedade/posse da terra é mais acentuada, com maior adensamento de casas principalmente nas várzeas, sendo que somente ali foram encontradas propriedades com menos de 3.0 ha.

Do ponto de vista do uso da terra, as árvores frutíferas não estão associadas diretamente à renda familiar, embora se trate do cultivo mais presente nas propriedades. As árvores são plantadas geralmente em pomares próximos às residências, ou consorciadas nos cafezais. Os cultivos de banana também constituem mais uma fonte de alimento do que renda para as famílias<sup>46</sup>, e ocupam espaços na propriedade semelhantes ao padrão observado para as árvores frutíferas (Tabela 7).

<sup>46</sup> Embora em uma pequena comunidade (a comunidade do Fundão) as famílias tenham apontado a banana como importante fonte de renda, em Belisário a associação entre a presença de banana nas propriedades e renda é pontual.



**Tabela 7. Culturas presentes nas propriedades (N = 100)**

<b>Culturas</b>	<b>FR %</b>
Frutíferas	<b>93</b>
Pastagem	<b>92</b>
Banana	<b>86</b>
Horta	<b>74</b>
Feijão	<b>68</b>
Eucalipto	<b>66</b>
Café	<b>65</b>
Milho	<b>62</b>
Outros	<b>17</b>

Da mesma maneira, apenas duas hortas visitadas possuíam fins comerciais. Os plantios de eucalipto são geralmente pequenos e voltados para as necessidades internas das famílias, e com frequência são plantados ao longo das estradas e divisas. O feijão - também para consumo próprio - frequentemente é plantado entre as linhas dos cafezais. O milho com frequência é plantado nas várzeas, e cada vez está mais associado à produção de silagem para o gado. A categoria “Outros” é composta por cultivos diversos, em sua maioria com fins comerciais, tais como tomate, morango e palmito (pupunha). Apenas 4 proprietários afirmaram que plantam arroz na várzea.

Os plantios de café e as áreas destinadas às pastagens persistem como as atividades econômicas que geram a maior parte da renda nas propriedades. Em 2010, a pecuária foi apontada como atividade secundária, sendo que a pecuária leiteira predominava na região (INAES, 2010). Contudo, a presença mais frequente de pastagem nas propriedades comparada ao café pode sinalizar um avanço da pecuária leiteira na região (ACHINELLI, 2004); e um aumento de sua importância para a economia local.

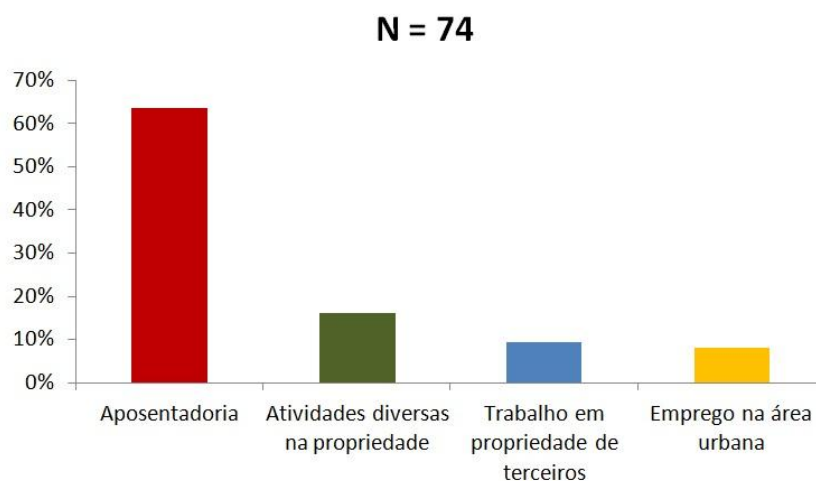
A maioria dos entrevistados (61%) possui renda familiar mensal de até R\$ 2.000,00. Dado o número médio de residentes por propriedade (3,29), é possível concluir que a maioria dos indivíduos de nossa amostra vive com menos de 1 salário mínimo por mês. No outro extremo, foi verificado que as maiores rendas mensais encontradas – a partir de R\$ 5.001,00 – não estão associadas a atividades rurais, embora o teste de *Spearman* entre renda e tamanho da propriedade – 95% de probabilidade – tenha demonstrado correlação positiva significativa. Essas rendas elevadas pertencem aos quatro indivíduos de maior escolaridade – três deles já aposentados -, que compraram ou herdaram grandes terrenos no distrito (Tabela 8).



**Tabela 8. Renda familiar mensal dividida em classes**

<b>Renda familiar mensal (R\$)</b>	<b>FR % (N = 100)</b>	<b>FA</b>
Não possui renda	1	1
Até 1.000,00	18	19
Entre 1.001,00 e 2.000,00	42	61
Entre 2.001,00 e 3.000,00	22	83
Entre 3.001,00 e 4.000,00	9	92
Entre 4.001,00 e 5.000,00	4	96
A partir de 5.001,00	4	100
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

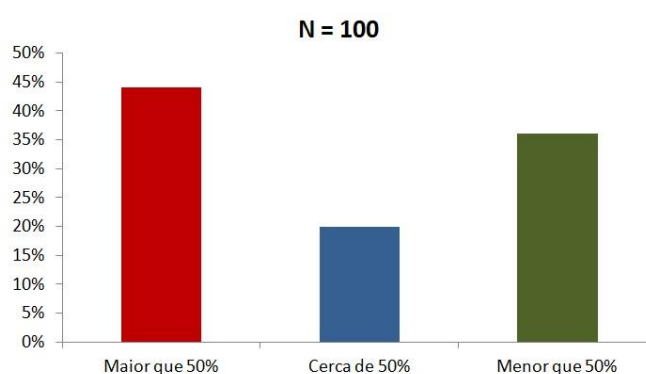
A maioria das famílias (74%) afirmou possuir alguma fonte de renda além daquela obtida a partir da produção agrícola obtida nas próprias propriedades. A redução da importância das atividades agrícolas para geração de renda no meio rural é um fenômeno observado mundialmente (SCHNEIDER, 2003). Nesta nova forma de organização do trabalho - a pluriatividade - os integrantes de uma família rural passam a se dedicar a atividades econômicas e produtivas desvinculadas do cultivo da terra e das práticas agrícolas (SCHNEIDER, 2003). Por essa razão, foi solicitado aos entrevistados que detalhassem suas outras formas de renda, para que fosse verificado a quais outros tipos de atividades os agricultores se dedicam para obter renda adicional (Figura 21).



**Figura 21. Detalhamento das fontes de renda além da produção agrícola (%)**

Um resultado importante foi que 74% das fontes de renda declaradas não se enquadram na definição de pluriatividade, visto que a aposentadoria (63,5%) não é considerada uma atividade, e as jornadas rurais (9,5%) em propriedades de terceiros pertencem à categoria do trabalho rural. Dessa maneira, apenas 18 das famílias entrevistadas podem ser consideradas de fato pluriativas. Dentre estas famílias, 12 exercem atividades não agrícolas dentro da propriedade rural e apenas seis possuem indivíduos que trabalham em área urbana. O contexto social existente no Distrito de Belisário pode explicar a baixa porcentagem de famílias pluriativas. Em geral, os jovens são mais pluriativos (SCHNEIDER, 2001), e a amostra de agricultores que foi utilizada neste estudo possui um grande número de pessoas aposentadas. Além disso, não existem indústrias e o setor de serviços local é bastante precário e com um perfil familiar. A infraestrutura viária precária também dificulta o deslocamento diário dos moradores de Belisário até a área urbana de Muriaé. Nos serviços públicos, como na escola ou na policlínica local, os cargos são concursados. Como resultado, a maioria das famílias pluriativas identificadas na amostra exercem atividades não agrícolas em suas próprias propriedades (e.g.; produção de queijos e doces; prestação de serviços diversos).

Entre os entrevistados cuja propriedade contribui com menos de 50% da renda familiar (N = 36), 64% apontaram a aposentadoria como principal fonte de renda e possuem no máximo 3 residentes na propriedade (Figura 22).



**Figura 22. Participação da propriedade na renda familiar (%)**

Portanto, observou-se que no Distrito de Belisário a propriedade é a principal fonte de renda para a população economicamente ativa, e a redução do peso relativo da agricultura na renda familiar, principalmente para a população de idade avançada que recebe aposentadoria.

Não obstante, a propriedade rural também é uma importante fonte de renda para uma parcela significativa dos aposentados, visto que 51% (n= 47) afirmaram que a propriedade contribui com pelo menos metade da renda familiar.

#### 4.1.2. As Unidades de Conservação em Belisário

Em relação aos impactos trazidos pela criação do PESB, 83% (n= 100) dos entrevistados acreditam que a criação da unidade foi positiva para a região, enquanto 10% responderam que a criação do parque não foi positiva, e 7% não souberam responder (Tabela 9).

**Tabela 9. A criação do PESB foi positiva para a região (n = 83)**

<b>Justificativa</b>	<b>FR %</b>
Reduziu desmatamento	27,7
Contribuiu para a conservação da natureza	21,7
Preservou nascentes e árvores	13,3
Reduziu a caça	8,4
Despertou a consciência pela preservação	8,4
Aumentou matas	7,2
Redução da frequência dos incêndios	7,2
Formou uma reserva importante	6,0
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

O fator positivo mais atribuído à criação do PESB foi redução do desmatamento (27,7%), e as demais respostas estão relacionadas à preservação das florestas e os benefícios que isto acarreta. Além disso, principalmente entre os entrevistados mais idosos, existe a memória de grandes incêndios – acidentais ou criminosos –, que aconteciam na Serra do Brigadeiro nos períodos de estiagem. Alguns entrevistados (n=6), além de apontar para a redução dos incêndios, também incluíram a inibição da caça na região como uma das repercussões positivas da criação do PESB.

Já para aqueles que apontaram que a criação do PESB não foi positiva para a região de Belisário (n=10), os problemas apontados estão associados à frustração de expectativas em relação aos benefícios que a comunidade esperava que acompanhariam a criação da unidade de conservação (Tabela 10).

**Tabela 10. A criação do PESB não foi positiva para a região (n = 10)**

<b>Justificativa</b>	<b>FR %</b>
Não foi estruturado, apenas criado e esquecido	30
Não sabia que o parque existia	20
Não houve melhora	20
Não houve mudança	10
Não ajudou em nada	10
Não alcançou os objetivos	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

. Esta frustração parece decorrer do fato que a criação do PESB trouxe esperanças de dinamização da economia e valorização da cultura local principalmente através do turismo (CTA, 2005; IEF, 2007). No entanto, até hoje a estrutura no setor sul desta unidade de conservação é mínima consistindo apenas de sinalizações antigas ou posicionadas de forma precária (Figura 23), e Belisário possui somente duas pousadas em atividade.



**Figura 23. Entrada do PESB no distrito de Belisário**

A maioria dos entrevistados (n=72) acredita que a criação do PESB contribuiu positivamente para os recursos hídricos de sua propriedade rural, apontando para uma série de benefícios associados à criação da unidade (Tabela 11).

**Tabela 11. A criação do PESB contribuiu para os recursos hídricos (n = 72).**

<b>Justificativa</b>	<b>FR %</b>
As árvores seguram a umidade	26,4
Preservação das cabeceiras	20,8
As florestas são importantes para a chuva	16,7
As chuvas vêm da Serra	8,3
A floresta refresca (sombreia) as nascentes	5,6
Se desmatasse a serra, haveria menos água	5,6
Sem a mata na serra, a seca teria sido pior	5,6
Quanto mais floresta, mais água	5,6
A água da propriedade vem do PESB	5,6
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

É importante notar que os participantes da amostra apontaram para a capacidade das florestas de reter a umidade (26,4%), e para a importância de haver matas nas cabeceiras (20,8%). Além disso, 16,8% dos respondentes também apontaram para a conexão existente entre as florestas e o ciclo das chuvas. O fato é que na região do estudo é muito difundida a ideia de que as chuvas vêm da serra, o que adiciona um reconhecimento do impacto do relevo na ocorrência das chuvas. Há inclusive um ditado local “Chapéu na serra, chuva na terra”, que prevê eventos de chuva quando os topos das montanhas estão encobertos por nuvens (Figura 24).



**Figura 24. “Chapéu na serra, chuva na terra”, ditado local.**

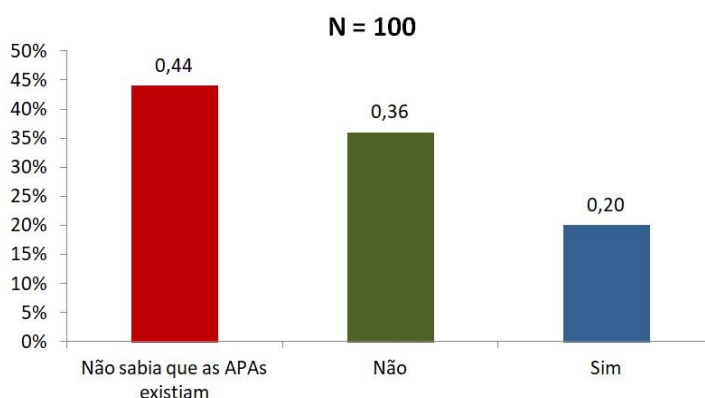
Por outro lado, houve uma parcela dos respondentes (n=13) que não associou nenhuma melhora na condição dos recursos hídricos em função da criação do PESB (Tabela 12).

**Tabela 12. A criação do PESB não contribuiu para os recursos hídricos (n = 13).**

<b>Justificativa</b>	<b>FR %</b>
A propriedade está muito longe do PESB	69,2
Sem chuva, não adianta	7,7
A nascente da propriedade secou e não voltou	7,7
A seca foi pior onde tem mata	7,7
As nascentes da propriedade estão fora do PESB	7,7
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

A distância do PESB da propriedade do entrevistado foi o principal elemento apontado para explicar a ausência de impacto da unidade de conservação sobre os recursos hídricos ali existentes. Para os demais entrevistados (22,2%), a estiagem prolongada que a região atravessou recentemente (DOBROVOLSKI e RATTIS, 2015) evidenciou a incapacidade das florestas de proteger os recursos hídricos.

Um componente importante nos esforços de conservação são as chamadas Áreas de Proteção Ambiental (APAs). No presente estudo, os resultados mostram que 44% dos entrevistados sequer sabiam da existência das mesmas (Figura 25).



**Figura 25. As APAs trouxeram benefícios às comunidades vizinhas ao PESB.**

Além disso, entre os que sabiam da existência das APAs, foi verificado que o número de respostas negativas é quase o dobro (36%) da quantidade das respostas positivas (20%). Assim como no caso do PESB, o descontentamento com as APAs está associado à falta de iniciativas por parte dos gestores e a frustração de expectativas por parte da comunidade em relação a potenciais ganhos que as mesmas poderiam trazer. Um elemento que parece

explicar a frustração detectada se refere ao fato de que a existência das APAs confere ao município de Muriaé recursos referentes ao ICMS ecológico, uma espécie de compensação financeira que os municípios recebem pelas restrições de uso inerentes à existência de áreas protegidas (RING, 2008). Idealmente, este recurso seria reinvestido nas APAs, com o intuito de melhorar a eficiência das unidades e tornar o município apto a receber ainda mais verbas (GRIEG-GRAN, 2000; RING, 2008). No entanto, a maioria dos entrevistados não constatou benefícios associados aos investimentos que eventualmente tenham sido realizados na região.

