

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CONEXÃO FLORESTAL EM ÁREAS MAIS FAVORÁVEIS À  
INFILTRAÇÃO NA APA BOTUCATU – SP**

**PAULA ODDONE SOUZA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCAU – SP

Agosto - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CONEXÃO FLORESTAL EM ÁREAS MAIS FAVORÁVEIS À  
INFILTRAÇÃO NA APA BOTUCATU – SP**

**PAULA ODDONE SOUZA**

**ORIENTADORA: PROF. DR. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCAU – SP

Agosto - 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO- BOTUCATU (SP)

S725c Souza, Paula Oddone, 1987-  
Conexão florestal em áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu-SP / Paula Oddone Souza. - Botucatu : [s.n.], 2014  
x, 85 f. : ils. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014  
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback  
Inclui bibliografia

1. Recursos naturais - Conservação. 2. Infiltração. 3. Geoprocessamento. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CONEXÃO FLORESTAL EM ÁREAS MAIS FAVORÁVEIS À INFILTRAÇÃO  
NA APA BOTUCATU-SP"

ALUNA: PAULA ODDONE SOUZA

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDSON LUIS PIROLI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. LUÍS GUSTAVO FREDIANI LESSA

Data da Realização: 15 de agosto de 2014.

Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arriscar e humilde o bastante para aprender.”

Clarice Lispector

Dedico

Aos meus pais, Miriam e Moacyr.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Célia Zimback pela orientação e confiança no nosso trabalho, às palavras amigas e incentivos nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu pai, Moacyr e à Márcia, que sempre apoiaram incondicionalmente minhas decisões, me escutaram e aconselharam sempre que necessário.

Aos amigos e colegas do GEPAG, que tornaram este trabalho mais doce, em meio às conversas e risadas no laboratório, aos ouvidos pacientes e conselhos precisos. Agradeço também àqueles que, pacientemente, me ensinaram, auxiliaram ao longo deste trabalho sempre que precisei, em especial, à Ana Paula Barbosa, Donizeti Nicolete e Fábio Nossack por todo apoio técnico.

À todos os amigos que a pós graduação me trouxe e que levo de presente para o resto da vida. Indiamara Marasca, Ana Paula Barbosa e Bruna Soldera, muito obrigada pelo ombro amigo, risadas e conversas sem fim.

Às amigas de mais longa data, que fizeram da vida em Botucatu a experiência mais emocionante e divertida que já vivi, de onde tirei importantes aprendizados que sempre levarei comigo. Em especial, às amigas da República Micasa, Panhoca, Budega e à Potoka, pela paciência na fase final e mais crítica dessa dissertação. Muito obrigada!

Obrigada aos professores Silvio Frosini de Barros Ferraz e Milton Cesar Ribeiro pelo apoio. A contribuição de vocês foi muito importante para esta pesquisa.

Quero agradecer o apoio inicial da CAPES e finalmente à FAPESP (2013/03327-0) pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos docentes do programa de Agronomia – Irrigação e Drenagem pela oportunidade de desenvolver minha pesquisa e, assim, obter o título de mestre.

Sou sinceramente grata.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1 Recursos Hídricos.....	8
2.2 Águas Subterrâneas .....	10
2.3 Exploração da Água Subterrânea no Brasil e no Mundo.....	12
2.3 Cobertura e Conservação dos Recursos Hídricos.....	15
2.4 Conexão da Paisagem.....	18
2.5 Áreas de Proteção Ambiental (APAs).....	21
2.6 Sensoriamento Remoto e Análise da Paisagem.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Descrição da Área de Estudo.....	25
3.1.1 Geologia .....	26
3.1.2 Relevo.....	28
3.1.3 Vegetação .....	29
3.1.4 Clima .....	29
3.1.5 Hidrografia .....	29
3.2. Elaboração da Base de Dados.....	29
3.2.1 Dados Cartográficos .....	29
3.2.2 Dados Orbitais .....	30
3.3 Métodos .....	31
3.3.1 Análise Multicritério (AMC).....	31
3.3.1.1 Combinação Linear Ponderada.....	32
3.3.2 Obtenção dos Critérios da AMC .....	34
3.3.2.1 Geologia .....	34
3.3.2.2 Pedologia .....	35
3.3.2.3 Declividade.....	36



3.3.2.4	Formas do Relevo.....	37
3.3.2.5	Uso da terra .....	41
3.4	Análise da Importância dos Fragmentos para Conectividade da Paisagem .....	42
3.5	Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
5.1	Critérios da Análise Multicritério.....	46
5.1.1	Geologia .....	46
5.1.2	Pedologia .....	49
5.1.3	Declividade.....	50
5.1.5	Uso da terra.....	54
5.2	Zonas Favoráveis à Infiltração .....	57
5.3	Fragmentos Prioritários para Conexão da Paisagem .....	67
5.4	Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem.....	70
5.5	Considerações Finais .....	73
6	CONCLUSÃO.....	75
7	REFERÊNCIAS .....	77

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Demandas pelo uso consultivo de água no Brasil.....	14
Figura 2. Representação dos componentes e processo da regulação do fluxo hidrológico.....	17
Figura 3. Localização da APA Botucatu. ....	26
Figura 4. Estratificação Geológica da Região da Cuesta Botucatu. ....	27
Figura 5. Escala contínua de nove pontos (aij) para o estabelecimento da importância de cada critério.. ....	33
Figura 6. Representação da relação entre declividade e infiltração e escoamento.....	36
Figura 7. Descrição dos tipos de curvatura horizontal e vertical do terreno. ....	38
Figura 8. Exemplos de fluxos em uma vertente .....	39
Figura 9. Combinações entre tipos de curvatura. ....	40
Figura 10. Formações geológicas de ocorrência na APA Botucatu. ....	47
Figura 11. Padronização da capacidade de infiltração do mapa geológico em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes. ....	48
Figura 12. Unidades pedológicas da APA Botucatu. ....	49
Figura 13. Padronização da capacidade de infiltração dos solos presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes. ....	50
Figura 14. Classes de declive em porcentagem presentes na APA Botucatu.....	51
Figura 15. Padronização da capacidade de infiltração das classes de declive da APA Botucatu em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes. ....	52
Figura 16. Formas do relevo (curvaturas vertical e horizontal) encontradas na APA Botucatu. ....	53
Figura 17. Padronização da capacidade de infiltração das formas do relevo presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.....	54
Figura 18. Classes de Uso da APA Botucatu. ....	55
Figura 19. Padronização da capacidade de infiltração das classes de uso presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.....	57
Figura 20. Mapa de áreas favoráveis à infiltração na APA Botucatu em escala de 0 a 1, com valores crescentes de importância.....	59
Figura 21. Áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu.....	62
Figura 22. Mapa da importância dos habitat remanescentes para a conexão da paisagem na APA Botucatu em ordem crescente de importância de 0 a 1.....	68
Figura 23. Fragmentos prioritários em ordem de importância para conectividade da paisagem na APA Botucatu. ....	69
Figura 24. Mapa das Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem da APA Botucatu.....	72

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Condutividade hidráulica de alguns materiais porosos e rochas. ....	11
Tabela 2. Articulação das cartas do IBGE compreendidas pela APA Botucatu .....	30
Tabela 3. Classificação da capacidade de infiltração das formações geológicas presentes na APA Botucatu .....	34
Tabela 4. Classificação da capacidade de infiltração dos solos presentes na APA Botucatu.....	35
Tabela 5. Classificação da condutividade hidráulica das classes de solos .....	35
Tabela 6. Classificação da capacidade de infiltração das classes de declividade presentes na APA Botucatu. ....	37
Tabela 7. Classificação da capacidade de infiltração de acordo com geomorfologia da APA Botucatu .....	40
Tabela 8. Classificação da capacidade de infiltração dos diferentes usos do território da APA Botucatu.....	41
Tabela 9. Área ocupada pelas formações geológicas na APA Botucatu e suas respectivas porcentagens.....	47
Tabela 10. Área ocupada pelas classes de solos presentes na APA Botucatu e suas respectivas porcentagens.....	49
Tabela 11. Área ocupada pelas classes de uso e suas respectivas porcentagens na APA Botucatu. ....	55
Tabela 12. Pesos dos critérios estabelecidos para discriminação das áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu.....	58
Tabela 13. Área ocupada pelas classes de uso e suas respectivas porcentagens nas AMFI da APA Botucatu.....	63
Tabela 14. Capacidade de Infiltração dos solos presentes nas AMFI da APA Botucatu.....	64
Tabela 15. Área ocupada pelas classes de declividade nas AMFI da APA Botucatu.....	65
Tabela 16. Área ocupada pelas diferentes capacidades de infiltração das rochas presentes nas AMFI da APA Botucatu. ....	65
Tabela 17. Área ocupada pelas formas do terreno (curvaturas vertical e horizontal) nas AMFI da APA Botucatu.....	66

## **RESUMO**

A substituição de paisagens naturais por culturas agrícolas tem comprometido a quantidade e qualidade de habitat de diversas espécies, por meio da fragmentação dos maciços florestais e sua conexão é essencial para manter o fluxo gênico entre as populações e, conseqüentemente, a segurança das espécies. As unidades de conservação (UC) foram constituídas com o objetivo de preservar as áreas relevantes para conservação da biodiversidade e dos recursos naturais. A APA Botucatu trata-se de uma UC de uso sustentável, cuja consolidação data de 1983 e possui importantes atributos naturais como as Cuestas Basálticas, as áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani, importante manancial de água subterrânea, além dos remanescentes de vegetação nativa e a fauna local. Contudo, seu plano de manejo não se encontra em vigência, podendo comprometer a preservação dos recursos naturais e da biodiversidade. Desse modo, este trabalho estabeleceu áreas prioritárias para conexão florestal entre os fragmentos mais importantes para a conectividade da paisagem da APA Botucatu, priorizando áreas mais favoráveis à infiltração, por meio de técnicas de Geoprocessamento. As áreas mais favoráveis à infiltração e percolação para abastecimento do lençol freático foram delimitadas por meio de cinco fatores para compor a Combinação Linear Ponderada e são eles: geologia, pedologia, declividade, formas do terreno e uso do solo. As áreas resultantes foram então sobrepostas aos fragmentos prioritários para a conectividade da

paisagem, obtidos por meio o Índice Integral da Conectividade, resultando então o mapa com as áreas prioritárias para conexão da paisagem. Observou-se que a escolha do método é viável para o estabelecimento de áreas prioritárias para a conexão florestal em áreas que favorecem a infiltração e os cinco fatores adotados para a CLP foram importantes para delimitar as áreas mais favoráveis à infiltração e abastecimento do lençol freático. As informações geradas com este estudo permitirão aos tomadores de decisão subsidiar ações de estabelecimento de corredores ecológicos e restauração de fragmentos, tanto em escala local como para toda APA Botucatu.

---

Palavras-chave: Produção de Água, Combinação Linear Ponderada, Índice Integral da Conectividade, Conexão da Paisagem.

PRIORITY AREAS FOR FOREST CONNECTION ON MORE FAVORABLE AREAS TO INFILTRATION IN EPA BOTUCATU - SP, 2014. 85p. Dissertação (Mestrado Em Agronomia/Irrigação E Drenagem) - Faculdade De Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PAULA ODDONE SOUZA

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

## **SUMMARY**

The replacement of natural landscapes for agricultural crops has compromised the quantity and quality of habitat among species due fragmentation of forest regions. The connection of these patches is essential to maintain genetic flow between populations and consequently the security of the species. Preservation Areas (PA) were established with the objective of preserving the relevant areas for conservation of biodiversity and natural resources. The Environmental Protection Area Botucatu belongs to sustainable use category of PA, which was consolidated in 1983 and has significant natural attributes such as the Basaltic Cuesta, recharge areas of the Guarani Aquifer System, an important source of groundwater, in addition to remaining native vegetation and the local wildlife. However, its management plan is not in effect, compromising the preservation of natural resources and biodiversity. Therefore, this paper established priority areas for forest connection between the most important patches for landscape connectivity located EPA Botucatu, prioritizing areas more favorable to infiltration using geoprocessing techniques. The most favorable to infiltration and percolation to groundwater supply areas were obtained from five factors to compose the Weighted Linear Combination (WLC), which were: geology, type of soil, slope, geomorphology, land use. Those areas areas were then overlaid by the priority areas for landscape connectivity, obtained through the Integral Index of Connectivity, resulting on the map with the priority areas for connection of landscape fragments. It was observed that the choice of method is feasible to establishment of priority areas for forest connection in areas that promote infiltration and the five factors adopted for the WLC were important to delimit the most favorable to infiltration and groundwater supply areas. The information generated from this study will enable decision makers subsidize the establishment of ecological corridors and restoration of fragments, both on a local scale as to all EPA Botucatu.

---

Keywords: Water Yield, Weighted Linear Combination, Integral Index of Connectivity, Landscape Connection.

## **1 INTRODUÇÃO**

O recurso hídrico é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem, intermediando os fenômenos da atmosfera e litosfera, interferindo diretamente na fauna e flora terrestre. Entretanto, este bem comum universal e essencial à vida está cada vez mais comprometido. Assim, ações de recuperação e conservação dos recursos hídricos são cada vez mais necessárias para a segurança da vida na Terra.

A utilização e descarte inadequados dos recursos hídricos superficiais pelo homem levaram à escassez e contaminação de incontáveis mananciais de abastecimento, desse modo, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos tem sido cada vez mais indispensável para o abastecimento e desenvolvimento humano.

Uma vez que alterações na ocupação territorial interferem diretamente no balanço hídrico de uma bacia, torna-se fundamental o manejo adequado e integrado das bacias hidrográficas. Logo, as atividades que ocorrem nas áreas de afloramento de aquíferos afetam a qualidade e quantidade das águas subterrâneas, caracterizando essas regiões como estratégicas para a conservação das reservas hídricas subterrâneas.



Além da vegetação natural desempenhar um papel fundamental na conservação e qualidade dos recursos hídricos, sua composição e estrutura são indispensáveis para preservação da fauna.

O efeito da antropização sobre as paisagens naturais tem diminuído a quantidade e qualidade de habitat de diversas espécies através da fragmentação dos maciços florestais. Assim, a conexão desses fragmentos é essencial para manter o fluxo gênico entre as populações e conseqüentemente a segurança das espécies.

Diante disso, a Análise Multicritério (AMC) tem sido amplamente utilizada na análise ambiental, uma vez que permite avaliar um problema através de sua complexidade, isto é, é possível analisar um mesmo objetivo a partir das diversas questões que o compõem.

Este trabalho foi desenvolvido em uma área de interesses ambientais e econômicos, a Área de Proteção Ambiental (APA) Botucatu. Esta Unidade de Conservação (UC) possui importantes fragmentos vegetais que abrigam uma flora diversificada, típica de regiões de ecótono que pode estar ameaçada em decorrência da ocupação da mesma. Além disso, grande parte da área de estudo insere-se sobre o afloramento do Aquífero Guarani, cuja importância para o consumo humano, assim como para os sistemas ambientais são amplamente reconhecidas. A ausência de um gerenciamento adequado da Unidade de Conservação pode ameaçar seus recursos naturais.

Este trabalho tem como hipótese a viabilidade do estabelecimento de áreas prioritárias para conexão florestal entre fragmentos remanescentes de vegetação natural da APA Botucatu, em regiões favoráveis à infiltração e percolação de água.

Os objetivos específicos foram:

- Elaborar banco de dados digital dos atributos ambientais da área de estudo, como: rede de drenagem, curvas de nível, uso da terra, geologia, pedologia e curvatura do terreno.
- Elaborar mapas secundários como modelo digital do terreno, cobertura do solo a partir do banco de dados gerado;
- Determinar critérios mais importantes que deverão ser utilizados para estabelecer as áreas prioritárias visando à produção de água de acordo com a Combinação Linear Ponderada;
- Estabelecer os fragmentos de maior relevância para a conexão da paisagem;

- Estabelecer áreas mais favoráveis à infiltração e percolação da água;
- Processar o banco de dados obtido, a fim de gerar os mapas contendo as áreas prioritárias para conexão florestal, proporcionando maior infiltração, a fim de abastecer o lençol freático.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Recursos Hídricos**

Em meio a um planeta superpopulado cuja exploração dos recursos naturais de modo indiscriminado vem ocorrendo ao longo dos séculos, o autor do artigo “The tragedy of the commons”, Hardin (1968) trouxe algumas reflexões centradas no direito de uso dos recursos naturais. O autor nomeou os recursos naturais de bens comuns, uma vez que são finitos e devem ser divididos entre a população mundial. Entretanto, os bens comuns estão sendo cada vez mais utilizados sem apropriada divisão e alguns deles até mesmo exauridos.

No conceito formalizado por Crutzen (2002), o Antropoceno caracteriza a nova época geológica que vivemos, onde o homem é o elemento responsável pelas mudanças ambientais globais. Essa Era substitui o Holoceno, período de relativa estabilidade vivida pela Terra por milhares de anos, onde as mudanças ambientais ocorreram, mas eram mantidas estáveis pela capacidade regulatória natural do nosso planeta. A época atual, iniciada a partir da Revolução Industrial, tem trazido consequências prejudiciais e até mesmo catastróficas para o Sistema Terrestre, compreendido pela relação

entre os ciclos físicos, químicos e biológicos, assim como, os fluxos que sustentam a vida no planeta.

A fim de enfrentar o desafio de manter a Terra em seu equilíbrio natural, Rockstrom et al. (2009) propuseram uma nova abordagem de utilização dos recursos naturais a partir do conceito de limiares planetários (planetary boundaries), que se trata da zona de segurança em que o homem pode interferir no meio ambiente sem que haja maiores danos para o planeta, seus processos e subsistemas físicos. Os autores identificaram nove processos e seus respectivos limiares, que caso ultrapassados podem causar impactos catastróficos e irreversíveis. Nessa lista consta, entre outros itens, a utilização da água potável e a mudança da ocupação territorial cujos limiares quando ultrapassados podem interferir um terceiro item importante, as mudanças climáticas.

Reconhecer os limites dos recursos disponíveis no nosso planeta é fundamental para compreender sua capacidade de suportar a população crescente e consequente aumento da demanda por recursos naturais. A água possui um papel central nessa discussão devido à sua importância para manter quase todas as atividades humanas e processos biológicos (BOGARDI et al. 2013). A qualidade de vida, funções ecossistêmicas e desenvolvimento econômico dependem da disponibilidade de água local e global (TUNDISI et al., 2006).

Foi desenvolvido, em uma importante bacia na China, um estudo que correlaciona serviços ecossistêmicos e desenvolvimento humano. Os pesquisadores concluíram que conservação de solo e água estão diretamente relacionados entre si, mas inversamente relacionados com o desenvolvimento humano (SU et al., 2012).

As águas doces continentais são recursos renováveis que mudam de estado físico permanentemente ao longo do ciclo hidrológico, impulsionado pela energia solar (TUNDISI et al., 2006). Esta água é mantida em níveis constantes uma vez que se move entre os compartimentos biológicos e físicos através de um processo cíclico cujos meios são: evapotranspiração, condensação, precipitação, infiltração, escoamento superficial e subsuperficial (DELASALLA, 2013). Desse modo, águas subterrâneas e superficiais estão conectadas através do ciclo hidrológico, mais precisamente através dos processos de infiltração, recarga e descarga (VALETT; SHEIBLEY, 2009).