#### **4.1.3. Disponibilidade e gestão dos recursos hídricos**

Os principais fatores que controlam a infiltração de água no solo em determinada área são clima, relevo, geologia, vegetação e uso da terra (VOUGHT *et al*, 1995)<sup>47</sup>. A parcela da precipitação que percola através da zona de aeração do solo eventualmente atinge uma zona saturada em umidade, onde a água preenche os poros do material pedológico – o lençol freático –, formando um corpo aquoso assentado sobre uma camada rochosa (USGS, 1995).

As nascentes são afloramentos do lençol freático, comuns em terrenos íngremes, pois a inclinação do terreno faz com que a zona do solo saturada em umidade intercepte a superfície do terreno (VALENTE e GOMES, 2003). Em regiões de relevo acidentado, as nascentes de encosta se formam geralmente em sopés de morros (USGS, 1995). Além destas, as nascentes de depressão se formam em rebaixamentos do terreno, e são especialmente comuns em planícies aluviais (BRIAN, 1919; VALENTE e GOMES, 2003).

A maioria dos entrevistados (80%) indicou que recorre às nascentes, seguidas pelos poços semiartesianos<sup>48</sup> (17%) para garantir o abastecimento de água das propriedades. Com base nos dados do levantamento feito em campo, observou-se que as nascentes estão presentes de forma marcante na região de Belisário, sendo que apenas 15 propriedades estudadas não possuíam nascentes (Tabela 13).

---

<sup>47</sup> Estes fatores são abordados com maior profundidade no primeiro capítulo.

<sup>48</sup> Poços que retiram água do lençol freático, e não de aquíferos profundos.

**Tabela 13. Número de nascentes por propriedade**

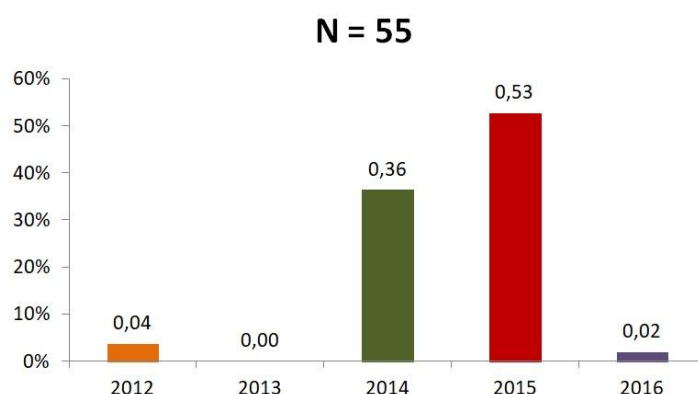
<b>Média</b>	<b>Mediana (ha)</b>	<b>Desvio Padrão (ha)</b>	<b>Mínimo (ha)</b>	<b>Máximo (ha)</b>	<b>C.V. %</b>
2,2	2,0	2,1	0	10	94,1

Na área abrangida por este estudo foram declaradas 224 nascentes em uma área de 2084,9 ha. Dessa maneira, encontrou-se em média uma nascente para cada 9,7 hectares. No entanto, a média real de nascentes por área pode ser ainda maior. Isso porque os proprietários das maiores propriedades - acima de 100 ha - declararam um número muito baixo de nascentes. Por exemplo, para uma propriedade de 280 hectares, foram declaradas apenas 4 nascentes. Tendo em vista que as características destes terrenos (e.g.: clima, solo, vegetação e relevo) não são tão diferente dos demais, tudo indica que seus proprietários declararam apenas as nascentes maiores, ou então que os donos de propriedades menores conhecem melhor suas propriedades (SCHONLEITNER, 1998). Quando as três propriedades maiores - com mais de 100 ha - são retiradas dos cálculos, a média é de uma nascente a cada 6,7 ha. Como resultado, é provável que a área de estudo (10.398,3 ha) abrigue entre 1117 a 1550 nascentes<sup>49</sup>. Tendo em vista as características do meio físico em Belisário – solos bem drenados e com grande capacidade de armazenamento hídrico, fator orográfico, relevo íngreme e presença de remanescentes florestais -, a área de estudo tem número elevado de nascentes.

Segundo o relatado por 55% dos entrevistados, ao menos uma nascente perene da propriedade secou nos últimos 5 anos. Ainda que a degradação de nascentes associada ao uso e manejo inadequado do solo por atividades agropecuárias não constituam um fato novo na área de estudo (MARENGO e ALVES, 2005; INAES, 2010), o problema pode ter sido agravado pela ocorrência de uma estiagem prolongada, cujo ápice foi em 2015 (Figura 26).

<sup>49</sup> No caso de adotar-se a média de uma nascente a cada 9,7 ou uma nascente a cada 6,7 hectares.





**Figura 26. Ano em que as nascentes secaram.**

A ocorrência de estiagens é inerente à sazonalidade característica ao clima local, e anos mais secos são previstos, por exemplo, quando ocorre o fenômeno “*El niño*” (MARENGO e SOARES, 2004). No entanto, a estiagem registrada entre 2012 e 2016 foge dos padrões observados anteriormente para a Bacia do Rio Paraíba do Sul (MARENGO e ALVES, 2005; OVALLE *et al*, 2013; DOBROVOLSKI e RATTIS, 2015). Em relação às nascentes declaradas pelos agricultores entrevistados (n=224), 39,4% delas teriam secado nos últimos cinco anos.

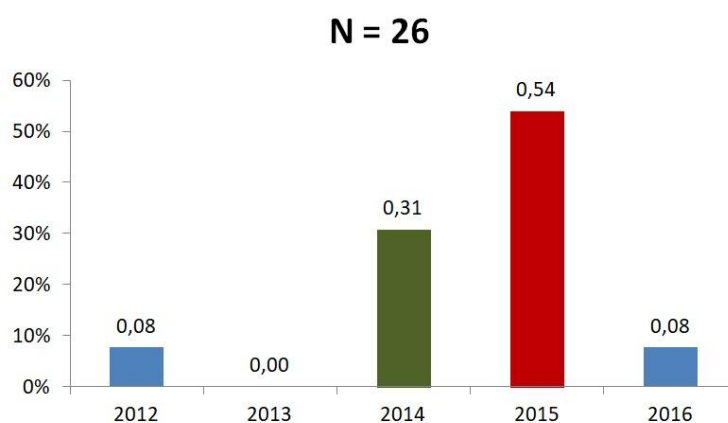
A diminuição no aporte de água via nascentes acabou obrigando os agricultores a realizarem investimentos em fontes alternativas de captação de água em 58% das propriedades amostradas (Tabela 14).

**Tabela 14. Investimentos realizados em captação de água<sup>50</sup>**

Investimentos realizados	Nº de entrevistados
Abertura de poço	26
Manilhas/caixas de captação	21
Bomba hidráulica	16
Canos e mangueiras	12
Construção de barragem	9
Caixa d’água	2
Outros investimentos	2

<sup>50</sup> Os entrevistados podiam apontar mais de um investimento, portanto não cabe aqui determinar frequências relativas (%).

O investimento mais frequente durante a estiagem foi a abertura de poços (44,8%, N = 58). Antes da estiagem, os agricultores afirmaram que havia apenas 7 poços nas propriedades visitadas, mas no momento da pesquisa foram declarados 33 (um aumento de 371%). Os poços são uma porta de entrada para contaminantes, e por isso a proliferação de poços em Belisário aumenta o risco de contaminação do lençol freático, principalmente por fertilizantes, micro-organismos patogênicos e agrotóxicos (GOSS, BARRY e RUDOLPH, 1998). Além disso, o uso intensivo da água subterrânea pode comprometer ainda mais as nascentes existentes na área de estudo (VALENTE e GOMES, 2005). Um dado relevante é que a perfuração de poços ocorreu de forma praticamente simultânea ao ressecamento das nascentes, sendo que a maioria (54%) foi aberta apenas em 2015 (Figura 27).



**Figura 27. Ano em que os poços foram perfurados.**

Os resultados indicam ainda que poucos proprietários (9%) consideraram melhorias no sentido de aprimorar a gestão dos recursos hídricos no terreno, tal como a captação de água<sup>51</sup>. A maioria dos investimentos (63%) foi feita visando apenas facilitar o acesso ao lençol freático, tais como o aprofundamento de manilhas em nascentes e a abertura de poços. Além disso, apenas um dos entrevistados apontou investimentos em cercas e plantios de árvores nativas como seu investimento em captação de água.

Das 100 propriedades amostradas, apenas 25% possui curvas de nível, e em 23% existe algum reservatório ou barragem. As curvas de nível são uma ferramenta que contribui tanto para a conservação dos solos quanto dos recursos hídricos, pois aumentam a infiltração de água – abastecendo o lençol freático - e reduzem o escoamento superficial; o que contribui para a mitigação dos processos erosivos e reduz a lixiviação de nutrientes do solo

<sup>51</sup> Este número se refere aos proprietários que construíram reservatórios e represas.

(MARTÍNEZ-CASANOVAS e SÁNCHEZ-BOSCH, 2000; DELGADO *et al.*, 2011). Enquanto a estiagem parece ter incentivado a construção de reservatórios (9 das 23 barragens foram construídas nos últimos cinco anos), a construção de curvas de nível não apresentou crescimento significativo, visto que apenas 5 agricultores declararam ter investido em curvas de nível desde 2012.

Da mesma forma, a estiagem levou poucos proprietários a realizarem mudanças no tamanho da área dedicada a cultivos agrícolas. Dos 17 agricultores que declararam ter aumentado a área destinada a algum tipo de uso agrícola, 70% apontaram cultivos destinados à produção de alimentos para o gado (ex.: milho, cana e pasto). Dessa maneira, a estiagem trouxe novos desafios para a pecuária leiteira, e que podem estimular os cultivos de ciclo curto (e.g., milho). Este fato poderá degradar ainda mais os corpos hídricos, na medida em que aumentará o uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Por outro lado, 19 entrevistados declararam ter diminuído as áreas ocupadas por pastagens (58%) e monocultivos de eucalipto (42%). Enquanto as pastagens foram substituídas por cultivos temporários para a alimentação bovina, a preocupação com a disponibilidade de água na propriedade motivou a redução dos plantios de eucalipto.

No tocante ao uso da água, apenas 38 entrevistados afirmaram utilizar água para a irrigação de cultivos em suas propriedades, sendo que 31 destes a empregam para o cultivo de hortaliças. Esse percentual parece subestimado, pois o cultivo de hortaliças está presente em 74% das propriedades, e o fornecimento de água é indispensável à esta atividade. Não obstante, a irrigação não parece ter sido responsável pelo quadro recente de escassez hídrica. As visitas às propriedades revelaram que apenas duas hortas possuíam fins comerciais, cujo porte demanda maior volume de recursos hídricos. As principais atividades agropecuárias exercidas nas propriedades – o café e a pecuária leiteira, até o momento - dispensam o uso da irrigação.

#### **4.1.4. Remanescentes florestais nas propriedades privadas**

Um aspecto importante no entendimento das relações sócio-ecológicas que existem no Distrito de Belisário tem a ver com a presença de fragmentos florestais no interior das propriedades rurais ali existentes. O fato é que 76% das propriedades possuem fragmentos florestais, e a área florestada total declarada pelos agricultores foi de 452,8 ha, o que representa 21,7% da área total abrangida pelas entrevistas. Assim sendo, a porcentagem de florestas nas propriedades privadas é apenas um pouco inferior à porcentagem de cobertura

florestal encontrado pela classificação construída através de imagens de satélite para toda a área de estudo (25,3%), ainda que metade das propriedades amostradas possuam 10% ou menos de vegetação nativa.

Acontece que, embora 50% dos remanescentes florestais possuem área até 1.0 ha (Tabela 15), duas RPPNs – “Fazenda Iracambi” e “Lar dos Muriquis”<sup>52</sup> - concentram 43% das áreas de floresta declaradas.

**Tabela 15. Tamanho dos fragmentos de mata nas propriedades (ha).**

Média	Mediana	Desvio Padrão	C.V. %
4,6	1,0	14,6	318,5

As RPPNs impactam significativamente a paisagem, pois concentram parte significativa dos fragmentos florestais em terras privadas, e atuam de forma complementar às unidades de conservação existentes na região de Belisário.

Em relação à observância da Lei de Proteção à Vegetação Nativa/2012, a configuração da maioria das propriedades rurais não está em conformidade com a legislação, visto que apenas 36% das mesmas possuem a porcentagem de cobertura florestal exigida – no mínimo 20% (Tabela 16).

**Tabela 16. Porcentagem de vegetação nativa presente nas propriedades rurais de Belisário (ha).**

Média	Mediana	Desvio Padrão	C.V. %
16,8	10,0	21,0	125,0

A cobertura florestal incipiente na maioria das propriedades se torna ainda mais grave quando consideramos o grande número de córregos na área de estudo, a maioria desprovida de vegetação ciliar. Por outro lado, 35% dos agricultores entrevistados afirmaram já ter participado de iniciativas de reflorestamento e recuperação de nascentes, sendo que 7 proprietários afirmaram ter participado de iniciativas que nunca saíram do papel.

Quando perguntados a respeito da disposição em reflorestar parte do terreno 35<sup>53</sup> entrevistados responderam positivamente. A justificativa mais comum (28 entrevistados) entre aqueles dispostos a reflorestar é a necessidade de proteger as águas, enquanto 5 proprietários apontaram a necessidade de adequação da propriedade à legislação vigente e

<sup>52</sup> A RPPN Lar dos Muriquis encontra-se em vias de oficialização.

<sup>53</sup> Apesar da coincidência de valores, estes 35 entrevistados não são os mesmos do parágrafo anterior.

duas pessoas expressaram motivações conservacionistas. Entretanto, o tamanho da área que os agricultores estariam dispostos a reflorestar é inferior a 1,0 ha (Tabela 17)

**Tabela 17. Tamanho da área que seria alocada para reflorestamento (ha).**

Média	Mediana	Desvio Padrão	C. V. %
0,83	0,5	0,75	90%

Em relação ao papel da vegetação no estoque e qualidade de água em suas propriedades, 85 entrevistados reconheceram que a vegetação ripária contribui para a qualidade de água, enquanto 75 deles acreditam que as matas ciliares também estão associadas à quantidade de água. Além disso, 89 entrevistados apontaram que a mata nos topos de morros contribui para a quantidade de água disponível. Mesmo assim, apenas 1 agricultor demonstrou intenção de recuperar a mata ciliar ao longo de um córrego; enquanto que 48,6% dos agricultores declararam ter intenções de plantio concentradas ao redor das nascentes, iniciativas que poderiam comprometer ainda mais a vazão das nascentes no curto prazo (BROWN *et al*, 2005; SALEMI *et al*, 2012).

Entre os 65 proprietários que não possuem interesse em reflorestamento, 30 afirmaram que já possuem bastante mata<sup>54</sup>, enquanto 16 declararam que estão satisfeitos com as propriedades assim como estão e 14 responderam que seus terrenos são muito pequenos<sup>55</sup>. Realizada a correlação de *Spearman* a 95% de probabilidade, foi constatada uma correlação positiva entre as áreas das propriedades e a porcentagem de cobertura florestal<sup>56</sup>. Portanto, enquanto parte dos proprietários não vê benefícios em expandir a cobertura florestal em seus terrenos, o fator “tamanho da propriedade” influencia a decisão dos proprietários de manter fragmentos florestais.

Os agricultores também foram questionados se o fluxo de animais silvestres havia aumentado em suas propriedades após a criação do PESB. Nesse caso, 60% dos agricultores responderam positivamente. Em função disso, foi realizado um inventário da fauna encontrada pelos agricultores, de modo a verificar quais animais teriam se tornado mais presentes nas propriedades (Tabela 18).

<sup>54</sup> 70% destas propriedades (21 entrevistas) possuíam cobertura florestal de acordo com a legislação atual.