A hidrosfera é a camada hídrica presente na superfície, subsolo e na atmosfera da Terra. A maior parte da água localiza-se nos oceanos, em torno de 97,5% e destas apenas 2,5% é potável que, por sua vez, encontra-se em geleiras e regiões de gelo

permanente em áreas montanhosas. Apenas uma pequena fração está disponível em lagos, rios e águas subterrâneas (DELASALLA, 2013).

Para este estudo, o enfoque maior foi dado nas águas subterrâneas.

## 2.2 Águas Subterrâneas

A água presente no subsolo é denominada água subterrânea. Ela fica contida nos poros de formações geológicas, que são chamados aquíferos quando se encontram saturados. Os aquíferos podem ser de dois tipos: confinados, quando se localiza entre duas camadas impermeáveis e livres, que podem ser acessados desde a superfície (SMITH, 2003).

A região subsuperficial está dividida em duas regiões principais: a zona vadosa, região abaixo da superfície do solo onde os poros estão preenchidos por ar e a zona saturada subjacente, onde os poros estão inteiramente preenchidos com água. A zona vadosa e a saturada estão separadas pelo nível freático (SMITH, 2003).

O movimento da água subterrânea ocorre entre os espaços vazios do solo e subsolo, assim como entre as linhas de fratura das rochas. Esse movimento, chamado fluxo subterrâneo, ocorre de acordo com a condutividade hidráulica do meio em que se encontra a água, seja do solo ou da rocha (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Em uma escala regional, o movimento dá-se das áreas de recarga para as áreas de descarga (ALLEY, 2009).

A condutividade hidráulica ( $K$ ) expressa a facilidade com que a água é transmitida no perfil do solo (GERRA, 2000) e depende do seu material de formação. Por exemplo, solos arenosos têm maior condutividade hidráulica que solos argilosos e siltosos, portanto, a água infiltra e percola mais rapidamente nos solos arenosos. Entre as rochas, as sedimentares, como o arenito, possuem maior condutividade hidráulica que rochas ígneas, como o basalto, e metamórficas, como o mármore, entretanto, quando rochas ígneas e metamórficas se encontram fraturadas, sua condutividade pode ser alta. A Tabela 1 descreve alguns exemplos de materiais e suas condutividades hidráulicas (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Tabela 1. Condutividade hidráulica de alguns materiais porosos e rochas. Fonte: Collischonn; Tassi (2008)

Material	K (mm.s <sup>-1</sup> )	
	Limite Inferior	Limite Superior
Rochas Calcárias	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Rochas Ígneas e Metamórficas fraturadas	10 <sup>-5</sup>	10
Arenito	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-4</sup>
Rochas Ígneas e Metamórficas não fraturadas	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-4</sup>
Areia	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Seixos	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>

A recarga das águas subterrâneas ocorre através da infiltração na zona vadosa das águas provenientes da precipitação e derretimento de neve que atingem a zona saturada ou através do movimento de águas superficiais para o sistema subterrâneo (SMITH, 2003; NOLAN et al., 2007; ALLEY, 2009).

Infiltração é o movimento de água dentro dos solos. São estes que definem a quantidade de chuva que infiltra ou escoar na superfície. É a estrutura do solo que irá determinar o comportamento da água na subsuperfície. A relação entre a intensidade da chuva e a capacidade de infiltração define a quantidade de água que infiltra. Como nem toda precipitação atinge o lençol freático, Horton em 1933 propôs o termo percolação para o fluxo de subsuperfície que atravessa a zona não saturada e atinge o lençol freático (COELHO NETTO, 1998).

Existem diversas variáveis que regulam a capacidade de infiltração de água no solo, entre elas, pode - se citar a intensidade das chuvas, a cobertura vegetal, declive da superfície e textura do solo (COELHO NETTO, 1998).

O processo de recarga é o principal componente do sistema hídrico subterrâneo, relaciona-se diretamente com a qualidade das águas superficiais. Os fluxos de rios, lagos e regiões alagadas são mantidos em partes ou completamente pela descarga de águas subterrâneas (VALETT; SHEIBLEY, 2009) que ocorre nas cotas mais baixas do

terreno, através do afloramento do lençol freático (SMITH, 2003; VALETT; SHEIBLEY, 2009).

As áreas de afloramento de aquíferos, onde ocorre recarga direta dos mesmos, são mais vulneráveis e devem, portanto, ser conservadas tendo em vista a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável (RABELO; WENDLAND, 2009).

Além da recarga de aquíferos, a infiltração de água no solo propicia maior permanência da mesma na bacia hidrográfica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de água para manutenção e desenvolvimento da cobertura do solo, sendo um importante componente na gestão dos recursos hídricos (MORAES, 2012).

### **2.3 Exploração da Água Subterrânea no Brasil e no Mundo**

Na última metade do século XX, a utilização dos recursos hídricos e do uso da terra aumentou expressivamente devido à demanda por alimento e fibra. A produção agrícola cresceu de 2,5 a 3 vezes durante esse período enquanto as áreas cultivadas aumentaram apenas 12%. Esse rápido aumento na produção foi devido aos avanços na mecanização agrícola e irrigação, que contribuíram para o aumento de aproximadamente 40% do aumento da produção. A expansão agrícola, em geral, ocorre em detrimento dos ambientes de vegetação natural como florestas, mangues e pradarias acessíveis (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2011).

Rockstrom et al. (2009) propuseram um limiar para o consumo humano de água potável de 4000 km<sup>3</sup>/per capita/ano por ano, entretanto, a estimativa para aquele ano foi de 2600 km<sup>3</sup>/per capita/ano, enquanto que o dado pré-industrial é de 415 km<sup>3</sup>/habitante/ano. Já a porcentagem de cobertura proposta como limiar para utilização em sistemas agrícolas é de 15%, todavia em 2009 em torno de 11,7% da cobertura terrestre destinava-se à agricultura.

Em torno de 11% do volume total de água, tanto superficial quanto subterrânea, são utilizados pelo homem, sendo 70% destinados para agricultura, 19% para o setor industrial e 11% para a o abastecimento urbano (FAO, 2011).

Se por um lado a retirada de água subterrânea teve importante contribuição para o aumento da produção agrícola, sua utilização mostrou-se de difícil gestão, o que acarretou na diminuição dos níveis freáticos dos aquíferos em áreas de

produção de cereais, uma vez que a retirada supera a recarga. Esse processo ocorreu em países de alta, média e baixa renda (FAO, 2011).

Nos EUA o abastecimento hídrico de 35% da população urbana é mantida por água subterrânea, 97% do abastecimento rural, sendo 40% da água utilizada para irrigação e 26% no setor industrial (SMITH, 2003). O aquífero High Plains um dos mais importantes nos Estados Unidos ocupa parte de oito estados americanos cujo uso agrícola é bastante expressivo. Poucos anos após o início da utilização intensiva da água subterrânea para irrigação houve um rebaixamento alarmante dos níveis freáticos (MCGUIRE, 2007).

Além do rebaixamento dos níveis freáticos, a superexploração de água subterrânea afeta diretamente os ecossistemas dependentes, uma vez que está diretamente relacionada com águas superficiais. O Aquífero Ocidental da Mancha, situado na região La Mancha, na Espanha, teve seus níveis freáticos rebaixados devido à superexploração pela agricultura, afetando inúmeros ecossistemas, como por exemplo, o parque nacional Tablas de Daimiel (KLØVE et al., 2011). Esse parque está entre os mais importantes ecossistemas de áreas úmidas (wetlands), listado pela Convenção Ramsar.

Apesar de ser um fenômeno mundial, atualmente a expansão territorial para produção está limitada às áreas que permanecem disponíveis, que estão resumidas às regiões na América do Sul e na África Subsaariana (FAO, 2011).

No Brasil, assim como no restante do mundo, a irrigação é o setor de maior utilização dos recursos hídricos como mostra a Figura 1. Estima-se que a área irrigável seja da ordem de 29,6 milhões de hectares e no ano de 2010 a estimativa foi de 5,4 milhões de hectares irrigados, 20% acima do dado estimado pelo IBGE em 2006. A irrigação consome 54% (1270 m<sup>3</sup>/s) da vazão retirada total e 72% da vazão efetivamente consumida (BRASIL, 2012).



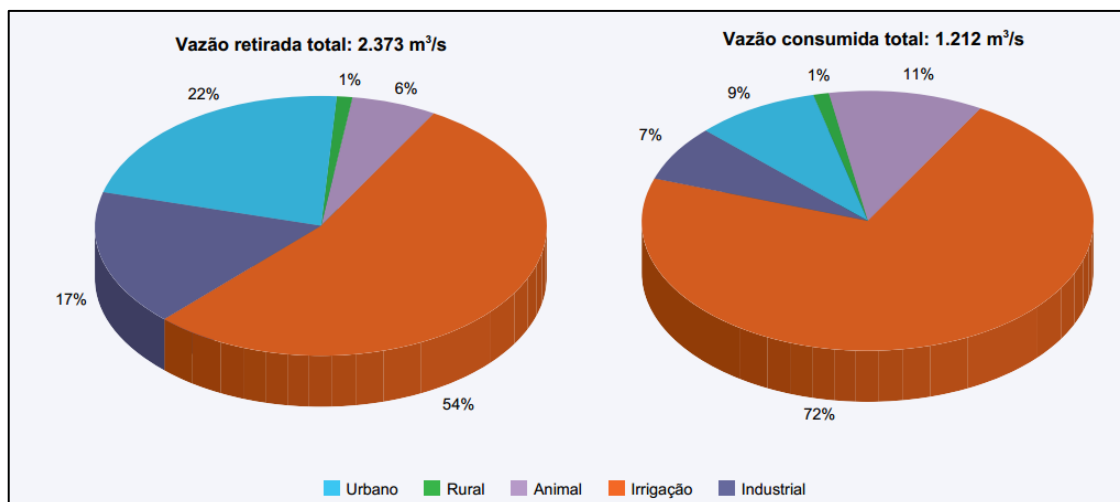


Figura 1. Demandas pelo uso consultivo de água no Brasil. Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

No ano de 2012, a área total irrigada ou em fase de implantação de sistema de irrigação foi de 319 mil hectares com 54% já em fase de cultivo (BRASIL, 2012).