<sup>55</sup> 5 entrevistados não quiseram justificar sua resposta, ou disseram apenas “Porque não”.

<sup>56</sup> Esta correlação se manteve mesmo quando as duas RPPNs foram retiradas dos cálculos.

**Tabela 18. Animais avistados nas propriedades amostradas.**

Família	Espécies	Nº de avistamentos
Anatidae	1	1
Atelidae	2	2
Bradypodidae	1	2
Callitrichidae	1	1
Canidae	2	52
Cariamidae	1	1
Caviidae	2	8
Cebidae	1	2
Cervidae	1	1
Cotingidae	1	1
Cracidae	2	9
Cuniculidae	1	6
Didelphidae	2	18
Erinaceidae	1	8
Felidae	4	20
Leporidae	1	1
Myrmecophagidae	1	2
Mustelidae	3	7
Pitheciidae	1	8
Procyonidae	2	8
Psittasidae	1	1
Rallidae	1	1
Ramphastidae	1	7
Tayassuidae	1	2
Teiidae	1	1
Thraupidae	1	1
Tinamidae	1	1
Viperidae	1	1
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>173</b>

Além destes animais, houve 14 avistamentos de tatus (Família Dasypodida) e 10 avistamentos de pássaros (classe Aves) não identificados pelos entrevistados<sup>57</sup>. A espécie mais frequentemente encontrada - o lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) - foi declarada por 42 agricultores, fato que elevou o número de avistamentos para a família Canidae. Além disso, com base nas entrevistas, a região abriga uma diversidade expressiva de felinos (4 espécies), a saber: o gato maracajá (*Leopardus wiedii*), o gato mourisco (*Puma yagouaroundi*), a jaguatirica (*Leopardus pardalis*) e a onça parda (*Puma concolor*).

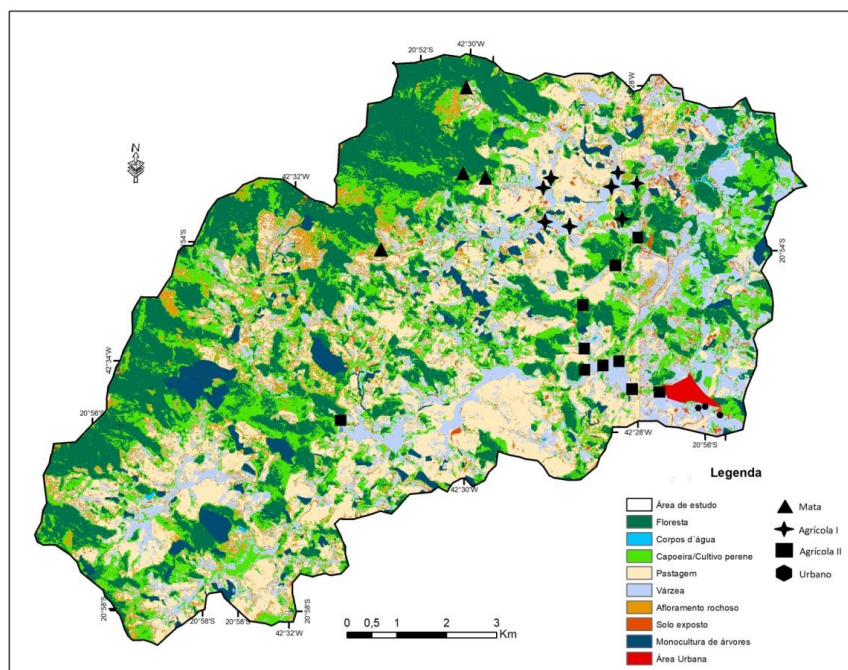
<sup>57</sup> Estas informações foram insuficientes para a inclusão dos avistamentos na tabela. 15.

É importante destacar que a porcentagem da área de estudo coberta por vegetação nativa é superior aos 25,3% de florestas encontradas pela classificação baseada em imagens de satélite, pois esta não considera as áreas cobertas por vegetação nativa esparsa ou rasteira. Dessa maneira, a presença de amplos fragmentos de vegetação nativa nas proximidades – neste caso, o PESB e os remanescentes florestais nas áreas montanhosas- e mesmo entremeados às propriedades rurais – as RPPNs - faz com que uma fauna expressiva seja observada nas propriedades privadas de Belisário. Esta diversidade faunística indica que, apesar das diversas perturbações antrópicas a que a região foi submetida no passado, e os elementos de pressão antrópica ainda presentes – tal como a agricultura -, a área de estudo ainda conserva uma biodiversidade notável.

## 4.2. Características Hidroquímicas da Bacia do Rio Fumaça

### 4.2.1. Divisão em classes e parâmetros básicos

Os resultados levantados ao longo da pesquisa fundamentaram a divisão dos 25 pontos de coleta em quatro classes distintas: Mata (n=4), Agrícola I (n=8), Agrícola II (n=10) e Urbano (n=3) (Figura 28).



**Figura 28.** Uso e cobertura da terra em 2014 e localização dos pontos de coleta de amostras de água em cada classe de uso da terra.

A primeira classe (i.e., Mata) é constituída por 4 pontos (1, 3, 4 e 6), e é nela que a presença de vegetação nativa é a mais expressiva. A segunda classe (Agrícola I) está localizada na grande planície aluvial aos pés das montanhas de Belisário. Trata-se de uma área que concentra a drenagem, a população rural e a produção agrícola. As pastagens predominam na paisagem, mas estão presentes também as lavouras de café, o eucalipto e diversos cultivos temporários. Além disso, a área abrangida por esta classe possui poucos remanescentes florestais. Esta classe é composta por 8 pontos de coleta (2, 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 12).

A transição da segunda para a terceira classe é marcada por um ponto na paisagem em que os córregos da planície aluvial se encontram, logo antes de uma sequência de quedas d'água. Embora o ponto 12 se encontre no início desta transição, as águas no local estão fortemente associadas ao uso agrícola<sup>58</sup>, o que justificou a sua inclusão na segunda classe.

Na terceira classe (Agrícola II), composta por 10 pontos (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 25). Nesta classe, as lavouras e pastagens dividem espaço com florestas secundárias, e tanto o uso agrícola quanto a ocupação humana ocorrem de maneira menos pronunciada do que na classe anterior.

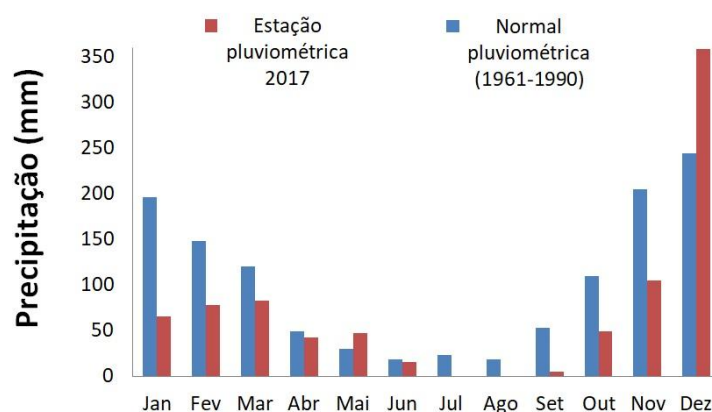
Finalmente, a quarta classe “Urbano” é composta por 3 pontos (22, 23 e 24). Os pontos 22 e 24 se encontram na calha principal do Rio Fumaça, e o ponto 23 está localizado em um tributário, que atravessa a área urbana e deságua no Rio Fumaça após o ponto 22.

Em relação à precipitação, os registros da estação pluviométrica mais próxima, em Viçosa, apontam uma sequência de anos com pluviosidade total abaixo da normal pluviométrica (Figura 29) – 2014 (824,6 mm), 2015 (1166,5), 2016 (1192,0 mm) -, assim como no ano em que as coletas foram realizadas - 2017 (852 mm). Sendo assim, é provável que os resultados apresentados nesta pesquisa tenham sido influenciados pela estiagem prolongada que a região atravessou recentemente.

---

<sup>58</sup> Apenas neste ponto foi encontrado o elemento chumbo na estação seca, além dos maiores valores para os metais cádmio, cromo e titânio. Na estação chuvosa, valores altos para turbidez e contagem de coliformes.





**Figura 29. Normal pluviométrica X Estação pluviométrica em 2017** <sup>59</sup>

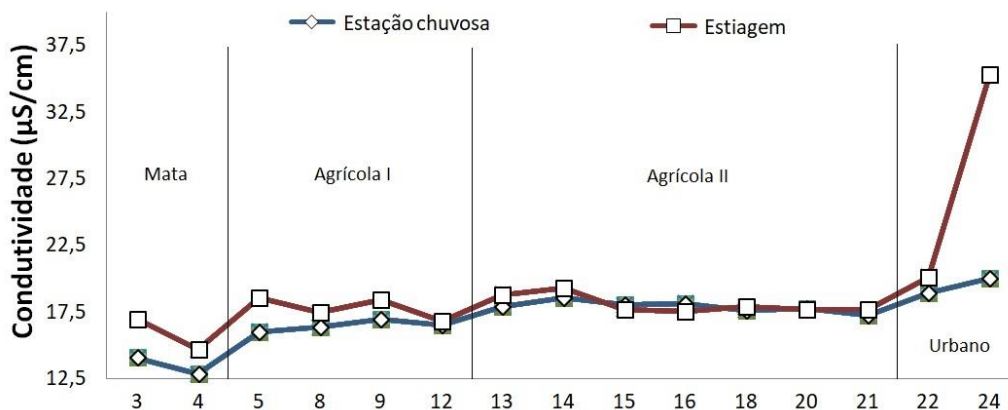
A comparação entre as duas estações – cheia e estiagem – foi parcialmente comprometida por eventos de chuva ocorridos em Agosto de 2017. Tais chuvas podem ter influenciado os resultados obtidos para os pontos 13 a 25<sup>60</sup>.

A estação pluviométrica não registrou chuvas durante este mês. A estação de Viçosa é a estação mais próxima da área de estudo cujos dados são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Embora exista uma estação pluviométrica entre Rosário da Limeira e Belisário - na PCH Coronel Domiciano -, os dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) indicam que a estação não é confiável. Por exemplo, ao longo do mês de setembro de 2017 a estação registrou inacreditáveis 3832,2 mm de precipitação acumulada.

No entanto, o município de Viçosa possui precipitação anual média de 1221,4 mm, e as normais pluviométricas indicam maior precipitação para os municípios na vertente oceânica da serra, como Muriaé (1736,5 mm) e São Francisco do Glória (1412,6 mm) (GS SOUTO ENGENHARIA LTDA E AMBIENTE SUSTENTÁVEL, 2011). Além disso, os valores de condutividade obtidos na calha principal do Rio Fumaça apresentaram leve declínio – de 19,3µS/cm no ponto 14, atingindo o mínimo de 17,5 µS/cm no ponto 16– fato possivelmente associado ao efeito de diluição das chuvas (Figura 30).

<sup>59</sup> A normal pluviométrica pertence a estação de Viçosa, e foi retirada do relatório de controle ambiental da PCH Coronel Domiciano, localizada entre Rosário da Limeira e Belisário. Os dados pluviométricos de 2014, 2015, 2016 e 2017 foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

<sup>60</sup> Estes pontos estão enquadrados nas classes agrícola II e Urbano.

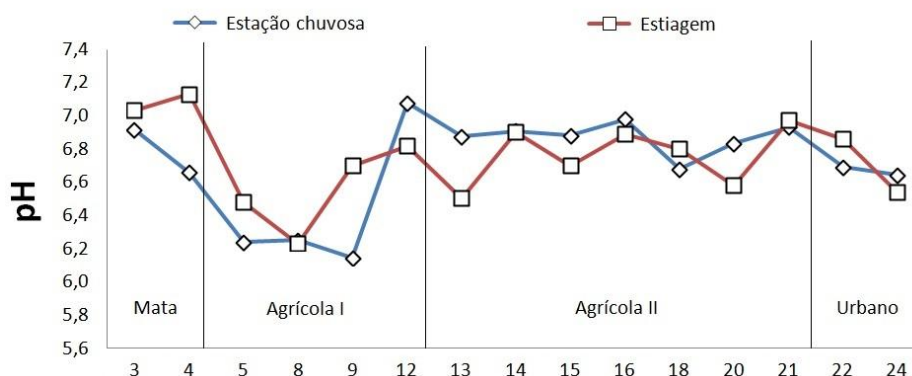


**Figura 30. Valores de condutividade no transecto principal (µS/cm).**

Os valores de condutividade apresentaram comportamento ligeiramente ascendente desde a nascente na serra até alcançar a área urbana de Belisário, em ambas as estações. Em geral, os valores foram baixos – a média foi de 19,9 µS/cm considerando as amostras de ambas as estações -, especialmente quando comparamos com a média de 66,1 µS/cm encontrada para o Rio Paraíba do Sul em estudo realizado próximo à sua foz (OVALLE *et al*, 2013). Uma análise fatorial considerando os fatores “classe” e “estação” revelou que houve diferença significativa em ambos os casos, embora a variação entre classes tenha sido mais pronunciada. Os valores de condutividade foram ligeiramente mais baixos durante a estação chuvosa, sendo que a classe “Mata” apresentou os menores valores do transecto, e a menor condutividade foi encontrada no ponto 4 (12,8 µS/cm), nesta estação. A classe “Urbano” apresentou os valores mais elevados, e o valor mais alto do transecto coube ao ponto 24 (35,3 µS/cm), durante a estiagem. A grande amplitude de valores encontrada no ponto 24 entre as duas estações (15,3 µS/cm) deve-se a entrada de um tributário altamente poluído (71,7 µS/cm) – o córrego da Felizarda, ponto 23 – que atravessa a área urbana e funciona como canal de escoamento de esgoto. Durante a estiagem, o volume do Rio Fumaça é menor, assim como sua capacidade de diluir os dejetos recebidos, o que explica o aumento de condutividade na classe “Urbano”.

O pH é um parâmetro chave para a construção de um diagnóstico, posto que ele está associado a diversos processos que ocorrem na bacia hidrográfica – tal como o intemperismo de rochas, a condição trófica de um ecossistema, assim como a cobertura e o uso da terra (RATSEP *et al*, 1994). Os menores valores foram encontrados na classe “Agrícola I”, sendo

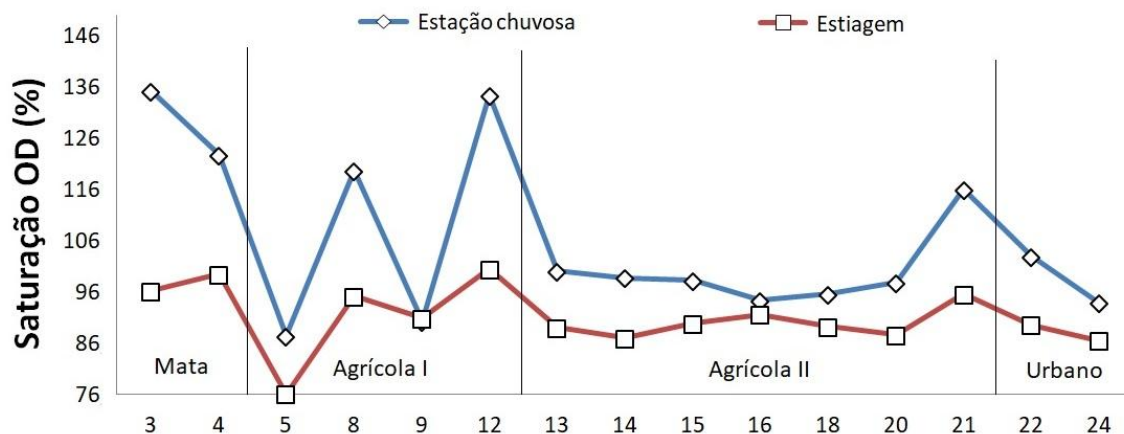
que o valor mais baixo do transecto (6,1) foi encontrado no ponto 9, no período das chuvas. O maior valor (7,1) foi encontrado no ponto 4 – classe “Mata”- durante a estiagem, e a partir do ponto 12 os valores mantiveram-se acima de 6,5 (Figura 31).



**Figura 31. Valores de pH no transecto principal.**

A análise fatorial indicou que houve variação significativa apenas entre as classes, e não entre as estações. O ranque de correlação de *Spearman*, a 95% de probabilidade, indica que houve correlação negativa entre os parâmetros pH e temperatura, em ambas as estações. Este fato sugere que a variação do pH pode estar ligada à remoção da vegetação nativa - principalmente a mata ciliar -, e a sua substituição por lavouras e pastagens, além do despejo de esgoto nos corpos hídricos na área de estudo.

O comportamento do parâmetro saturação de Oxigênio Dissolvido que apresentou correlação negativa com a condutividade - reforçam o entendimento de que alguns trechos do Rio Fumaça – especificamente nas áreas agrícolas e da urbana – encontram-se em estágios iniciais de eutrofização (Figura 32) -. Segundo o ranque de *Spearman*, a 95% de probabilidade, esta correlação foi significativa apenas para a estação chuvosa. Ainda assim, a correlação entre os parâmetros foi negativa em ambas as estações.



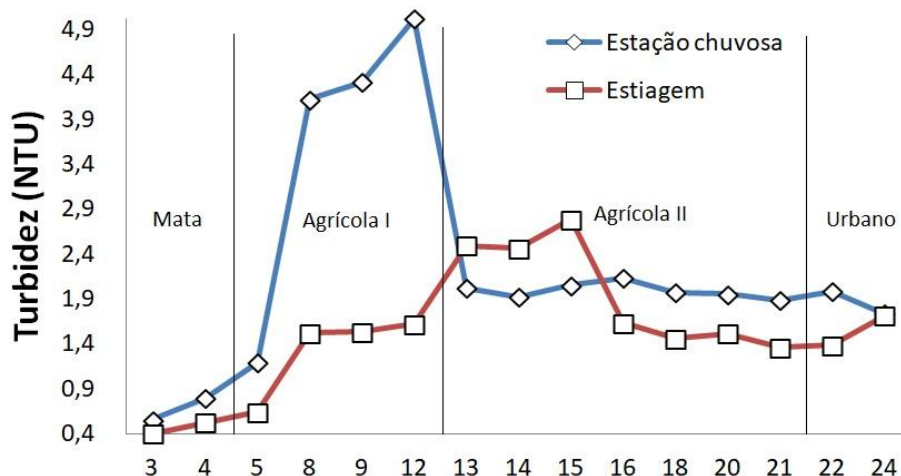
**Figura 32. Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no transecto principal.**

O valor mais alto de saturação de Oxigênio Dissolvido foi encontrado no ponto 3 (135,3%), nas encostas montanhosas, local onde formam-se corredeiras durante a estação chuvosa. Da mesma forma, os pontos 12 (134,5%) e 21 (116,1%) se encontram em trechos encachoeirados, onde ocorre naturalmente maior oxigenação das águas, principalmente no período chuvoso (SILVA *et al*, 2012). Por outro lado, o valor mais baixo do transecto foi encontrado no ponto 5 (76,2%) durante a estiagem, que pertencente à classe “Agrícola I”. É provável que os valores mais baixos na classe “Agrícola I” estejam associados à sobreposição da pressão agrícola e urbana, assim como a alteração do leito original do rio – drenagem das várzeas.

Além disso, na estação chuvosa, é observada uma queda nos valores entre os pontos 8 e 9 – de 119,9% para 90,4% -, apesar de que as características físicas do rio Fumaça encontradas serem semelhantes em ambos os locais e não haver a entrada de tributários entre os pontos. Acontece que a maior fazenda dedicada à pecuária leiteira de Belisário – com mais de 100 hectares - encontra-se entre os pontos 8 e 9. Nesta propriedade, há um sistema de captação dos dejetos das criações no curral, e este material é aproveitado para a irrigação da capineira<sup>61</sup>. Contudo, a contagem de coliformes fecais aponta que este sistema é menos eficiente na estação chuvosa – os valores passam de 1.140 no ponto 8 para 1.732 no ponto 9. Sendo assim, é provável que a redução observada esteja relacionada à entrada de dejetos, e o consumo de oxigênio associado à decomposição deste material (BALLESTER *et al*, 1999).

<sup>61</sup> A propriedade foi amostrada durante as entrevistas aos proprietários de imóveis rurais na área de estudo.

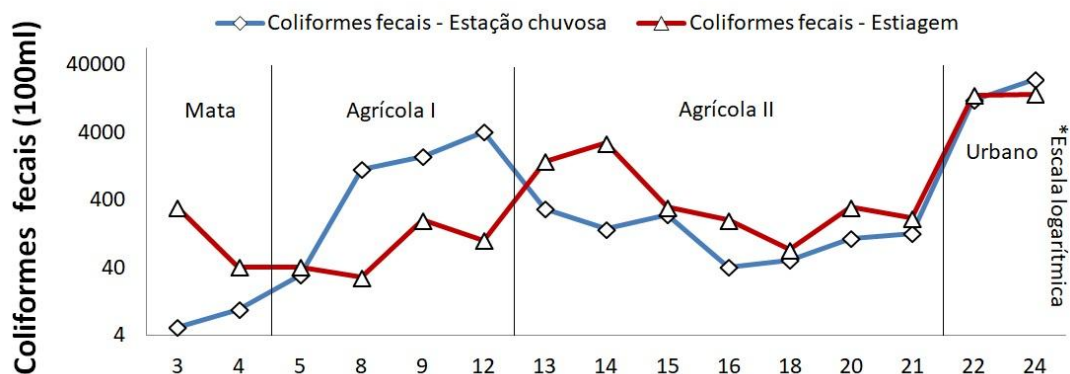
Os valores de turbidez indicam que há uma aceleração dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Fumaça, principalmente nas áreas agrícolas (Figura 33).



**Figura 33. Valores de Turbidez (NTU) no transecto principal.**

Nas áreas de mata foram encontrados os menores valores do transecto, que se mantiveram abaixo de 1,0 NTU em ambas as estações, sendo o valor mais baixo encontrado no ponto 3 (0,38 NTU) durante a estiagem. Os valores mais altos foram encontrados na classe “Agrícola I”, durante a estação chuvosa, e o maior valor do transecto foi encontrado no ponto 12 (5,0 NTU). Somente dos pontos 13 a 15 os valores de turbidez foram mais elevados durante a estiagem, fato possivelmente associado às chuvas atípicas para a estação que influenciaram nos resultados destas amostras.

Em relação às contagens de coliformes totais e fecais, o ranque de correlação de Spearman, a 95% de probabilidade, revelou correlação positiva entre ambas, tanto na estação chuvosa quanto na estiagem. Por esta razão, são apresentados apenas os valores referentes às contagens de coliformes fecais (Figura 34).



**Figura 34. Contagem de coliformes fecais (100ml) no transecto principal.**

Os menores valores para coliformes fecais foram encontrados na classe “Mata”, cujo mínimo – 5, no ponto 3 – foi encontrado na época das chuvas. Por outro lado, o valor mais elevado foi encontrado no ponto 24, na classe “Urbano”, sendo que o valor máximo para a contagem de coliformes fecais (68.670) foi encontrado durante a estiagem, enquanto o maior valor para a contagem de coliformes fecais (24.196) pertence à estação chuvosa. Em geral, as classes agrícolas apresentaram valores intermediários. No entanto, em locais específicos da zona rural, tal como nos pontos 8, 9 e 12, os valores se aproximaram dos resultados encontrados na área urbana, principalmente no período das chuvas – respectivamente, os valores são 1.140, 1.732 e 4.106. Nestes pontos, a água encontra-se imprópria para banho, irrigação de hortaliças e dessedentação de animais (CONAMA 357), pois seu uso expõe a população humana e os animais domésticos a doenças como diarreia, assim como parasitas diversos cujo ciclo de contágio e propagação é via oral fecal (EPA, 1998).

Este resultado provavelmente está associado ao fato de que a classe “Agrícola I” trata-se da área rural mais povoada de Belisário. A maioria das propriedades rurais amostradas (85%, n = 100) não possui destino adequado para o esgoto doméstico. Nesta classe, a renda das famílias está fortemente associada à pecuária leiteira, e a agricultura familiar com frequência compensa o pequeno tamanho das propriedades com o uso intensivo da terra (SCHONLEITNER, 1998; GRIFFIN, KHAN e ICKOWITZ, 2002). Isso implica um maior número de cabeças por hectare, condição possibilitada pela suplementação alimentar. Assim sendo, as fezes dos animais seriam carregadas pelas chuvas e alcançariam os corpos hídricos locais.

### 4.2.2 Análise de Componentes Principais

Para melhor compreender o comportamento dos parâmetros, foram construídos e analisados ranques de correlação de *Spearman*, a 95% de probabilidade, para ambas as estações. Dessa maneira, foi possível descobrir as variáveis que se comportam de maneira semelhante, e selecionar aquelas que seriam incluídas na Análise de Componentes Principais (PCA). Em seguida, os dados foram normalizados em escala logarítmica, possibilitando a execução de testes paramétricos. Após diversos testes e ajustes, foi possível chegar a uma PCA satisfatória, que explica 73,13% da variação encontrada nos resultados, empregando apenas seis dos 30 parâmetros avaliados – as concentrações de cálcio (Ca), alumínio (Al), cobre (Cu) e a saturação de oxigênio dissolvido; e os parâmetros temperatura, turbidez do material bruto (TB) – pré-filtragem (Figura 35).

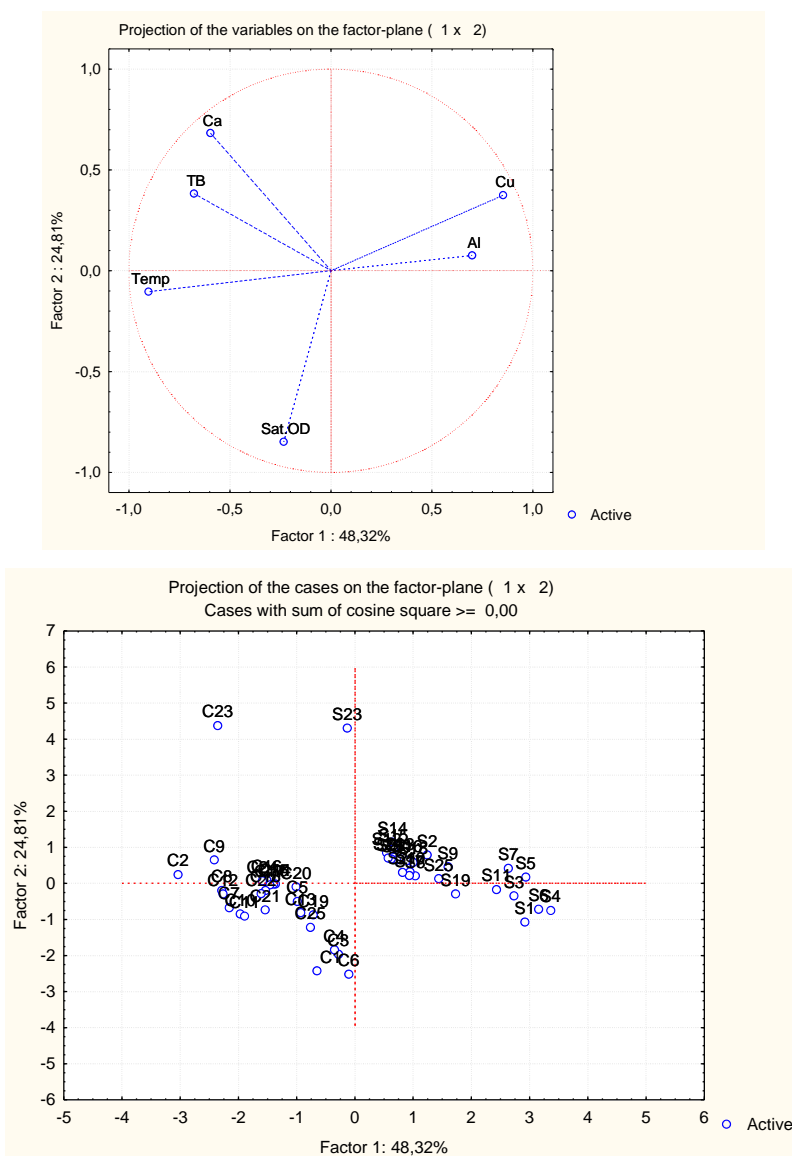


Figura 35. Análise de componentes principais (PCA).

Na projeção dos casos nos planos fatoriais, foi verificado que todas as amostras coletadas durante a estação seca (S) estão posicionadas ao lado direito do eixo Y, exceto a amostra 23; ao passo que as amostras da estação chuvosa (C) concentram-se ao seu lado esquerdo. Isso ocorre porque o “Fator 1” está associado às características do meio físico, tais como as baixas temperaturas – que ocorrem no inverno e são menores quando existe vegetação ripária; além de altas concentrações de alumínio e a presença de cobre, metais que refletem a geologia e mineralogia da região.

Enquanto isso, o “Fator 2” está relacionado ao uso da terra e à pressão antrópica. Por esta razão, um córrego que atravessa a área urbana, (ponto 23) é visto no topo do gráfico em ambas as estações, e é também a única amostra coletada durante a estiagem que se encontra na parte esquerda do gráfico. Trata-se do expoente máximo em nossa amostra das consequências das pressões antrópicas sobre os recursos hídricos, tais como aumento da turbidez, maior concentração de elementos dissolvidos – como o cálcio, sódio, magnésio, potássio e nitrogênio – e valores elevados de coliformes fecais. No outro extremo do gráfico, em sua parte inferior, encontram-se pontos que se destacam pelas saturações de OD mais elevadas, temperaturas mais baixas e altas concentrações de alumínio. Estas características são típicas de ecossistemas florestais (CHANTIGNY, 2003), tais como encontrados na classe “Mata” (pontos 1, 3, 4, e 6) e, em menor grau, na RPPN Iracambi (ponto 25) (Tabela 19).

**Tabela 19. Correlação entre parâmetros e fatores.**

<b>Variável</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>
Saturação de Oxigênio Dissolvido	-0,23	-0,85
Turbidez Bruto	-0,68	0,40
Temperatura	-0,90	-0,10
Alumínio	0,69	0,07
Cálcio	-0,59	0,68
Cobre	0,85	0,37

Em relação à turbidez do material bruto (Tabela 20), a classe “Agrícola I” apresentou a média mais elevada (1,6 NTU), durante a estação chuvosa, sendo que o ponto 12, na calha principal do Rio Fumaça, apresentou o valor mais alto de toda a amostra (2,7 NTU). Já os valores mais baixos foram encontrados na classe mata durante a estação seca (média de 0,5



NTU), e no ponto três, dentro do PESB, foi encontrado o valor mais baixo de toda a amostra (0,4 NTU) (Tabela 20).