Os dados censitários do IBGE informam uma população de 190.755.799 habitantes no ano de 2012, enquanto no final do século XIX, o Brasil contava com 9.930.478 habitantes (BRASIL, 2013). Esse aumento populacional levou a um consequente aumento do abastecimento urbano. Desse modo, o abastecimento urbano é atualmente o segundo maior consumidor de água no país, retirando em torno de 522 m³/s. Da vazão retirada, 47% são de águas superficiais, 39% subterrâneas e 14% o abastecimento é misto (BRASIL, 2012).

É possível sumarizar as causas e processos que têm levado à crise da água em: intensa urbanização que, além de aumentar a demanda hídrica leva a um consequente aumento da geração de resíduos, que são despejados sem o devido tratamento contaminando os rios receptores; o aumento expressivo de áreas agricultáveis e irrigadas; as respostas hidrológicas às mudanças climáticas globais que geram períodos intensos de seca e chuvas, comprometendo a segurança alimentar das populações; a incompetência dos órgãos responsáveis e ausência de profissionais qualificados quanto à gestão dos recursos hídricos (TUNDISI, 2008; BOGARDI, 2011).

### 2.3 Cobertura e Conservação dos Recursos Hídricos

Alterações na ocupação territorial interferem diretamente no balanço hídrico de uma bacia (BOGARDI, 2011). Estudos investigando os diferentes tipos de uso e as respostas hidrológicas sugerem que o fator determinante para as respostas é a precipitação, entretanto, os tipos de cobertura do solo também interferem na produção de água da bacia (BOSCH, HEWLLET, 1982; WALKER, 2002; BROWN et al., 2005). Já em regiões montanhosas como nos Andes, as alterações na produção de água da bacia estavam mais fortemente correlacionadas com mudanças do uso do solo (transições entre floresta nativa, agricultura, floresta exótica plantada e solo exposto) do que com a precipitação (Molina, 2012).

Há estudos que indicam que o reflorestamento com espécies exóticas tem efeito negativo na produção de água, uma vez que as árvores demandam altas taxas de evapotranspiração. O inverso é verdadeiro, isto é, a remoção de florestas para plantação de outras culturas aumenta a produção de água, entretanto, a vazão média anual diminui. O fluxo de base diminui, devido a menor infiltração da água e a vazão de pico aumenta após eventos momentâneos de precipitação (BOSCH, HEWLLET, 1982; ALLAN E CHAPMAN, 2001; BROWN ET AL, 2005; BUYTAERT ET AL., 2007;).

Devido às altas taxas de evapotranspiração das árvores e as perdas por interceptação, os reflorestamentos interferem diretamente na percolação de água para o lençol freático e na vazão dos rios. A diminuição da percolação da água para o lençol freático pode diminuir a recarga de aquíferos, causando impactos negativos no meio ambiente (ALLAN; CHAPMAN, 2001).

Um estudo realizado em florestas tropicais na Índia testou as repostas hidrológicas de bacias hidrográficas cobertas com floresta natural, floresta degradada e plantação de árvores exóticas. As bacias com maior área de floresta natural apresentaram maior recarga de águas subterrâneas e mantiveram a vazão dos rios constante por mais tempo durante a estação seca (KRISHNASWAMY, 2013).

Além dos efeitos na quantidade de água, a silvicultura pode interferir também na qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os principais processos de contaminação são a acidificação e nitrificação (ALLAN; CHAPMAN, 2001).

A agricultura, assim como a silvicultura pode interferir direta e indiretamente na composição e volume de recarga de aquíferos. Os efeitos diretos são:

dissolução e transporte de quantidades excessivas de fertilizantes e materiais associados, além de alterações hidrológicas devido à irrigação e drenagem. Foi verificado um aumento nas concentrações de N, Cl, Ca, Mg entre outros elementos nos fluxos de recarga de aquíferos na última metade do século 20. Entre os efeitos indiretos podem-se citar reações água-rocha causados pelo aumento da concentração de íons dissolvidos. Desse modo, a atividade agrícola que ocorre em zonas de recarga deve ser monitorada (BÖHLKE, 2002).

Foram selecionados três diferentes usos num mesmo tipo de solo em um estudo conduzido na Espanha. As taxas de infiltração nas áreas cobertas com floresta natural foram superiores quando comparado com floresta de pinus e áreas agrícolas (NERIS, 2012). Walker (2002) ressaltou indício de maior capacidade de infiltração em florestas, mas afirmou que áreas agrícolas bem manejadas podem apresentar taxas de infiltração semelhantes.

Bai et al. (2012) simularam os efeitos na produção de água e retenção de solo em três cenários com diferentes estratégias de uso e ocupação num período de 42 anos. Dentre os três cenários simulados, aquele que demonstrou maiores taxas de produção de água e retenção de solo foi aquele que enfatizava a proteção e restauração dos ecossistemas, apesar das áreas de florestas apresentarem valores elevados para os parâmetros citados nos três cenários. Os outros dois cenários tinham maior ênfase no desenvolvimento da economia da região estudada e foram pouco expressivos na produção de água e retenção do solo.

A conservação de florestas à montante é importante para aumentar a produção de água na bacia (SINGH; MISHRA, 2012). A vegetação ripária age como uma zona tampão, diminuindo e até eliminando muitos dos efeitos dos cultivos agrícolas nos leitos de rios. Essa vegetação age diminuindo o transporte de nutrientes e sedimentos, dependendo do tipo de solo e insumo utilizado (MCKERGOW, 2003), que causam a poluição e assoreamento dos leitos d'água. Maitre et al. (2014) propuseram uma figura ilustrando as diferenças na regulação dos fluxos que ocorre entre um ecossistema bem manejado e outro modificado (Figura 2).

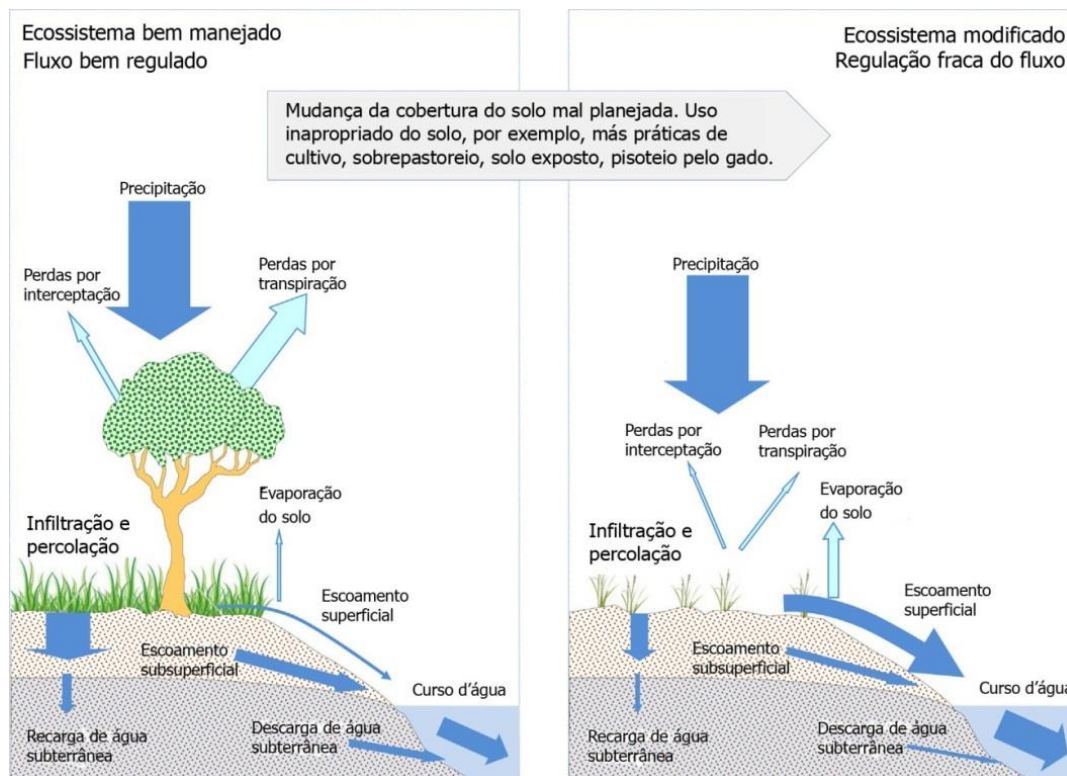


Figura 2. Representação dos componentes e processo da regulação do fluxo hidrológico.

Fonte: Adaptado de Maitre et al. (2014). Tradução do autor.

Na Figura 2 as setas escuras representam a movimentação da água na forma líquida e as setas claras água, em vapor. Estão representados na figura os componentes e processos que controlam a movimentação da água desde a precipitação para a vegetação e solo e então para os cursos d'água, assim como os processos envolvidos são afetados por alterações na cobertura. A espessura das setas representa o volume de fluxo após eventos típicos de precipitação. Em bacias bem manejadas, a vegetação consome e transpira a maior parte da água infiltrada e o restante compõe o escoamento superficial. Precipitações prolongadas e intensas irão saturar o solo gerando um grande volume de escoamento superficial. Em ecossistemas mal manejados com pouca ou nenhuma cobertura, o volume do escoamento superficial é maior, ocasionando o transporte de sedimentos e, conseqüente, assoreamento dos corpos d'água. O escoamento superficial e fluxo lateral compõem o fluxo rápido e o restante do escoamento subsuperficial em conjunto com a descarga de água subterrânea representam o fluxo de base (MAITRE et al., 2014).