**Tabela 20. Estatística descritiva para TB (NTU).**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	0,65	0,65	0,15	0,50	0,80	23,55
Agrícola I	Chuvas	3,90	4,00	1,75	1,20	6,90	45,58
Agrícola II	Chuvas	1,90	1,95	0,21	1,35	2,11	11,17
Urbano	Chuvas	1,70	1,70	0,28	1,4	1,96	16,60
Mata	Estiagem	0,50	0,49	0,10	0,38	0,63	20,65
Agrícola I	Estiagem	1,29	1,44	0,39	0,62	1,70	29,26
Agrícola II	Estiagem	1,68	1,51	0,67	0,60	2,76	40,06
Urbano	Estiagem	2,81	1,69	0,23	1,35	5,39	79,53

A turbidez esteve correlacionada positivamente com os elementos ferro e bário, e também com as contagens de coliformes totais e fecais, em ambas as estações. Dessa maneira, os resultados apontam que a turbidez está relacionada ao arraste de material do solo pelas chuvas (ferro), que também carregam para os corpos hídricos locais as fezes de animais e humanos. Resultados semelhantes foram observados em áreas rurais povoadas na China, (WANG *et al*, 2011). Por outro lado, os valores de turbidez altos encontrados no ponto 23, córrego em que a concentração de esgoto doméstico é maior durante a estiagem, contribuiu para elevar o valor médio da classe “Urbano” durante esta estação.

Os resultados revelaram que, embora as classes “Agrícola I” e “Urbano” tenham apresentados os valores mais elevados de turbidez, há uma diferença marcante entre ambas. Os valores mais altos na classe “Agrícola I” são sazonais e estão vinculados aos processos erosivos que são intensificados na estação chuvosa. Enquanto isso, na classe “Urbano”, a turbidez é elevada o ano todo por causa do despejamento de esgoto, e foi observada uma leve redução dos valores na época das chuvas, quando o volume do rio permite maior diluição do material recebido.

As concentrações de cálcio estiveram correlacionadas positivamente aos parâmetros condutividade, NTD, às contagens de coliformes – totais e fecais -, e aos elementos sódio, potássio, magnésio, bário e estrôncio. A diferença entre estações foi significativa, com valores mais elevados durante a estação chuvosa; embora a diferença entre as classes seja mais pronunciada (Tabela 21).

**Tabela 21. Estatística descritiva para concentrações de cálcio ( $\mu\text{g/L}$ ).**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	944,5	911,5	78,4	895,8	1060,2	8,3
Agrícola I	Chuvas	1379,9	1352,4	242,6	1085,8	1892,9	17,6
Agrícola II	Chuvas	1177,8	1234,8	202,7	808,1	1385,8	17,1
Urbano	Chuvas	1994,8	1418,8	1102,6	1300,5	3264,1	55,2
Mata	Estiagem	851,1	804,2	167,4	707,0	1089,9	19,7
Agrícola I	Estiagem	1090,7	1057,7	233,7	802,0	1547,1	21,3
Agrícola II	Estiagem	1157,4	1201,8	179,4	680,9	1348,8	15,5
Urbano	Estiagem	1434,2	1308,4	300,8	1218,8	1776,5	20,9

A média mais elevada ( $1993\mu\text{g/L}$ ) foi encontrada na classe “Urbano”, durante a estação chuvosa, e o ponto 23 apresentou o valor mais elevado de toda a amostra ( $3264\mu\text{g/L}$ ). Os valores mais baixos foram encontrados na classe “Mata” durante a estiagem (média  $851\mu\text{g/L}$ ), e o valor mais baixo da amostra ( $707\mu\text{g/L}$ ) foi encontrado no ponto 1, nesta mesma classe e estação.

Em países temperados, geralmente é observado um efeito de diluição causado pelas chuvas, que reduz as concentrações de elementos dissolvidos durante a estação chuvosa (MARKETWITZ *et al*, 2001). No baixo curso do Rio Paraíba do Sul, este mesmo padrão foi observado ao longo dos anos de 1997 e 2007 (OVALLE *et al*, 2013). Acontece que, na cabeceira do Rio Fumaça, os resultados encontrados foram opostos. Não se trata de um caso isolado, visto que o mesmo padrão foi registrado em uma bacia de drenagem na região de Paragominas, no estado do Pará, a qual possui diversas semelhanças com Belisário: uma bacia hidrográfica onde, há 40 anos, as florestas primárias foram substituídas por um mosaico de pastagens e florestas secundárias, e corpos hídricos de baixa condutividade (abaixo de  $40\mu\text{S}$ ) drenam solos altamente intemperizados – latossolo amarelo distrófico - (MARKETWITZ *et al*, 2001). Não obstante, os resultados reforçam a necessidade de incorporar o estudo de bacias hidrográficas menores – principalmente nas cabeceiras - no esforço de compreender o comportamento hidroquímico dos rios tropicais (ANDRADE *et al*, 2011).

Dessa maneira, é possível afirmar que as concentrações mais altas estão associadas à lixiviação dos solos, que aumenta a exportação de elementos dissolvidos na bacia de drenagem do Rio Fumaça durante a estação chuvosa. Os valores elevados de cálcio – correlacionados positivamente a elementos como nitrogênio, magnésio, potássio e sódio –

estão ligados às práticas de correção do pH do solo (calagem), adubação e a suplementação mineral fornecida ao gado. Além disso, os valores ainda mais altos encontrados nas áreas urbanas revelam que estes parâmetros estão associados também ao povoamento das áreas - por humanos e animais domésticos -, e a entrada de dejetos nos corpos hídricos locais.

Em relação ao parâmetro temperatura, a diferença entre as estações foi a mais significativa, embora as classes também tenham se comportado de forma distinta. A média mais elevada foi encontrada na classe “Agrícola I” durante a estação chuvosa (23,1° C), sendo que o valor mais alto (25,4° C) foi encontrado no ponto sete, um tributário do Rio Fumaça que drena a várzea agrícola. Já os valores mais baixos foram encontrados na classe mata durante a estação seca (14,7° C), e o ponto seis, uma nascente na encosta da serra, apresentou o valor mais baixo de toda a amostra (14,6° C) (Tabela 22).

**Tabela 22. Estatística descritiva para a temperatura (°C)**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	20,0	19,9	0,8	19,3	20,9	3,7
Agrícola I	Chuvas	23,4	23,2	0,9	22,6	25,4	3,8
Agrícola II	Chuvas	20,3	20,4	0,9	18,7	21,4	4,5
Urbano	Chuvas	22,4	21,6	1,4	21,5	24,0	6,3
Mata	Estiagem	14,7	14,7	0,1	14,6	14,8	0,6
Agrícola I	Estiagem	17,1	17,1	0,8	15,8	18,5	4,8
Agrícola II	Estiagem	16,0	15,8	0,5	15,4	17	3,4
Urbano	Estiagem	17,5	17,2	0,8	17,0	18,5	4,6

A variação sazonal parece explicar os valores de temperatura mais baixos encontrados durante o inverno. Além disso, a redução da temperatura nos corpos hídricos também está associada à presença de mata ciliar (RATSEP *et al*, 1994; VOUGHT *et al*, 1995). Diferentemente da classe “Agrícola I”, onde a zona ripária é completamente ocupada pelo uso agrícola, a classe “Agrícola II” possui trechos de mata ciliar ao longo dos corpos hídricos. Além disso, as temperaturas mais baixas foram encontradas em nascentes, cujas águas são alimentadas por fluxos subterrâneos.

Os valores referentes à saturação de Oxigênio Dissolvido apresentaram variação significativa tanto entre as classes quanto entre as estações, sendo que os valores mais altos foram encontrados na estação chuvosa. A média mais alta foi encontrada na classe mata no período das chuvas (138,3%), sendo que o valor mais alto da amostra (149,6%) foi encontrado no ponto 1. Já a média mais baixa foi encontrada na área urbana durante a

estiagem (70,7%), e o valor mais baixo (32,2%) foi encontrado no ponto 23 durante a estação das chuvas (Tabela 24).

**Tabela 23. Estatística descritiva para a saturação de OD (%).**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	138,3	140,4	11,9	122,9	149,6	8,6
Agrícola I	Chuvas	122,3	127,2	23,0	87,4	145,2	18,8
Agrícola II	Chuvas	98,2	98,1	9,1	86,0	116,1	9,3
Urbano	Chuvas	76,4	94,0	38,6	32,2	103,1	50,5
Mata	Estiagem	94,6	96,1	5,7	86,3	99,6	6,1
Agrícola I	Estiagem	86,9	85,8	8,5	76,2	100,6	9,8
Agrícola II	Estiagem	89,1	89,7	4,4	78,5	95,7	5,0
Urbano	Estiagem	70,7	86,6	30,2	35,8	89,6	42,8

Com base nas estatísticas, verificou-se que os valores para a saturação de OD foram elevados em quase toda a amostra e mantiveram-se acima de 76%, com exceção do ponto 23. Os resultados apontam que este tributário foi responsável pela redução dos valores registrados para a classe “Urbano”, pois os demais pontos que pertencem a esta classe (22 e 24) apresentaram valores semelhantes aos encontrados nas áreas de uso agrícola, mesmo no período da estiagem (89,6% e 86,6%, respectivamente). No ponto 23, os valores baixos de saturação de OD – 32,25% na estação chuvosa, e 35,8% no período da estiagem – refletem a entrada de matéria orgânica, cuja decomposição reduz a disponibilidade de oxigênio (BALLESTER *et al*, 1999; ANDRADE *et al*, 2011).

Os valores mais elevados encontrados nas encostas das montanhas durante a estação chuvosa podem estar associados às características naturais do leito dos corpos hídricos nestas áreas - pedregosos e com declividade acentuada -, tal como sugerido por estudo conduzido na bacia do Rio Piracicaba (SILVA *et al*, 2012). Além disso, os valores também refletem a condição oligotrófica característica às águas superficiais em cabeceiras onde a pressão antrópica é baixa (KRUSCHE *et al*, 2002).

As concentrações de Al nas águas apresentaram variação significativa tanto entre as estações quanto entre as classes. A média mais alta foi encontrada na classe “Mata” durante a estação seca (2,7 mg/L), sendo que o ponto 7, tributário localizado na classe “Agrícola I”, apresentou o valor mais alto de toda a amostra (18,3 mg/L). A média mais baixa foi encontrada na classe “Urbano” na época das chuvas (14,7 µg/L), e o ponto 13, nesta estação, apresentou o valor mais baixo da amostra (4,5 µg/L) (Tabela 25).

**Tabela 24. Estatística descritiva para a concentração de Al ( $\mu\text{g/L}$ ).**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	18,7	15,6	6,6	13,8	27,0	37,5
Agrícola I	Chuvas	54,4	38,4	41,2	19,3	131,6	75,7
Agrícola II	Chuvas	25,3	8,6	49,4	4,5	165,0	195,0
Urbano	Chuvas	14,8	14,9	2,8	12,5	17,8	18,7
Mata	Estiagem	27323,7	1151,2	3310,4	9367,9	7691,5	121,1
Agrícola I	Estiagem	4890,9	1652,9	6568,6	151,4	18305,4	134,3
Agrícola II	Estiagem	32,5	31,8	13,2	16,5	61,2	40,8
Urbano	Estiagem	53,6	28,9	44,7	27,6	105,2	83,4

Durante a estação chuvosa, a variação entre as classes foi menor, e os valores mais altos pertencem à classe “Agrícola I” (média de 54  $\mu\text{g/L}$ ). No entanto, o ranque de *Spearman* não indicou correlação entre a turbidez e as concentrações de alumínio. Sendo assim, o alumínio encontrado nas águas não está sendo carregado do solo. Os valores mais altos durante a estiagem – período em que as águas expressam mais as características das rochas associadas ao lençol freático (MARKEWITZ *et al*, 2001) - indicam que as concentrações de Al estão associadas à mineralogia da região, em particular aos depósitos de bauxita. Na estação seca, a queda acentuada das concentrações entre as classes “Agrícola I” e “Agrícola II” provavelmente está associada ao efeito de diluição das chuvas já mencionadas.

As concentrações do Cu apresentaram variação significativa apenas entre as estações. Na estação chuvosa, os valores mantiveram-se abaixo do limite de detecção (0,0004  $\mu\text{g/L}$ ). Já durante a estiagem, o metal foi encontrado em todas as amostras, e apresentou correlação positiva com os elementos Cr, Ba e Ti. Ainda assim, as concentrações registradas foram sempre baixas (média geral de 3,3  $\mu\text{g/L}$ ), e o valor mais alto de toda amostra foi encontrado no ponto 7 (7,5  $\mu\text{g/L}$ ) (Tabela 26).

**Tabela 25. Estatística descritiva para a concentração de Cu ( $\mu\text{g/L}$ ).**

Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Chuvas	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,00
Estiagem	3,32	3,36	1,32	0,57	7,55	39,76

Dessa maneira, as concentrações de cobre parecem estar diretamente associadas aos minerais presentes no subsolo da região, embora em quantidade consideravelmente menor do que o alumínio.

Os resultados registrados para o P são importantes (Tabela 27), ainda que este elemento não tenha sido incluído na PCA.

**Tabela 26. Estatística descritiva para a concentração de P ( $\mu\text{g/L}$ ).**

Classe	Estação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C. V. %
Mata	Chuvas	30	32	7,75	20	38	25,2
Agrícola I	Chuvas	13	0	20,36	0	51	147,2
Agrícola II	Chuvas	6	0	13,86	0	38	215,4
Urbano	Chuvas	58	61	13,19	44	70	22,4
Mata	Estiagem	21	0	43,49	0	87	199,9
Agrícola I	Estiagem	26	0	47,10	0	133	176,8
Agrícola II	Estiagem	29	16	36,24	0	106	124,0
Urbano	Estiagem	35	21	44,13	0	84	124,8

No tocante ao P, as médias mais elevadas já eram esperadas para a classe “Urbano”, por causa do despejamento de esgoto (CARPENTER *et al*, 1998). Além disso, a média na classe “Mata” foi alta durante a estação chuvosa, fato que pode estar associado à lixiviação intensa da serapilheira e do solo característica à esta estação (GOLLEY *et al*, 1978; FORTESCUE, 1980). Não obstante, os resultados indicam que as análises deste trabalho foram insuficientes para retratar a ciclagem do P na cabeceira do Rio Fumaça. Por exemplo, enquanto alguns pontos das classes agrícolas apresentaram os valores mais altos da amostra, em outros as concentrações de fósforo estiveram abaixo do limite de detecção ( $0,008 \mu\text{g/L}$ ).

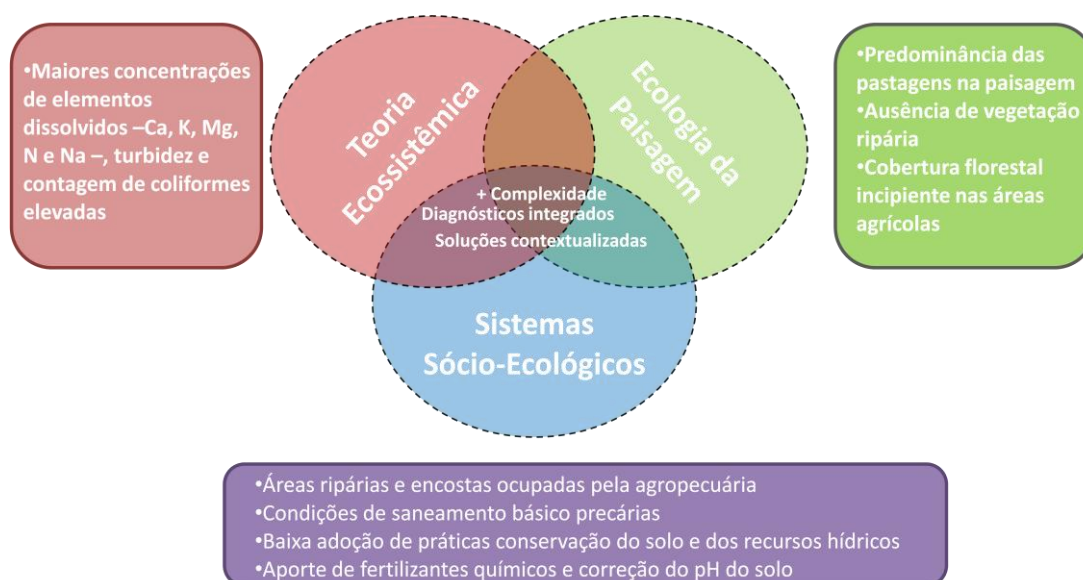
Um aspecto importante a ser ressaltado é que nesta pesquisa foi empregado apenas o P total mensurado na fração dissolvida das amostras, e os ecossistemas aquáticos superficiais possuem grande capacidade interna de remover e/ou liberar P da coluna d’água, fazendo com que este elemento alterne entre a fração orgânica e inorgânica, e também entre a forma particulada e dissolvida (JARVIE *et al*, 2005). Além disso, os demais compartimentos dos

ciclos biogeoquímicos não foram analisados e, em áreas agrícolas, o P frequentemente fica retido no solo (CARPENTER *et al*, 1998).