Maitre et al. (2014) explicaram que a disponibilidade e a movimentação da água no sistema estão diretamente relacionadas com as mudanças no uso do solo, portanto, é necessário o desenvolvimento de estratégias conjuntas entre recursos hídricos e ocupação territorial (BOGARDI, 2011). A necessidade crescente de produção agrícola é evidente, entretanto, a degradação do solo deve ser mitigada, uma vez que afeta a produção (BOSSIO et al., 2010) e qualidade da água. Vale ressaltar que além do tipo de cobertura, o tipo de manejo e o clima, principalmente a precipitação, são extremamente relevantes no tempo de resposta da vazão (BROWN et al, 2005).

## **2.4 Conexão da Paisagem**

A paisagem pode ser definida por um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador numa determinada escala de observação (METZGER, 2001). A paisagem é composta, portanto, por diferentes unidades.

A expansão agrícola em regiões onde há o predomínio de florestas tende a subdividir a paisagem homogênea em um mosaico composto por unidades menores, como fragmentos, matrizes e corredores. Esse processo é denominado fragmentação da paisagem e pode ser definido como um processo em que um grande habitat é transformado em pequenas manchas menores que a área original, isolado entre eles por uma matriz de habitat diferente da original (WILCOVE et al. 1986).

Os fragmentos tratam-se das manchas originadas pelo processo de fragmentação, ou subdivisão da paisagem. As matrizes são as estruturas que recobrem a maior parte da paisagem. A floresta, previamente à implantação de um sistema agrossilvipastoril, é considerada uma matriz, entretanto, posteriormente à fragmentação da paisagem, as matrizes correspondem aos sistemas de cultivo que predominam na região. Em geral, as matrizes são os componentes da paisagem de não habitat para uma determinada espécie estudada. Os corredores são elementos lineares da paisagem que ligam dois fragmentos anteriormente conectados (METZGER, 2001).

A fragmentação das paisagens naturais em unidades isoladas devido aos usos antrópicos, especialmente a agricultura, tem sido comumente observada mundo afora (HOBBS et al., 2008).

Alguns dos efeitos da fragmentação em biomas tropicais são: extinções relacionadas ao efeito de borda e à área, que irão rapidamente degradar fragmentos menores que 100 ha, predominantes em paisagens antropizadas; desequilíbrio na abundância de espécies; alteração e até mesmo interrupção de processos fundamentais como dinâmica de clareiras, predação e estoque de carbono. Os fragmentos remanescentes serão influenciados pela matriz circundante que, por sua vez, afeta a conectividade da paisagem, a intensidade do efeito de borda, a invasão de espécies e distúrbios como queimadas e vendavais (LAURANCE et al., 2002). De acordo com os mesmos autores, com o passar do tempo, os fragmentos serão dominados por espécies generalistas tolerantes à matriz, oportunistas adaptados a distúrbios e espécies que requerem pequenas áreas para sobreviver.

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro em extensão e, devido às altas taxas de endemismo, é considerado um hotspot da biodiversidade mundial. Entretanto, sua biodiversidade tem sido ameaçada devido ao avanço das fronteiras agrícolas. A ocupação antrópica, ao longo de sua extensão, trouxe consigo inúmeros danos ambientais como a fragmentação de habitat, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, degradação de ecossistemas, alterações no regime de queimadas entre outros. A ameaça aos ecossistemas do Cerrado em decorrência das pressões ocorridas nesse bioma levou ao surgimento de iniciativas a favor de sua conservação (KLINK; MACHADO, 2005).

A Mata Atlântica é um dos biomas tropicais mais ameaçados, com apenas 8% do seu território original. Mantém-se entre os 5 maiores hotspots mundiais, abrigando uma riqueza de espécies extremamente alta (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2014). Foi averiguado em estudo sobre a distribuição dos fragmentos remanescentes, que mais de 80% dos fragmentos têm área menor que 50 ha e aproximadamente metade dos fragmentos possuem menos de 100 metros de borda. Esse cenário requer ações imediatas de conservação e restauração, uma vez que, a atual situação não permite sustentar a sobrevivência dessa floresta em longo prazo (RIBEIRO et al., 2009).

Pivello et al. (2006) constataram a importância da conservação de pequenos fragmentos de vegetação, não levando em conta o efeito de borda, uma vez que tais fragmentos, mesmo quando isolados da paisagem, podem servir como importantes fonte de sementes para recomposição de áreas degradadas do entorno.

O objetivo das conexões entre fragmentos naturais é facilitar o fluxo gênico entre populações, aumentando a chance de sobrevivência das comunidades biológicas e de suas espécies. É uma estratégia de conservação da biodiversidade baseada na gestão integrada do território (GANEN, 2006). Devem, portanto, ser considerados em projetos de conservação e restauração de habitat (COLLINGE, 1996).

Boscolo e Metzger (2011) sugeriram que há maiores chances de sobrevivência de determinadas espécies de aves ao promover aumento da proximidade de habitats com a diminuição da distância entre os fragmentos, uma vez que tais espécies têm dificuldade de atravessar a matriz circundante dos fragmentos, dificultando o alcance de fragmentos mais isolados. Tais resultados são importantes para paisagens onde há intensa atividade humana e a delimitação de reservas extensas e contínuas não é possível. Perda de habitat e isolamento dos fragmentos são as maiores ameaças para a biodiversidade (COLLINGE, 1996, TABARELLI; GASCON, 2005, GIBSON et al., 2011).

Um estudo desenvolvido na Mata Atlântica, em que foi comparada a importância do tamanho e da conectividade entre fragmentos para a riqueza e abundância de algumas espécies de aves, aponta que a conectividade entre os fragmentos é mais relevante para a preservação de algumas espécies do que o tamanho da área. Desse modo, as ações conservacionistas para regiões com quantidade intermediária de cobertura vegetal, situação comum entre fragmentos de Mata Atlântica, deveriam ter maior enfoque na promoção da conectividade entre fragmentos de menor área além dos fragmentos de maior área. As manchas maiores são importantes para espécies especialistas e com baixa capacidade de dispersão, já as de menor área com adequado grau de conectividade, permitem o deslocamento de indivíduos em fragmentos próximos e até mesmo movimentações mais longas mantendo populações marginais (MARTENSEN et al., 2008).

Norton et al. (2010) analisaram diversos estudos a fim de avaliar a eficácia dos corredores ecológicos e verificaram que há em média 50% mais movimentação e dispersão de espécies entre fragmentos que possuem conexão, quando comparado àqueles que se encontram isolados na paisagem.

É assegurado pela Constituição Federal do Brasil, em seu artigo 255, o direito de todo cidadão a um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Para isso, cabe ao poder público bem como à coletividade preservá-lo para as gerações presentes e futuras, por meio de sete diretrizes propostas na mesma lei, entre elas, preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e

ecossistemas (BRASIL, 1988). Em maior escala, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000) propõe a implantação de corredores entre as unidades de conservações. Corredores contínuos e relativamente largos de florestas primárias devem ser mantidos para manter o movimento de fauna, dispersão da flora e fluxo gênico entre reservas devido à sensibilidade de incontáveis espécies aos processos de desmatamento e efeito de borda (LAURANCE et al., 2002).

No encontro da Comissão da Diversidade Biológica, sediada em Nagoya, Japão, em 2010, foi assinado o Protocolo de Nagoya e o Plano Estratégico das Metas de Aichi para 2020, que tratam dos compromissos mais urgentes a serem atendidos em prol da preservação da biodiversidade de todos os biomas brasileiros com enfoque na Mata Atlântica. Entre as Metas, são contempladas a redução da taxa de perda de biodiversidade e de degradação e fragmentação de ecossistemas; adoção de estratégias para minimizar a perda de diversidade genética e preservação de ecossistemas provedores de serviços ambientais (SÃO PAULO, 2010).

Medidas públicas relacionadas ao uso e ocupação do solo, pautadas em conhecimento científicos são necessárias para garantir a preservação de áreas atualmente ameaçadas, assim como o manejo de regiões naturais que irão enfrentar grandes ondas de desenvolvimento em um futuro próximo. As ações econômica, social, política e ambiental decidirão o destino de incontáveis espécies e muitos dos mecanismos que atualmente sustentam a vida na Terra (TABARELLI; GASCON, 2005).

## **2.5 Áreas de Proteção Ambiental (APAs)**

O uso sustentável dos recursos naturais é fundamental para que as futuras gerações tenham também acesso. A água potável é um recurso limitante à vida e sua disponibilidade se encontra ameaçada, portanto, deve haver o manejo adequado através de uma gestão bem planejada (ALLAN; CHAPMAN, 2001).

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), datado de 18 de julho de 2000 e regulamentado em 2002 pelo Decreto n° 4340, tem por objetivo proteger e recuperar os recursos hídricos, contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais, proteger características relevantes de natureza geológica, entre outros, através da criação de Unidades de Conservação (UC). Estas se dividem em dois grupos: Unidades de Conservação de Proteção Integral, em que é



permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com as exceções previstas em lei; e Unidades de Conservação de Uso Sustentável, onde se deve compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, que contemplam, entre outras UC, as APAs (BRASIL, 2000).

A mesma lei caracteriza as APA como “uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, tendo como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”. Portanto, essa categoria de UC deve conciliar a proteção da diversidade biológica com o processo de ocupação, assegurando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

Entretanto, as APAs têm seu surgimento com a Lei Federal nº 6.902 de 27 de abril de 1981, que estabelece no artigo 8º “quando houver relevante interesse público, poderá declarar determinadas áreas do Território Nacional como de interesse para a proteção ambiental, a fim de assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais” (BRASIL, 1981).

A Área de Proteção Ambiental Corumbataí – Botucatu - Tejuipá, criada em 8 de junho de 1983, através do Decreto Estadual nº 20.960, foi dividida em três perímetros distintos com uma área total de 6.492 km<sup>2</sup>. A criação da APA Botucatu teve o intuito de preservar as Cuestas Basálticas, os morros testemunhos, os recursos hídricos superficiais e as áreas de recarga do aquífero Guarani, os remanescentes de fauna e flora e o patrimônio arqueológico (SÃO PAULO, 2010).

## **2.6 Sensoriamento Remoto e Análise da Paisagem**

Segundo Novo (2008), o Sensoriamento Remoto (SR) é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de espaçonaves, aeronaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra, a partir do registro e da análise das interações entre radiações eletromagnéticas e os alvos naturais nas suas mais diversas manifestações.

A partir dos dados orbitais, torna-se possível identificar as origens e características, mapeamento e verificação da extensão e intensidade das alterações provocadas pelo homem, com custo reduzido (LOCH; KIRCHNER, 1988), dentre as quais se destacam: urbanas (inferência demográfica, planejamento urbano), agrícolas (erosão de solos, previsão de safras, condição das culturas), ecológicas (regiões alagadas, solos, florestas, águas continentais), florestais (controle de desflorestamento) e cartográficas (mapeamento temático, atualização de terra) (NOVO, 2008).

O SR constitui uma das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escala local e global devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre (JACINTHO, 2003). Dessa forma, dados orbitais permitem quantificar a cobertura terrestre e abordar mudanças nos padrões espaciais, assim como avaliar a conectividade ecológica da paisagem (NAGENDRA et al., 2009).

Para que os dados obtidos por meio do SR sejam analisados, é necessária a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os SIGs são sistemas computadorizados que permitem o manuseio de dados georreferenciados pela entrada e gerenciamento, manipulação e análise dos dados (VETTORAZZI, 1996), tornando-se uma ferramenta indispensável em estudos de extensas paisagens.

Os SIG têm sido cada vez mais utilizados como ferramentas para tomadas de decisão e tem como base de dados objetos que possuem localização geográfica precisa e realiza funções de entrada, gestão, análise e saída de dados. Os SIGs têm capacidade de dar suporte às decisões tornando-o importante para mapeamento e modelagem do uso do solo (MALCZEWSKI, 2004).

Foram surgindo ao longo do tempo diversas metodologias para utilização da Análise Multicritério (AMC) em ambiente SIG, Vettorazzi (2006) afirma que a AMC no ambiente de SIG se mostra adequada ao mapeamento de áreas prioritárias para restauração florestal tendo em vista a conservação dos recursos hídricos.

## **2.7 Análise Multicritério**

A análise da adequabilidade de áreas para um determinado tipo de uso permite aos gestores ambientais analisar a interação entre alocação, ações de desenvolvimento e fatores ambientais, desse modo, as novas técnicas de análise espacial têm sido amplamente utilizadas. A Análise Multicritério (AMC) trata-se de uma técnica de

análise de adequabilidade (COLLINS, 2001) que possui alguns métodos de desenvolvimento.

A AMC foi definida por Malczewski (2004) como processo que combina e transforma dados espaciais e não espaciais (input) em uma resultante decisória (output), tem sido amplamente utilizada em aplicações que requerem elaboração de estratégias, envolvem tomadores de decisão e avaliação ambiental integrada.

Eastman (2012) apresentou dois métodos mais comuns de Avaliação Multicritério: a Combinação Linear Ponderada (CLP) e a sobreposição Booleana. Segundo o mesmo autor, na CLP os fatores são normalizados para a mesma escala numérica contínua e então combinados pela da média ponderada, resultando em um mapa contínuo de adequabilidade que pode então ser multiplicado por uma ou mais restrições booleanas. No método Booleano, os critérios são reduzidos a uma afirmação lógica de adequabilidade e então combinados por operadores lógicos com AND (intersecção) e OR (união).

Os métodos de combinação ponderada manipulam dados mais precisos uma vez que os mesmos se encontram em uma escala contínua do mais para o menos favorável, ao passo que o método Booleano utiliza classificações mais rígidas, como favorável ou não favorável, o que torna o primeiro método mais eficiente (DONHA, 2006) na análise ambiental.

Em especial, o estudo referente à área ambiental tem-se mostrado crescente quanto à quantidade de artigos publicados nas duas últimas décadas utilizando a AMC (HUANG et al., 2011), uma vez que a técnica permite analisar de modo interdisciplinar os fatores que compõem um mesmo problema, conferindo assim, maior confiabilidade nos dados gerados, oferecendo maior segurança quando houver necessidade de propor medidas para intervenções ambientais.

Há exemplos de trabalhos utilizando AMC para determinação de áreas prioritárias para reflorestamento (IANNI; GINELETTI, 2010; ORSI; GINELETTI, 2010, FERRETTI; POMARICO, 2013), restauração de zonas ripárias (ZHAO et al., 2013), manejo de recargas de aquíferos (RAHMAN et al., 2012; BRITO et al., 2006), recarga de aquífero com água de reuso (PEDRERO et al., 2011) mapeamento de risco de incêndio (SILVEIRA et al., 2008), fragilidade ambiental (DONHA et al., 2012) conservação de floresta (VALENTE; VETTORAZZI, 2008), entre outros temas.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição da Área de Estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido no perímetro Botucatu da APA Corumbataí – Botucatu – Tejuπά (Figura 3), cujos limites se inserem nos municípios de Angatuba, Avaré, Bofete, Botucatu, Guareí, Itatinga, Pardinho, São Manuel e Torre de Pedra. A APA Botucatu está presente nas três feições geomorfológicas regionais: Reverso e Front da Cuesta e Depressão periférica. Situa-se entre os rios Tietê (Represa de Barra Bonita) ao norte e rio Paranapanema (represa Jurumirim) ao sul. Possui uma área total de 215.615 ha cujas coordenadas são: 707.688 m E, 7.421.849 m S e 789.814 m E, 7.484.980 m S da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SAD 69, fuso 22.

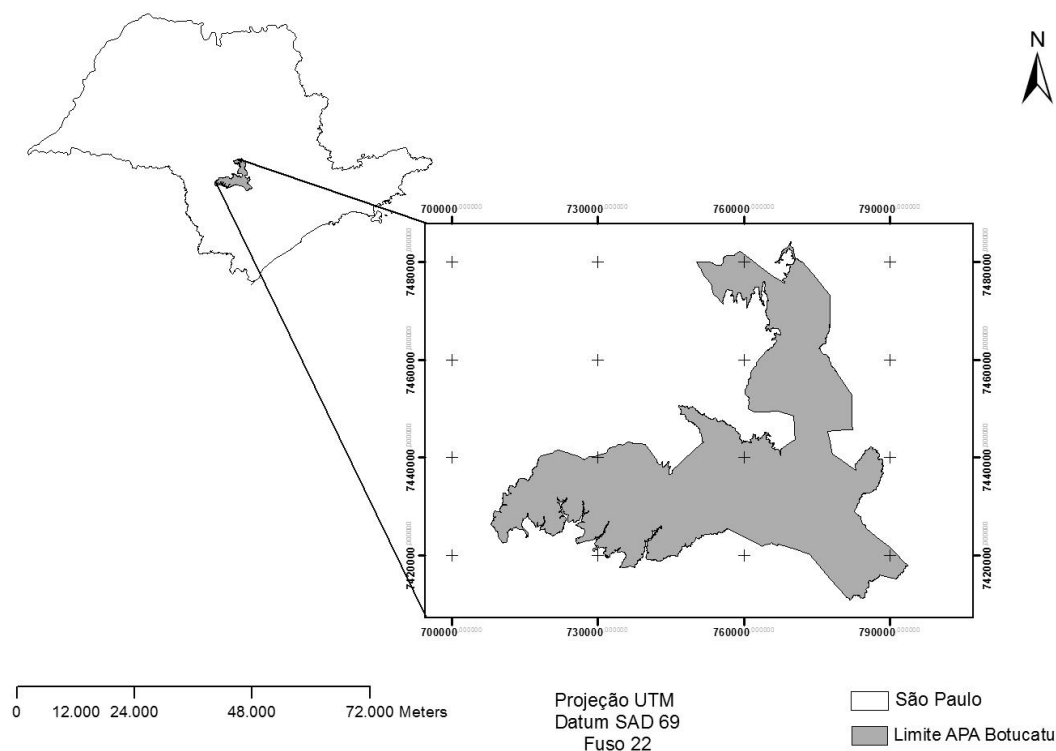


Figura 3. Localização da APA Botucatu.

Alguns dos objetivos que levaram à criação desta Unidade de Conservação foram: promover adequação das atividades econômicas considerando as características ambientais da APA, fomento de atividades de desenvolvimento sustentável, identificação de remanescentes ou áreas de interesse para recuperação e conservação da biodiversidade (SÃO PAULO, 2013), uma vez que a substituição de ambientes naturais por agrossistemas tem-se tornado cada vez mais comum, promovendo a fragmentação da paisagem.

### 3.1.1 Geologia

O território da APA abrange três regiões fisiográficas: o Reverso da Cuesta Basáltica com altitudes entre 700 e 950 metros, marcando o início do Planalto Ocidental, a escarpa arenítico-basáltica formando o Front da Cuesta e a Depressão Periférica, que varia de 400 e 600 metros de altitude (JORGE; MOREIRA, 2000). Os Grupos geológicos em que essas regiões estão inseridas são os Grupos Bauru e São Bento.