Os valores para o Va estiveram sempre abaixo do limite de detecção (<0,0008 µg/L), em todas as quatro classes e em ambas as estações. O Pb foi encontrado apenas em uma amostra (ponto 12), que pertence à classe “Agrícola 1” (52,236 µg/L), na estação seca. O Cd esteve presente apenas em quatro amostras – ponto 8 (0,77 µg/L), ponto 9 (1,67 µg/L), ponto 10 (0,90 µg/L) e ponto 12 (19,16 µg/L) -, todas coletadas na classe “Agrícola 1”, durante a estiagem. A presença destes dois metais – chumbo e cádmio – provavelmente está associada ao manejo das áreas agrícolas, principalmente ao uso de agroquímicos nas lavouras. O Cd, por exemplo, está presente em quantidades traço em muitos fertilizantes fosfatados (GRANT e SHEPPARD, 2008; ROBERTS, 2014). Além disso, diversos agrotóxicos possuem quantidades mínimas de Pb e Cd em suas composições (HOLMGREM *et al*, 1993; SCHOOLEY *et al*, 2008; BARANSKI *et al*, 2014). No entanto, um levantamento mais detalhado a respeito dos fertilizantes químicos e agrotóxicos utilizados pelos agricultores seria necessário para a confirmação desta hipótese.

## 5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A aplicação em conjunto de três teorias Ecológicas – neste caso, a teoria Ecosistêmica, a Ecologia da Paisagem e os Sistemas Sócio-ecológicos – mostrou-se uma abordagem eficiente para a compreensão dos processos que atuam em diferentes escalas na paisagem. Neste trabalho, as informações levantadas por cada uma das três ferramentas auxiliaram na interpretação e compreensão dos demais resultados (Figura 36). Dessa maneira, foi possível construir um diagnóstico geral mais completo e complexo, que fornece contexto para a gestão dos recursos naturais e o enfrentamento dos desafios ambientais observados nas diversas escalas que compõe a área de estudo.



**Figura 36 – Integração das três teorias ecológicas: Teoria Ecosistêmica, Ecologia da Paisagem e Sistemas Sócio-Ecológicos.**

Após ter sido submetida a pressões antrópicas diversas ao longo de sua história, a área de estudo detém hoje importantes remanescentes de vegetação nativa, cujas águas conservam minimamente as características físico-químicas de ambientes preservados. Além disso, a área abriga uma biodiversidade faunística notável, e uma conjunção de fatores naturais a tornam privilegiada regionalmente em termos de disponibilidade hídrica. No entanto, chama a atenção o fato de que, em Belisário, algumas comunidades rurais mais próximas à Serra do Brigadeiro são justamente as mais povoadas e onde a pressão agrícola é mais intensa.

Os três diagnósticos elaborados nesta pesquisa apontam que o modelo de produção predominante nas propriedades rurais tem causado alterações profundas na paisagem e nos



ecossistemas locais. Nas áreas em que a ocupação agrícola é mais intensa, a cobertura florestal é incipiente e, com frequência, áreas mais vulneráveis como encostas íngremes e o entorno dos corpos hídricos são usados para a prática da agropecuária. Como consequência dos usos predominantes da terra, predomina na área de estudo uma baixa adoção de práticas de manejo voltadas para a conservação do solo e dos recursos hídricos, a falta de saneamento básico, e a ausência de matas ciliares, enquanto os corpos hídricos que drenam as áreas agrícolas apresentam maiores concentrações de elementos dissolvidos – como o potássio, magnésio, nitrogênio e sódio –, turbidez elevada e contaminação por micro-organismos patogênicos, principalmente na época das chuvas.

Tais práticas de manejo agrícola que desconsideram a importância dos serviços ecossistêmicos tornam-se ainda mais preocupantes no contexto de mudanças climáticas global, pois a depleção da qualidade e quantidade hídrica e a falta de elementos estabilizadores na paisagem tornam a região mais vulnerável aos efeitos de eventos climáticos extremos, tais como as estiagens prolongadas. Além disso, na defesa de seus interesses e necessidades pessoais frente a tais eventos, as decisões dos agricultores tendem a pressionar ainda mais os ecossistemas locais.

Os resultados gerais a respeito da gestão dos recursos naturais nas propriedades privadas e os possíveis cenários causados pelas mudanças climáticas globais apontam que, deixados sozinhos, os agricultores familiares possuem pouca capacidade para resguardar os interesses coletivos de manutenção dos serviços ecossistêmicos. No esforço de satisfazer as necessidades econômicas, predomina entre os agricultores da região práticas que privilegiam o imediatismo, o que é agravado pelo fato de que as prioridades governamentais muitas vezes inviabilizam a gestão dos recursos naturais para além do nível da propriedade privada e a simples exploração irresponsável. Neste contexto, recai sobre os ecossistemas locais o ônus resultante das diversas formas de pressão antrópica que interagem na paisagem.

No caso da criação do PESB, apesar da mesma ter representado um marco positivo para os esforços em torno da proteção e o aumento da cobertura florestal na região de Belisário, a mesma não implicou na adoção de práticas de manejo sustentáveis nas propriedades privadas em sua área de entorno. Já a criação das APAs em Belisário passou despercebida por boa parte dos agricultores locais, e não trouxe mudanças significativas para o uso e cobertura da terra.

A observância da legislação atual não será capaz de trazer melhorias na gestão das propriedades rurais capazes de sanar os problemas ambientais constatados na área de estudo. Isso porque novo código florestal prioriza a questão social em detrimento de necessidades físicas essenciais à sustentabilidade da paisagem. Não obstante, o estímulo às práticas conservacionistas fora do PESB, tais como o fortalecimento das APAs e a parceria com os agricultores familiares são de fundamental importância para a manutenção dos serviços ecossistêmicos regionais. A alta densidade de nascentes na área de estudo privilegia atividades de baixo impacto, tais como o manejo agrícola sustentável – por exemplo, a agricultura orgânica ou agroecológica - e o ecoturismo. Portanto, há amplo espaço e necessidade na região para iniciativas que busquem principalmente a conservação da biodiversidade, dos solos e dos recursos hídricos. Estes trabalhos deverão enfrentar o desafio de conquistar o apoio do poder público e a confiança dos proprietários de terras.

Um aspecto positivo é que a área de estudo já possui elementos fundamentais para a sustentabilidade da paisagem, como os grandes fragmentos florestais no topo das serras e os fragmentos menores espalhados na paisagem. Contudo, ainda inexistem a necessária conectividade entre os fragmentos florestais existentes, principalmente nos localizados nas áreas agrícolas; e a situação das zonas ripárias também se encontra precária, comprometendo os benefícios que estas áreas trazem para a manutenção da biodiversidade e para a disponibilidade e qualidade hídrica.

Uma possível abordagem de intervenção na paisagem poderia combinar a construção de estruturas para o direcionamento, captação e infiltração da água da chuva – as curvas de nível e caixas de contenção – e a recuperação dos reservatórios naturais - as várzeas. Um comitê de gestão desta iniciativa, que incluísse diversos públicos de interesse – principalmente os agricultores, o Estado e pessoal capacitado - poderia negociar termos junto aos agricultores, para que as matas ciliares e outras áreas prioritárias fossem recuperadas em troca de acesso facilitado ao crédito e execução de melhorias nas propriedades. O objetivo principal dessas ações seria fazer com que uma maior porcentagem da precipitação infiltrasse no solo, e uma menor quantidade de nutrientes, sedimentos e contaminantes alcançassem os corpos hídricos.

As medidas anteriores poderiam ser adotadas no curto prazo, enquanto estudos específicos poderiam ser desenvolvidos para definir quais os melhores modelos de saneamento para os contextos rural e urbano, e também para incentivar a adoção de formas de

produção agrícola sustentável cuja adoção seja viável para os produtores rurais, levando em conta seus aspectos sócio-demográficos e a sua história.

Esta pesquisa não teve a pretensão de apresentar soluções definitivas, ou mesmo de esgotar os assuntos aqui abordados. Há muitas outras análises e pesquisas cujos resultados auxiliariam na compreensão dos processos em curso na paisagem de Belisário. Por exemplo, com o uso de imagens de satélite, seria possível construir uma evolução temporal da área de estudo para verificar e quantificar o aumento recente das florestas apontado pelos moradores locais. Da mesma forma, o estudo de compartimentos da ciclagem biogeoquímica não abordados nesta pesquisa - como o sedimento dos rios e o solo - têm o potencial de fornecer maior detalhamento sobre o histórico da região e a ciclagem de elementos importantes como o fósforo. Além disso, estudos florísticos e faunísticos na área de estudo têm potencial para gerar resultados relevantes para a comunidade científica, principalmente para aqueles que estudam a fragmentação e a regeneração de ecossistemas florestais. Finalmente, seria interessante investigar como a bacia hidrográfica do Rio Fumaça se comporta em anos com maior pluviosidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AB’SÁBER, A. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas. 7ª Edição. Cotia – SP. Ateliê Editorial, 2012.
- ACHINELLI, M. Poverty, coffee cultivation and deforestation in the Brazilian Atlantic rainforest: Achieving a sustainable livelihood through education and public participation, 2004. Tese de Mestrado - Universidade de Lunds. Suécia.
- ACKERMAN, F; ALMEIDA, P. Iron and charcoal: The industrial fuelwood crisis in Minas Gerais. *Energy Policy*, p. 661-668, 1990.
- ACOT, P. História da Ecologia. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Editora Campus, 1990.
- AGEVAP. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. *Diagnóstico Integrado e Contextualizado dos Recursos Hídricos*, 2013. Documento em PDF fornecido pela Agência Nacional de Águas.
- ALTIERI, M. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 74, p. 19-31, 1999.
- AMAZONAS, N; MARTINELLI, L; PICCOLO, M; RODRIGUES, R. Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management*, v. 262, p. 1551-1557, 2011.
- ANDRADE, T. *et al.* Dynamics of Dissolved Forms of Carbon and Inorganic Nitrogen in Small Watersheds of the Coastal Atlantic Forest in Southeast Brazil. *Water, Air & Soil Pollution*. V. 214, p. 393-408, 2011.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 20ª ed. United States of América. American Public Health Association, 1998.
- ASSAD, E. *et al.* Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, v. 10, p. 6141-6160, 2013.
- AMIGOS DE IRACAMBI – OSCIP (IRACAMBI). Plano de Manejo RPPN Pico da Graminha. Resumo Executivo, 2013. Arquivo Digital, cedido pessoalmente pelo Presidente da OSCIP Robin Le Breton.
- BAKER, W. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, v. 2, n. 2, p. 111-133, 1989.

- BALLESTER, M. *et al.* Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O<sub>2</sub>, free dissolved CO<sub>2</sub> and respiration rates in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. *Water Research*, v. 33, n. 9, p. 2119-2129, 1999.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.
- BARANSKI, M. *et al.* Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lowering incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition*, v. 112, p. 794-811, 2014.
- BARBIER, E. The Farm-Level Economics of Soil Conservation: The Uplands of Java. *Land Economics*, v. 66, n. 2, p. 199- 211, 1990.
- BERKES, F; FOLKE, C. Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. 1ª Edição. Nova York. Cambridge University Press, 1998.
- BLACKBRIDGE. Satellite Imagery Product Specifications. Version 6.1. 2015. Arquivo em formato PDF. Disponível em:  
[http://www.egeos.it/images/Satellite\\_data/RAPIDEYE/RE\\_Product\\_Specifications\\_ENG.pdf](http://www.egeos.it/images/Satellite_data/RAPIDEYE/RE_Product_Specifications_ENG.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- BONAN, G. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, v. 320, p. 1444-1449, 2008.
- BRANCALION, P. *et al.* A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação*, v. 14S, p. 1-15, 2016.
- BRIAN, K. Classification of Springs. *The Journal of Geology*, v. 27, n. 7, p. 522-56, 1919.
- BROWN, A. *et al.* A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, v. 310, p. 28-61, 2005.
- CARPENTER, S. *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorous and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, n. 3, p. 559-568, 1998.
- CARPENTER, S; GUNDERSON, L. Coping with Collapse: Ecological and Social Dynamics in Ecosystem Management. *BioScience*, v. 51, n. 6, p. 451-457.
- CECCON, E; MIRAMONTES, O. Reversing deforestation? Bioenergy and society in two Brazilian models. *Ecological Economics*, v. 67, p. 311-317, 2008.

- CHANTIGNY, M. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*, v. 113, p. 257-380, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. Edição da Universidade de São Paulo. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda, 1974.
- CHRISTOPHERSON, R. Geosystems. 8ª Edição. Upper Saddle River, New Jersey. Pearson Prentice Hall, 2012.
- COLE, L; BHAGWAT, S; WILLIS, K. Recovery and resilience of tropical forests after disturbance. *Nature Communications*, 2014. DOI: 10.1038/ncomms4906.
- CENTRO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS DA ZONA DA MATA (CTA). Território da Serra do Brigadeiro. *Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável*, 2005.
- CUMMING, G. *et al.* Resilience, experimentation, and scale mismatches in social-ecological landscapes. *Landscape Ecology*, v. 28, p. 1139-1150, 2013.
- DECLERCK, F. *et al.* Agricultural ecosystems and their services: the vanguard of sustainability? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 23, p. 92-99, 2016.
- DELGADO, J. *et al.* Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 66, n. 4, p. 118-129, 2011.
- DOBROVOLSKI, R; RATTIS, L. Water collapse in Brazil: the danger of relying on what you neglect. *Natureza & Conservação*, v. 13, p. 80-83, 2015.
- DOSSKEY, M *et al.* The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 46, n. 2, 2010.
- DOVE, M. Theories of swidden agriculture, and the political economy of ignorance. *Agroforestry Systems*, v.1, n.2, p. 85-99, 1983.
- FERRAZ, S. *et al.* How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? *Landscape Ecology*, v. 29, p. 187-200, 2014.
- FIGUEIREDO, R. *et al.* Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research*, v. 115, 2010.
- FINEGAN, B. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *TREE*, v. 11, n. 3, 1996.
- FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 253-267, 2006.

- FORMAN, R; GODRON, M. Landscape Ecology. 1ª Edição. Nova York. Editora Wiley, 1986.
- FORMAN, R. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995.
- FORTESCUE, J. Environment Geochemistry: A Holistic Approach. 1ª Edição. Nova York. Editora Springer-Verlag, 1980.
- FRANÇA, D. O uso do método "sinergogia" para incorporar a participação popular no planejamento do uso da terra, 1997. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- GIOVANINI, R. Regiões em Movimento: Um olhar sobre a Geografia Histórica do Sul de Minas e da Zona da Mata Mineira (1808-1897). Tese de Mestrado – UFMG. Belo Horizonte.
- GLASER, M. *et al.* Human/Nature Interaction in the Anthropocene: Potencial of Social-Ecological Systems Analysis. *GAIA*, v. 17, n. 1, p. 77-80, 2008.
- GOLLEY, F. *et al.* Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1978.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHSTAD, M. A. M. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. 2. ed. Oxford: IBP, 1978.
- GOSS, M; BARRY, D; RUDOLPH, D. Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture: Results from drinking water wells. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 32, p. 267-293, 1998.
- GRAN, G., Determination of the Equivalent Point in Potentiometric Titration. *Acta Chemica Scandinavica*, v. 4, p. 559 – 677, 1950.
- GRANT, C; SHEPPARD, S. Fertilizer Impacts on Cadmium Availability in Agricultural Soils and Crops. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 14, p. 210-228, 2008.
- GRIEG-GRAN, M. Fiscal Incentives for Biodiversity Conservation: The ICMS Ecológico in Brazil. Environmental Economics Programme, Discussion Paper 00-01. International Institute for Environment and Development (IIED), 2000.
- GRIFFIN, K; KHAN, A; ICKOWITZ, A. Poverty and the Distribution of land. *Journal of Agrarian Change*, v. 2, n. 3, p. 279-330, 2002.
- GROPPO, J. *et al.* Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorous due to land-use changes in Brazil. *Biogeosciences*, v. 12, p. 4765-4780, 2015.

- GS SOUTO ENGENHARIA LTDA E AMBIENTE SUSTENTÁVEL ENGENHARIA LTDA. Relatório de Controle Ambiental CGH Limeira, 2011.
- HOLLING, C. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 4, p.1-23, 1973.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Protocolo para determinação de Nitrogênio Total em soluções aquosas. Nota técnica. São José dos Campos, 2013.
- INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. *Diagnóstico do Parque*, Encarte 1, 2007. Documento em PDF.
- INSTITUTO ANTÔNIO ERNESTO DE SALVO (INAES). Caracterização da Cafeicultura de Montanha de Minas Gerais. *Estudos INAES. Cadeia Produtiva: Café, Volume 1*, 2010. Belo Horizonte. Artigo em formato digital (PDF). Disponível em: <<http://www.sistemafaemg.org.br/web/files/1791326436247148171218200173247190199432722.pdf>>. Acesso em 10 out. 2017.
- INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE (IWMI). Water for Food, Water for Life. A Comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan, 2007.
- JACKSON R. *et al.* Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science*, v. 310, p. 1944-1947, 2005.
- JARVIE, H. *et al.* Role of river bed sediments as sources and sinks of phosphorous across two major eutrophic UK river basins: the Hampshire Avon and Herefordshire Wye. *Journal of Hydrology*, v. 304, p. 51-74, 2005.
- KIESECKER, J. *et al.* Development by design: blending landscape level planning with the mitigation hierarchy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 8, p. 261-266, 2009.
- KRUSCHE, A. *et al.* Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). *Water Research*, v. 36, p. 2743-2752, 2002.
- LAPOLA, D. *et al.* Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Climate Change*, v. 4, p. 27-35, 2014.
- LAWTON, O; NAIR, R; WELCH R. Climatic impact of tropical lowland deforestation on nearby montane cloud forests. *Science*, v.294, p. 584-587, 2001.



- LIKENS, G. *et al.* Effects of Forest Cutting and Herbicide Treatment on Nutrient Budgets in the Hubbard Brook Watershed-Ecosystem. *Ecological Monographs*, v. 40, n. 1, p. 23-47, 1969.
- LIN, W. *et al.* Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds. *Hydrological Processes*, v.20, p. 289-306, 2006.
- LOWRANCE, R; LEONARD, R; SHERIDAN, J. Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 40, n. 1, p. 87-91, 1985.
- LU, S. *et al.* Comparing vegetation indices for remote chlorophyll measurement of white poplar and Chinese elm leaves with different adaxial and abaxial surfaces. *Journal of Experimental Botany*, v.66, n. 18, p. 5625- 5637, 2015.
- MADRI-LÓPEZ, C; Giampietro, M. The Water Metabolism of Social-Ecological Systems: Reflections and a Conceptual Framework. *Journal of Industrial Ecology*, v. 19, n. 5, 2015.
- MARDSSEN, T. Reestructuring Rurality: from order to disorder in agrarian political economy. *Sociologia Ruralis*, v. 29, n. 3/4, p. 312-317, 1989.
- MARK, D. Relations Between Field-surveyed Channel Networks and Map-based Geomorphometric Measures, Inez, Kentucky. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 73, n. 3, p 358-372, 1983.
- MARKEWITZ, D. *et al.* Control of cation concentration in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, v. 410, p. 802-805, 2001.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J; SÁNCHEZ-BOSCH, I. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedè-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil and Tillage Research*, v. 57, p. 101-106, 2000.
- MAKARIEVA, A; GORSHKOV, V. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.11, p. 1013-1033, 2007.
- MARENGO, J; SOARES, W. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, 2004.
- MARENGO, J; ALVES, L. Tendências da Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.
- MARENGO, J. *et al.* Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

- MORAIS, F. Infiltração: Uma variável geomorfológica. *Caderno de Geografia*, v. 22, n. 38, 2012.
- MARTIN, P; NEWTON, A; BULLOCK, J. Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests. *Proceedings of the Royal Society*, v. 280, 2014. DOI: 10.1098/rspb.2014.0303.
- MARTINELLI, G. Mountain Biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, n. 4, p. 587-597, 2007.
- MASON, B. Princípios de Geoquímica. 1ª Edição. São Paulo. Editora Polígono, 1971.
- MEIR, P. *et al.* The Effects of Drought on Amazonian Rain Forests. *Geophysical Monograph Series*, v. 186, p. 429-449, 2009.
- METZGER, M. *et al.* The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v. 114, p. 69-85, 2006.
- METZGER, M. *et al.* Brazilian Law: Full Speed in Reverse? *Science*, v. 329, p. 276-277, 2010.
- MORAIS, F. Infiltração – Uma variável geomorfológica. *Caderno de Geografia*, v. 22, n. 38, p. 73-87, 2012.
- MUCHIMUTI, M. Proposta para a Proteção dos Recursos Hídricos na APAs de Rosário da Limeira, MG. American University. Washington D.C. *No prelo*, 2014.
- NAIMAN, R; TURNER, M. A Future Perspective on North America's Freshwater Ecosystems. *Ecological Applications*, v. 10, p.958-970, 2000.
- NOBRE, A. The Future Climate of Amazonia. Scientific Assesment Report. 1ª Edição. São José dos Campos. Editado por ARA, CCST-INPE e INPA, 42 p., 2014.
- NOSRATI, K; GOVERS, G; SMOLDERS, E. Dissolved organic carbon concentrations and fluxes correlate with land use and catchment characteristics in a semi-arid drainage basin of Iran. *Catena*, v. 95, p 177-183, 212.
- ODUM, E. Fundamentos de Ecologia. 4ª Edição. Lisboa. Fundação Calouste Gulbekian, 1971
- ODUM, E. Ecologia. 3ª Edição. São Paulo. Editora Pioneira, 1977.
- ODUM, E; TURNER, M. The Georgia Landscape: A Changing Resource. In: ZONNEVELD, I; FORMAN, R. Changing Landscapes: An Ecological Perspective. 1ª Edição. Nova York. Editora Springer, 1990. Capítulo 9, p. 137-164.
- OLSSON, P; FOLKE, C. Adaptive Comanagement for Building Resilience in Social-Ecological Systems. *Environmental Management*, v. 34, n. 1, p. 75-90, 2004.

- OVALLE, A. *et al.* Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeaster Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 481, p. 191-203, 2013.
- PALMER, M. *et al.* Ecology for a crowded planet. *Science Magazine*, v. 304, 2004.
- PIMENTEL *et al.* Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, v. 265, n. 5201, p. 117-1123, 1995.
- POLLINI, J. Agroforestry and the search for alternatives to slash-and-burn cultivation: From technological optimism to a political economy of deforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 133, p. 48-60, 2009.
- PORTO, R. Fundamentos para a Gestão da Água. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo. CDG - Casa de Soluções e Editora, 2012.
- POSTEL, S; THOMPSON, B. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, v. 29, p. 98-108, 2005.
- RANDOLPH, J. Environmental Land Use Planning and Management. Washington: Island Press, 2004.
- RATSEP, R. *et al.* Agricultural Impacts in the Northern Temperate Zone. In: MOLDAN, B; CERNEY, J. (Eds) *Biogeochemistry of small catchmentes: a tool for research*. New Jersey: Wiley & Sons Inc, 1994, p. 361-382.
- RICHEY, J. *et al.* Biogeochemistry of Carbon in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990.
- RING, I. Integrating local ecological services into intergovernmental fiscal transfers: The case of the ecological ICMS in Brazil. *Land Use Policy*, v. 25, p. 485-497, 2008.
- ROBERTS, T. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. *Procedia Engineering*, v. 83, p. 52-59, 2014.
- SALATI, E; LOVEJOY, T e VOSE, P. Precipitation and Water Recycling in Tropical Rain Forests with Special Reference to the Amazon Basin. *The Environmentalist*, v. 3, n. 1, p. 67-72, 1983.
- SALATI, E; NOBRE, C. Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation. *Climatic Change*, v. 19, p. 177-196, 1991.
- SALEMI, L. *et al.* Consequências hidrológicas da mudança de uso da terra de floresta para pastagem na região da floresta tropical pluvial atlântica. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, 2012.
- SALEMI, L. *et al.* Riparian vegetation and water yield: a synthesis. *Journal of Hydrology*, v. 454-455, p. 195-202, 2012.

- SALEMI, L. et al. Land-use change in the Atlantic rainforest region: consequences for the hydrology of small catchments. *Journal of Hydrology*, v. 499, p. 100-109, 2013.
- SCHNEIDER, S. A pluralidade como estratégia de reprodução social da agricultura familiar no Sul do Brasil. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 16, p. 164-184, 2001.
- SCHNEIDER, S. Teoria Social, Agricultura Familiar e Pluriatividade. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v. 18, n. 51, p. 99-121, 2003.
- SCHONLEITNER, G. Discussing Brazil's agrarian question: land reform is dead, long live family farming? A critical review of recent trends in policy and debate. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 10, p. 57-93, 1998.
- SHEIL, T; MURDIYARSO, D. How forests attract Rain: An Examination of a New Hypothesis. *BioScience*, v. 59, n. 4, p. 341-347, 2009.
- SILVA, D. et al. Influences of land use changes on water chemistry in streams in the State of São Paulo, southeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, V. 84, p. 919-930, 2012
- SILVA, M; SCHULZ, P.; CAMARGO, P. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. Editora RIMA, São Carlos, 2007
- SOARES-FILHO, B. Análise de paisagem: Fragmentação e mudanças. Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto – Instituto de Geociências, UFMG, 1998. Arquivo em formato PDF. Disponível em: <[http://csr.ufmg.br/dinamica\\_utils/download/files/publications/apostila.pdf](http://csr.ufmg.br/dinamica_utils/download/files/publications/apostila.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2017.
- SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, v. 244, p. 263-264, 2014.
- SOARES-FILHO, B. et al. Supplementary Materials for: Cracking Brazil's Forest Code. 2014. Arquivo em PDF. Disponível em: [www.sciencemag.org/content/344/6182/363/DCI](http://www.sciencemag.org/content/344/6182/363/DCI)>. Acesso em 6 nov, 2017.
- SPAROVEK, G. et al. The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation. *Environmental Science and Policy*, v. 16, p. 65-72, 2012.
- STANLEY, E. et al. Contemporary changes in dissolved organic carbon (DOC) in human-dominated rivers: is there a role for DOC management? *Freshwater Biology*, v. 57, p. 26-42, 2011.

- SWIFT, M; IZAC, A; NOORDWIDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 104, p. 113-134, 2004.
- TANSLEY, A. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecological Society of America*, v. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.
- TARBOTON, D; BRAS, R; RODRIGUEZ-ITURBE, I. A physical basis for drainage density. *Geomorphology*, v. 5, p. 59-76, 1992.
- TEIXEIRA, J. Modernização da agricultura no Brasil: Impactos econômicos, sociais e ambientais. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, v. 2. n. 2, p. 21-42, 2005.
- THORNBURY, W. Principles of Geomorphology. 2º Edition. Tokyo, Japan. John Wiley & Sons, 1969.
- TOWNSEND, C; BEGON, M; HARPER, J. Fundamentos em Ecologia. 2ª Edição. São Paulo. Editora Artmed, 2006.
- TRUDGILL, S. Classics in physical geography revisited: The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Progress in Physical Geography*, v.31, n.5, p. 517-522, 2007.
- TURNBULL, J. Eucalypt Plantations. *New Forests*, v. 17, p. 37-52, 1999.
- TURNER, M. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology and Systematic*, v. 20, p. 171-197, 1989.
- TURNER, M. Species Loss in Fragments of Tropical Rain Forest: A Review of the Evidence. *Journal of Applied Ecology*, v. 33, n. 2, p. 200-209, 1996.
- TURNER, M. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, v. 91, n. 10, p. 2833-2849, 2010.
- UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). Environmental Impacts of Animal Feeding Operations. Standards and Applied Science Division. Office of Water, 1998.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Springs of Florida. U. S. Geological Survey Fact Sheet, n. 151, 1995.
- VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. As nascentes e os rios. *Revista Ação Ambiental*, v. 6, n. 24, pp. 11-1, 2003.
- VALENTE, O; GOMES, E. Conservação de Nascentes: hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas de Cabeceiras. Editora Aprenda Fácil, Viçosa, 2005.

- VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 20, n. 1, p. 3-82, 1958.
- VELOSO, H. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.
- VILLELA, D. *et al.* Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. *Brazilian Journal of Biology*. V. 72, n. 3, p. 633-642, 2012.
- VIRAPONGSE, A; BROOKS, S; METCALF, E; *et al.* A social-ecological systems approach for environmental management. *Journal of Environmental Management*, v. 178, p. 83-91, 2016.
- VOUGHT, L. *et al.* Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, v. 31, p. 323-331, 1995.
- WANG, X. *et al.* Estimating non-point source pollutant loads for the large-scale basin of the Yangtze River in China. *Environmental Earth Sciences*, v. 63, p. 1079-1092, 2011.
- WATSON, K. Deforestation, Coffee Cultivation, and Land Degradation: The Challenge of Developing a Sustainable Land Management Strategy in Brazil's Mata Atlântica Rainforest, 2001. Tese de Mestrado - Universidade de Lunds. Suécia.
- WEBB, T. *et al.* Forest cover-rainfall relationship in a biodiversity hotspot: The Atlantic Forest of Brazil. *Ecological Applications*, v.15, n. 6, p. 1968-1983, 2005.
- WESTLEY, C. Governing design: The management of social systems and ecosystem management. In: GUNDERSON, L; HOLLING, C; LIGHT, S. Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions. Nova York. Columbia University Press, 1995, p. 391-427.
- WORLD BANK GROUP. Turn down the heat: climate extremes, regional impacts, and the case for resilience. Report No: 78428. 2013.
- WORLD BANK GROUP (WBG). Retaking the Path to Inclusion, Growth and Sustainability: Brazil Systematic Country Diagnostic. Report No: 101431BR. 2016
- WU, C *et al.* Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agriculture and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1230- 1241, 2008.
- WU, J; HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology* , v. 17, p. 355-365, 2002.
- WORLD WATER ASSESMENT PROGRAMME. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report (WWDR4), No 4. 2012.