A Depressão Periférica da Cuesta é composta pela Formação Pirambóia e Botucatu, pertencentes ao Grupo São Bento, todos arenitos. Os solos

originários são pouco férteis, compostos majoritariamente por areia e, portanto, propensos à erosão. Dessa forma, é comum o aparecimento de voçorocas nessa região. Devido à grande porosidade da areia, as regiões onde as formações Botucatu e Pirambóia apresentam alta capacidade de infiltração e armazenamento e constituem o Sistema Aquífero Guarani (SAG) (ZIMBACK, 2008). Há também nessa região fisiográfica a presença da Formação Teresina, pertencente ao grupo Passa Dois, constituída por folhelhos, argilitos, siltitos e localmente arenitos finos (LANDIM, 1984).

O Front da Cuesta é composto pelas Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, pertencentes ao Grupo São Bento (LANDIM, 1984), cujos solos originários são muito férteis e, conseqüentemente, importantes para a agricultura. Devido ao alto grau de declividade dessa região, os solos são muito propensos à erosão especialmente por não apresentarem mais a vegetação natural que atrasava esse processo (ZIMBACK, 2008).

As Formações Adamantina e Marília, pertencentes ao Grupo Bauru, compõem parte do Planalto Ocidental Paulista e ocorrem no Reverso da Cuesta, que abriga uma pequena porção da área de estudo.

As principais feições geomorfológicas da Cuesta estão detalhadas na Figura 4.

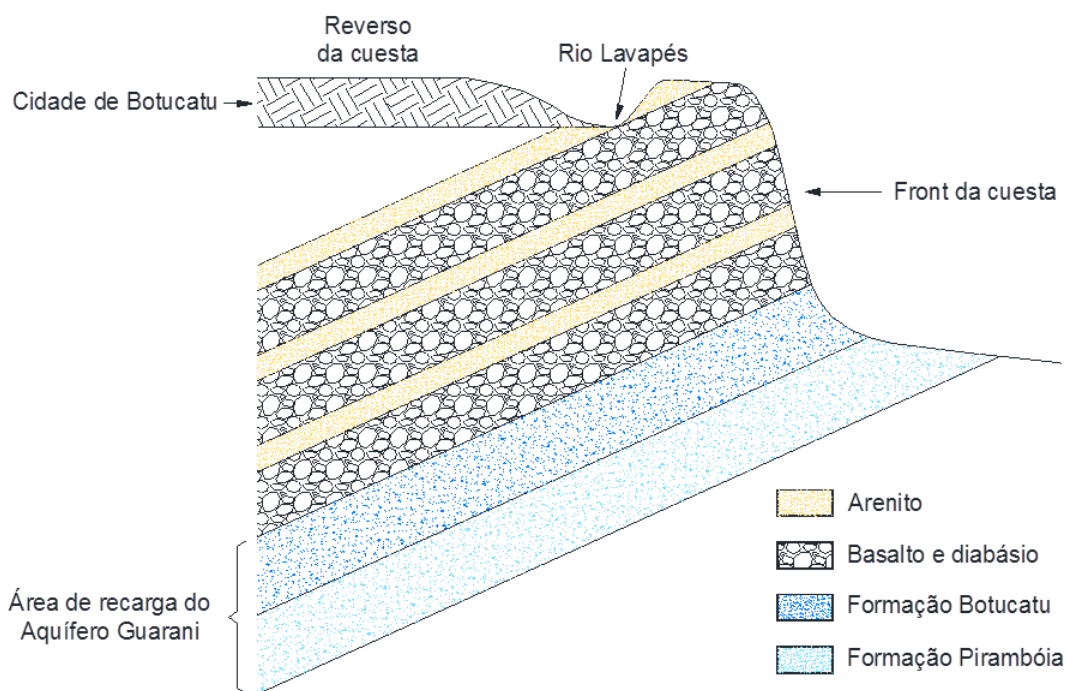


Figura 4. Estratificação Geológica da Região da Cuesta Botucatu. Fonte: Zimback, 2008

Localizado no centro-sul do Brasil, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) estende-se pela Argentina, Uruguai e Paraguai, com uma área total de aproximadamente 1,2 milhões de km<sup>2</sup>. É formado por arenitos e encontra-se sob confinamento pelo derramamento basáltico da Formação Serra Geral. Sua porção aflorante corresponde a 10% da área total (RABELO; WENDLAND, 2009).

Possui uma importância econômica e social, pois suas águas são utilizadas no abastecimento público, para o lazer, irrigação e no setor industrial (REBOLÇAS; AMORE, 2006). Entretanto, as áreas de afloramento possuem uma vulnerabilidade natural devido à sua constituição, associadas ao uso, predominantemente agrícola, se encontram em risco de contaminação da água por agroquímicos e processos erosivos (GOMES, 2013).

A área de estudo é formada em torno de 70% pela ocorrência dos arenitos Pirambóia e Botucatu aflorantes, caracterizando áreas de recarga do SAG (SÃO PAULO, 2013).

### **3.1.2 Relevô**

A APA Botucatu ocupa parte de dois compartimentos geomorfológicos: a província geomorfológica da Depressão Periférica e Cuestas Basálticas, assim como a província do Planalto Ocidental (LANDIM, 1984).

A área compreendida pela Depressão Periférica é subdividida em duas zonas: a do Médio Tietê e a do Paranapanema, cujas altitudes variam de 630 a 650 metros, com alguns espigões na faixa dos 750 metros e, em função da variação da litologia, há áreas com maiores altitudes, como no caso dos morros: Sarandi e Cirineu nos municípios de Guareí e Torre de Pedra. As menores altitudes deste compartimento localizam-se próximo à Represa Jurumirim, com aproximadamente 580 metros (SÃO PAULO, 2011).

Ainda na Depressão Periférica, há predominância de colinas amplas e médias, assim como, morros alongados e achatados. Nesta Província há presença também das mesas basálticas, que são morros testemunhos, com topos aplainados e arredondados e vertentes retilíneas (SÃO PAULO, 2011).

### **3.1.3 Vegetação**

Os remanescentes de vegetação natural encontram-se fragmentados em todo estado de São Paulo, onde ocorrem fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, Florestas Ripárias, Cerradão e Cerrado (JORGE; MOREIRA, 2000). A região é considerada um ecótono entre a Mata Atlântica e o Cerrado.

### **3.1.4 Clima**

O clima predominante nos municípios de Botucatu e São Manuel presentes na APA, de acordo com o sistema de Köppen, é classificado como Cfa, que caracteriza como temperado quente úmido, seco no inverno e chuvoso no verão (CUNHA; MARTINS, 2009).

### **3.1.5 Hidrografia**

A APA Botucatu encontra-se dentro da Região Hidrográfica do Paraná. Os usos consultivos da água em 2010 para essa bacia estão apresentados na Figura 1 de acordo com o relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (BRASIL, 2012).

Os rios que drenam para a Depressão Periférica deságuam no Rio Tietê, mais precisamente na região do Médio Tietê. Os mais importantes são os rios Alambari, Capivara e do Peixe que contribuem com a represa de Barra Bonita. Na bacia do Paranapanema, os rios têm suas nascentes na região da Cuesta e fluem em direção à represa Jurumirim. Os mais importantes são Ribeirão dos Veados, o Rio Tamanduá e o Rio Capivari (SÃO PAULO, 2011).

Há na área ainda, afloramento do aquífero Guaraní, importante manancial de água subterrânea, que ocupa aproximadamente 70% da APA, o torna a área uma importante reserva subterrânea (SÃO PAULO, 2011).

## **3.2. Elaboração da Base de Dados**

### **3.2.1 Dados Cartográficos**



As cartas planialtimétricas do IBGE 1: 50.000 foram utilizadas para vetorização das curvas de nível e hidrografia, com equidistância de 20 metros. A área de estudo está contida nas cartas descritas na Tabela 2, no sistema de projeção UTM no DATUM Córrego Alegre, zona 22.

Tabela 2. Articulação das cartas do IBGE compreendidas pela APA Botucatu

Articulação das cartas do IBGE	Município
SF-22-Z-B-VI-1	Barra Bonita
SF-22-Z-B-VI-3	Botucatu
SF-22-Z-B-V-4	Pratânia
SF-22-Z-D-III-1	Bofete
SF-22-Z-D-III-2	Conchas
SF-22-Z-D-III-3	Angatuba
SF-22-Z-D-III-4	Guareí
SF-22-Z-D-II-1	Avaré
SF-22-Z-D-II-2	Itatinga
SF-22-Z-D-II-3	Jurumirim
SF-22-Z-D-II-4	Paranapanema

O mapa pedológico da área de estudo foi adaptado do mapa cedido pela Fundação Florestal com base no mapa pedológico do estado de São Paulo de Oliveira et al. (1999), cuja escala é 1:500.000 e foi reprojetoado na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SAD 69, fuso 22.

Para obtenção da geologia, foi utilizado o mapa geológico do estado de São Paulo (LANDIM, 1984), que foi reprojetoado para a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SAD 69, fuso 22, cuja escala é 1:250.000.

### 3.2.2 Dados Orbitais

A classificação territorial foi elaborada com imagens do satélite SPOT 5, com mosaico de 10 de abril de 2009 a 27 de junho 2010 e resolução espacial de 10 metros, sendo, portanto, consideradas imagens de média resolução. Foi feita a composição RGB com as seguintes bandas: B1 cuja faixa espectral é 0.50 - 0.59  $\mu\text{m}$ , B2 com 0.61 - 0.68  $\mu\text{m}$ , e B3, 0.78 - 0.89  $\mu\text{m}$ .