## ANEXOS

### I - QUESTIONÁRIO PARA PESQUINA NA BACIA DO RIO FUMAÇA, EM BELISÁRIO – MURIAÉ - MG

#### Parte 1 - Questões demográficas ou socioeconômicas

- 1- Número do Questionário: \_\_\_\_\_ Latitude:  
2- Gênero: Masculino ( ) Feminino ( ) Longitude:  
3- Idade \_\_\_\_\_  
4- Escolaridade:

Não estudou ( )  
Fundamental incompleto ( ) Fundamental completo ( )  
Médio incompleto ( ) Médio completo ( )  
Superior incompleto ( ) Superior completo ( )  
Pós-graduação incompleta ( ) Pós-graduação completa ( )

5- Estado civil:

Solteiro ( ) Casado ( ) Divorciado ( )  
Viúvo ( ) União estável ( )

6- Número de pessoas na residência: \_\_\_\_\_ pessoas.

7- Renda familiar mensal média:

Não possui renda ( ) Até R\$2000,00 ( ) Até R\$4000,00 ( )  
Até R\$1000,00 ( ) Até R\$3000,00 ( ) Até R\$5000,00 ( )  
Maior que R\$5000,00 ( )

8- Local de residência:

Propriedade rural estudada ( ) Área urbana ( ) Outra propriedade rural ( )

9- Há quanto tempo mora na residência atual? \_\_\_\_\_ anos

10- Qual o tamanho da propriedade rural? (hectares) \_\_\_\_\_

11- Há quanto tempo possui a propriedade (estudada)? \_\_\_\_\_ anos

12- Quais culturas estão presentes na propriedade?

Café ( ) Hortaliças ( ) Eucalipto ( ) Milho ( )  
Pastagem ( ) Banana ( ) Feijão ( ) Árvores frutíferas ( )  
Outras ( ) \_\_\_\_\_

13- A família possui outra fonte de renda além da propriedade rural?

Sim ( ) Não ( )

14- Quais são as outras fontes de renda da familiar?

Não possui outras fontes de renda( )

Aposentadoria ou pensão ( )

Trabalho em outras propriedades ( )

Artesanato ( )

Emprego na área urbana ( )

Confecção ( )

Outros ( ) \_\_\_\_\_

15- Há quanto tempo possui outras fontes de renda? \_\_\_\_\_

16- A propriedade contribui com que porcentagem da renda familiar mensal?

Menos que 50% ( )

Aproximadamente 50% ( )

Mais que 50% ( )

## Parte 2 - Questões vinculadas ao objetivo de pesquisa

17- A) Em sua opinião, a criação do Parque Estadual Serra do Brigadeiro foi positiva para a região? Sim ( ) Não ( )

B) Por quê?

\_\_\_\_\_

18- A) Você acredita que a criação do PESB contribuiu positivamente para os recursos hídricos de sua propriedade rural? Sim ( ) Não ( )

B) Por quê?

\_\_\_\_\_

19- A) A criação do PESB, e a conseqüente demarcação de Áreas de Proteção Ambiental em sua área de entorno, trouxeram benefícios às comunidades vizinhas ao parque? Sim ( ) Não ( )

B) Por quê?

\_\_\_\_\_

20- A) A criação do PESB trouxe uma circulação maior de animais silvestres em sua propriedade rural? Sim ( ) Não ( )

B) Caso a resposta seja positiva, quais são os animais observados?

\_\_\_\_\_

21- Qual é a principal fonte de água da propriedade?

Nascente ( )

Poço ( )

Córrego ( )

Barragem ( )

Não há mais fontes de água ( )

Outro ( ) \_\_\_\_\_

22- Há quanto tempo essa é a principal fonte de água da propriedade? \_\_\_\_ anos

23- Utilizava anteriormente outra fonte de água? Sim ( )

Não ( )

24- Em caso positivo, qual fonte utilizava?

Nascente ( )

Poço ( )

Outro ( ) \_\_\_\_\_

Córrego ( )

Barragem ( )

Nunca houve outra( )



25- Realizou algum investimento em captação de água, nos últimos 5 anos?

Sim ( ) Não ( )

26- Assinale os investimentos realizados:

Não realizou investimentos em captação de água ( )

Estruturas fixas na nascente, tais como manilhas e caixas de captação ( )

Caixa d'água ( )

Bomba ou Carneiro Hidráulico ( )

Canos/mangueiras e tubulações ( )

Construção de barragem ( )

Abertura de poço ( )

Outros ( ) \_\_\_\_\_

27- Qual foi o motivo dos investimentos?

\_\_\_\_\_

28- Possui filiação ao Sindicato de Trabalhadores Rurais? Sim ( ) Não ( )

29- Possui filiação à alguma agência ou cooperativa de crédito rural?

Sim ( ) Não ( ) Se sim, quais? \_\_\_\_\_

30- Já recorreu a alguma forma de crédito externo, seja ela formal ou informal, para realizar investimentos ou melhorias na propriedade?

Sim ( ) Não ( )

31- Qual a forma de crédito acessada? \_\_\_\_\_

32- Há quantas nascentes na propriedade? \_\_\_\_\_

33- Alguma nascente secou nos últimos anos? Sim ( ) Não ( )

34- Quantas nascentes secaram? \_\_\_\_\_

35- Quando secou a primeira nascente? \_\_\_\_\_ (ano)

36- As nascentes estão cercadas? Sim ( ) Não ( ) Nem todas ( )

37- Todas as nascentes que abastecem casas estão cercadas? Sim ( ) Não ( )

38- Há quanto tempo foram feitas as primeiras cercas? \_\_\_\_\_ anos

39- Qual o raio de proteção da nascente principal? \_\_\_\_\_ metros

40- As nascentes possuem mata ciliar? Sim ( ) Não ( )

41- Passa córrego ou rio na propriedade? Sim ( ) Não ( )

42- Tem mata na propriedade? Sim ( ) Não ( )

43- Qual o tamanho da área com mata na propriedade? \_\_\_\_\_ (hectares)

44- Possui poço semi-artesiano na propriedade? Sim ( ) Não ( )

45- Quando perfurou o poço? \_\_\_\_\_ ano

46- Possui curvas de nível na propriedade? Sim ( ) Não ( )

47- Se sim, há quanto tempo as possui? \_\_\_\_\_ anos

48- Possui caixas-secas, barragens ou outras estruturas para retenção e/ou armazenamento de água na propriedade? Sim ( ) Não ( )

49- Há quanto tempo construiu a estrutura mais recente? \_\_\_\_\_ anos

50- Qual o destino do esgoto doméstico na propriedade rural?

Córrego ( )

Biodigestor ( )

Fossa negra ( )

Ar livre/Bananeiras/Criações ( )

Fossa séptica com vedação/ecológica ( )

Não há residência ( )

51- Já perdeu algum cultivo por causa da seca? Sim ( ) Não ( )

52- Quais os cultivos perdidos? \_\_\_\_\_

53- Quando perdeu o primeiro cultivo? \_\_\_\_\_ano

54- Utiliza irrigação na propriedade? Sim ( ) Não ( )

55- Assinale em que culturas utiliza irrigação:

Não utiliza irrigação ( )	Café ( )	Hortaliças ( )	
Eucalipto ( )	Milho ( )	Pastagem ( )	Banana ( )
Árvores frutíferas ( )	Outras ( ) _____		

56- Há quanto tempo utiliza irrigação na propriedade? \_\_\_\_\_anos

57- Qual a fonte de água para irrigação?

Nascente ( )	Poço ( )	Outra ( ) _____
Córrego ( )	Barragem ( )	

58- Qual o tipo de irrigação empregada?

Aspersão ( )	Microaspersão ( )	Gotejo ( )
--------------	-------------------	------------

59- Aumentou a área destinada a alguma cultura por conta da seca?

Sim ( ) Não ( )

60- Caso tenha aumentado, assinale quais culturas tiveram a área aumentada:

Não houve aumento ( )	Café ( )	Hortaliças ( )
Eucalipto ( )	Milho ( )	Pastagem ( )
Banana ( )	Árvores frutíferas ( )	Outras ( ) _____

61- Reduziu a área destinada a alguma cultura por conta da seca?

Sim ( ) Não ( )

62- Assinale as culturas que tiveram a área reduzida:

Não houve redução ( )	Café ( )	Hortaliças ( )
Eucalipto ( )	Milho ( )	Pastagem ( )
Banana ( )	Árvores frutíferas ( )	Outras ( ) _____

63- Utiliza fertilizante químico na propriedade? Sim ( ) Não ( )  
Em caso positivo, qual fertilizante utiliza? \_\_\_\_\_

64- A mata ciliar, representada pela floresta ao redor de nascentes, córregos e demais cursos d'água, é responsável por diversos serviços ambientais. Dentre os benefícios proporcionados ao meio ambiente por esta vegetação, possuem destaque o controle à erosão nas margens dos rios e córregos; a redução dos efeitos de enchentes; a manutenção da qualidade das águas, a filtragem de resíduos de produtos químicos como agrotóxicos e fertilizantes, além de servir de habitat para diferentes espécies animais, o que contribui para a manutenção da biodiversidade local.

Utilizando uma escala de 1 a 4, onde 1 = Não concordo e 4 = Concordo totalmente. O quanto você concorda com as afirmações anteriores?

Não concordo			Concordo totalmente
1	2	3	4

65- A) Você participa ou já participou de alguma iniciativa de recuperação de nascentes, tais como reflorestamento e/ou proteção de nascentes?

Sim ( ) Não ( )

66- Caso a resposta seja positiva, em que ano fez ou começou a fazer parte da iniciativa? \_\_\_\_\_

67- Acredita que a presença de florestas nos topos de morro possa contribuir positivamente para a quantidade de água na propriedade?

Sim ( ) Não ( )

68- Acredita que a presença de florestas ao redor de cursos d'água possa contribuir positivamente para a quantidade de água na propriedade?

Sim ( ) Não ( )

69- Acredita que a presença de florestas ao redor de cursos d'água possa contribuir positivamente para a qualidade da água na propriedade?

Sim ( ) Não ( )

70- Possui interesse em reflorestar parte da propriedade? Lembre-se que qualquer área cedida a um projeto de reflorestamento não poderá mais ser utilizada para lavoura, pastagem, moradia ou qualquer outra atividade que coloque em risco sua recuperação.

Sim ( ) Não ( )

71- Por quê? Justifique a resposta anterior

72- Qual o tamanho da área que estaria disposto (a) a ceder para a recuperação?  
\_\_\_\_\_ hectares

73- De que forma você estaria disposto a contribuir para a recuperação da área?

Dias de trabalho ( ) Adubação/Formicida ( ) Dinheiro ( )  
Nenhuma das alternativas anteriores ( ) Outra ( ) \_\_\_\_\_

## II - Roteiro para entrevistas semi-estruturadas

Nome do (a) entrevistado (a): \_\_\_\_\_

### 1. Produção de carvão

Quando teve início a exploração das matas para produção de carvão?

Havia mais mata naquele tempo do que hoje?

Em que lugares ainda havia mata?

Que locais foram explorados?

Para onde ia o carvão?

Quando acabou a exploração? Por quê?

### 2. Madeiras

Quando chegaram as madeiras?

Que lugares foram explorados?

Até quando operaram?

### 3. Agroquímicos

Quando chegaram os agrotóxicos?

Quando chegaram os fertilizantes?

Como chegaram?

Quando o uso de agrotóxicos e fertilizantes se tornou uma prática comum?

### 4. Eucalipto

Quando o eucalipto chegou a Belisário?

Como o eucalipto se tornou comum na paisagem? Quando?

### 5. Explosão da cachoeira

Quando a cachoeira foi dinamitada?

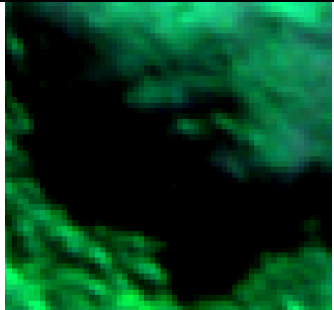

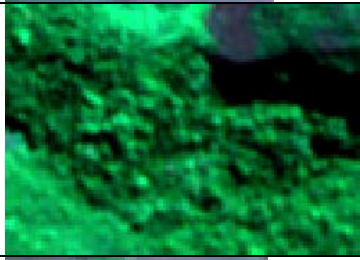


Por que a cachoeira foi dinamitada?


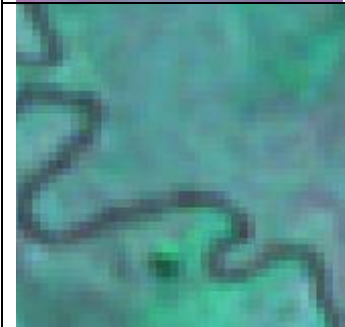

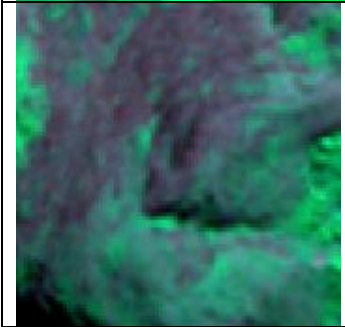
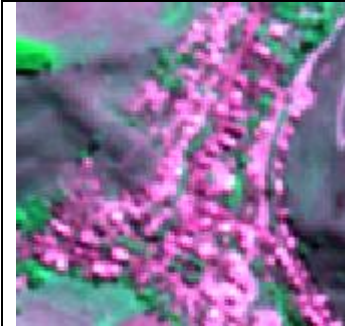
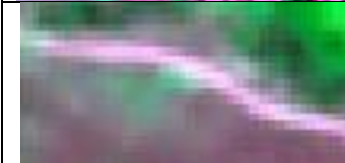
### 6. Drenagem das várzeas

Quando as várzeas foram drenadas? Quem financiava?

Qual a motivação por parte dos produtores rurais?

### III - Chave de classificação

IMAGEM RAPIDEYE RGB 4/5/3	Descrição
	Área de sombra: cor preta.
	Área de água: cor roxa.
	Área de mata nativas: cores verdes pontilhadas.
	Monocultura de árvores: cor verde clara homogênea, geralmente com sobra nas bordas.
	Lavoura de café: cor verde clara atravessada por linhas cinzas.

		Pastagem: cor rosa.
		Várzea: áreas de cor esverdeada entremeadas por pontos cinzas ao longo de córregos e rios.
		Capoeira/regeneração: cor verde clara brilhante)
		Rocha: cor roxa escuro-acinzentada.
		Área urbana: cor rosa composta por padrões retangulares e linhas.
		Solo exposto: cor rosa clara, tendendo para o branco.

#### IV - Tabela de avistamentos

<b>Animal avistado</b>	<b>Nº de avistamentos</b>
Lobo Guará	42
Gamb	17
Tatu	14
Gato do mato	12
Cachorro do mato	10
Pássaros	10
Jacu	9
Sau	8
Ourio	8
Tucano	7
Capivara	6
Paca	6
Coati	5
Irara	4
Mão pelada	3
Jaguatirica	3
Catitu	2
Gato maracajá	2
Gato mourisco	2
Macaco prego	2
Lontra	2
Pre	2
Preguiça	2
Tamanduá	2
Araponga	1
Bugio	1
Codorna	1
Cuca	1
Furo	1
Jararaca	1
Marreco	1
Maritaca	1
Muriqui do norte	1
Sagui	1
Saracura	1
Siriema	1
Suuarana	1
Tapiti	1
Tei	1
Ti sangue	1
Veado	1
<b>Total</b>	<b>197</b>