Os dados de forma do terreno (curvatura vertical e horizontal) para a área de estudo foram obtidos pela iniciativa TOPODATA. Esta iniciativa trata-se de um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em que foram calculados dados geomorfométricos para todo território nacional a partir do refinamento dos dados obtidos pelo levantamento SRTM (“The Shuttle Radar Topography Mission”) e técnicas de interpretação e análise do relevo. Entre os dados TOPODATA encontram-se declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical e insumos para o delineamento da estrutura de drenagem (VALERIANO, 2008).

Os dados TOPODATA encontram-se disponíveis na página eletrônica <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>.

### **3.3 Métodos**

#### **3.3.1 Análise Multicritério (AMC)**

A utilização da AMC adotada pretendeu-se satisfazer apenas um objetivo, as zonas favoráveis à infiltração. Para isso é necessário atender um, ou um conjunto de critérios. Logo, para que uma decisão seja tomada, é necessário que os critérios selecionados sejam combinados e avaliados. Esse processo é chamado de Análise ou Avaliação Multicritério (AMC) (SILVA et al.,2004).

A AMC utilizada neste trabalho foi a Combinação Linear Ponderada. As zonas favoráveis à infiltração foram delimitadas através da extração dos valores com pontuação acima de 80% do mapa obtido pela CLP.

As terminologias da AMC foram definidas de acordo com Eastman (2012):

- Critério: trata-se de um pré-requisito necessário para a decisão que pode ser mensurado e avaliado. Pode ser de dois tipos: fatores e restrições.
- Fator: é um critério que aumenta ou diminui a adequabilidade de uma dada alternativa à um objetivo específico. Em geral, é mensurado em uma escala contínua.
- Restrição: neste caso, ela limita as alternativas consideradas.

### 3.3.1.1 Combinação Linear Ponderada

Para a combinação dos fatores na CLP cada fator foi multiplicado pelo seu peso e por fim somados aos resultados, de acordo com a equação 1:

(1)

$$S = \sum w_i x_i$$

Onde:

S= Adequabilidade;

w<sub>i</sub>= peso do fator i;

x<sub>i</sub>= valor normalizado para o mesmo fator.

Nos casos em que se aplicam exclusões à análise, o escore final é multiplicado pelos produtos das exclusões, como mostra a equação 2:

(2)

$$S = \sum w_i x_i * \prod c_j$$

Onde:

$\prod$ = produto;

C<sub>j</sub>= escore (0/1) da exclusão j.

Neste trabalho os pesos dos fatores foram dados de acordo com a Análise Hierárquica Analítica proposta por Saaty (1987). Assim, foi elaborada uma matriz quadrada 5 x 5, em que “a” corresponde aos critérios, de modo que o valor a<sub>ij</sub> representa a importância relativa do critério da linha i em relação ao critério da coluna j e, sucessivamente, foram combinados par a par (SILVA et al., 2004).

A escala utilizada para o estabelecimento da combinação par a par foi a proposta por Saaty (1980) e representada na Figura 5.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema- mente	Muito fortemente	Fortemente	Moderada- mente	Igualmente	Moderada- mente	Fortemente	Muito fortemente	Extrema- mente

Figura 5. Escala contínua de nove pontos (aij) para o estabelecimento da importância de cada critério. Fonte Vettorazzi, 2006.

A importância relativa entre os fatores foi feita através da consulta de especialistas e revisão na literatura vigente.

Para normalizar a matriz, isto é, atribuir os pesos relativos de cada critério assinalado, foi necessário calcular o vetor dos autovalores da matriz quadrática (SAATY, 1987).

Para avaliar a consistência dos valores atribuídos a cada critério na matriz, Saaty (1987) propôs o cálculo do Índice de Consistência (IC). A matriz em questão é considerada consistente para IC inferior a 0,1 e inconsistente para valores acima de 0,1. No segundo caso, é sugerido que a matriz seja reexaminada (SAATY, 1987).

Para que os critérios sejam combinados entre si é necessário que estejam na mesma escala. O processo para adequação das escalas é denominado padronização e neste trabalho o método utilizado foi da Lógica Fuzzy.

A técnica consiste em converter um conjunto de valores expressos em uma escala numa outra correspondente (SILVA et al., 2004), desse modo, todos os fatores estarão em escalas comparáveis. O SIG utilizado permite a adoção de duas escalas: de 0 a 255 ou de 0,0 a 1,0. Quanto maior o valor da escala, maior é a pertinência ao objetivo geral (EASTMAN, 2012). Neste trabalho foi utilizada a segunda escala.

Existem diversas funções com seus respectivos pontos de controle para representar a variação do ponto mínimo ao máximo no processo de padronização. Entre elas as mais comuns são: sigmoideal, Jshaped, linear e complexa (SILVA et al., 2004). Os pontos de controle  $a$  e  $b$  devem ser inseridos na função adotada quando crescente e correspondem, respectivamente, aos valores máximo e mínimo que deverão compor a análise. Já os pontos de controle  $c$  e  $d$  correspondem ao máximo e mínimo das funções decrescentes. A função linear foi escolhida devido à simplicidade do método.

### 3.3.2 Obtenção dos Critérios da AMC

Baseado na consulta à especialistas e na literatura, os critérios considerados para estabelecer as áreas de maior infiltração na área de estudo foram: Geologia, Pedologia, Declividade, Formas do terreno e Uso do Solo. Para este estudo não foram consideradas restrições, uma vez que o zoneamento das áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu abrange uma área muito extensa e as possíveis restrições não são representativas, por apresentarem áreas muito pequenas.

#### 3.3.2.1 Geologia

A classificação quanto à geologia foi determinada de acordo com a condutividade hidráulica dos materiais de origem das formações geológicas pertencentes à área de estudo de acordo com a Tabela 1, com as devidas adaptações, uma vez que na área de estudo, os sedimentos arenosos (inconsolidados) encontram-se próximos aos a corpos d'água, conferindo baixa infiltração e estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação da capacidade de infiltração das formações geológicas presentes na APA Botucatu

Formação	Capacidade de Infiltração	Classe
Serra Geral	Baixa	1
Teresina	Baixa	1
Bauru	Média	2
Sedimentos Inconsolidados	Média	2
Botucatu	Alta	3
Pirambóia	Alta	3

Para a padronização da escala correspondente à capacidade de infiltração das formações geológicas foi utilizada a função linear crescente cujos pontos de controle  $a$  e  $b$  correspondem aos valores 1 e 3.

### 3.3.2.2 Pedologia

Para a discriminação das classes de infiltração das unidades pedológicas existentes na APA Botucatu (Tabela 4) foram utilizados os valores de condutividade hidráulica dos solos presentes na APA, apresentados na Tabela 5 (FIORI et al., 2010).

Tabela 4. Classificação da capacidade de infiltração dos solos presentes na APA Botucatu

Solo	Capacidade de Infiltração	Classe
Neossolo	Baixa	1
Argissolo	Média	2
Nitossolo	Média	2
Latossolo	Alta	3
Neossolo Quartzarênico	Alta	3

Tabela 5. Classificação da condutividade hidráulica das classes de solos de acordo com Fiori et al. (2010)

Solo	K (m.s <sup>-1</sup> )
Neossolo	10 <sup>-6</sup>
Argissolo	2,5 x 10 <sup>-6</sup>
Nitossolo	2,5 x 10 <sup>-6</sup>
Latossolo	4,0 x 10 <sup>-6</sup>
Neossolo Quartzarênico	4,0 x 10 <sup>-6</sup>

A função utilizada para padronização da escala referente à capacidade de infiltração dos solos foi a linear crescente, cujos pontos de controle  $a$  e  $b$  correspondem a 1 e 3, respectivamente.

### 3.3.2.3 Declividade

A partir da interpolação das curvas de nível, hidrografia e pontos cotados, foi gerado um Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo. O MDT ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (FELGUEIRAS, 2001).

Como interpolador para obtenção do MDT, foi utilizado a técnica de triangulação, gerando um arquivo “Triangulated Irregular Network” (TIN) com a elevação do terreno. Para transformação do TIN para do MDT foi utilizado o método de interpolação do vizinho natural (natural neighbor), obtendo então do MDT da APA Botucatu.

A classificação do mapa de declividade foi categorizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A classificação da capacidade de infiltração das declividades presentes na APA Botucatu foi inversa ao aumento do declive, ou seja, quanto menor o declive, maior a capacidades de infiltração (FOX et al, 1997; HUANG et al., 2013). A Figura 6 relaciona a declividade com o gradiente de infiltração e escoamento superficial.

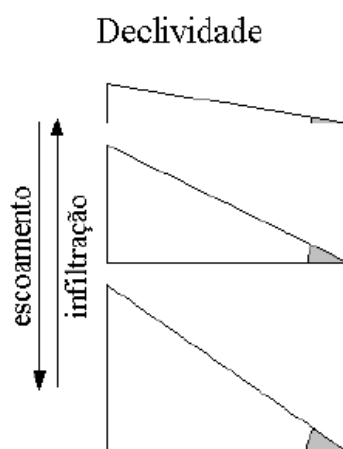


Figura 6. Representação da relação entre declividade e infiltração e escoamento. Fonte adaptado de Valeriano, 2008.

Na Tabela 6 encontra-se a classificação da capacidade de infiltração das classes de declividade adotada.

Tabela 6. Classificação da capacidade de infiltração das classes de declividade presentes na APA Botucatu

Declividade	Descrição	Capacidade de Infiltração	Classe
0 - 3%	Plano	Muito Alta	1
3 - 8%	Suave Ondulado	Alta	2
8 - 20%	Ondulado	Média	3
20 - 45%	Forte Ondulado	Moderada	4
45 - 75%	Montanhoso	Baixa	5
> 75%	Escarpado	Muito Baixa	6

Para a declividade a função utilizada para padronização foi decrescente, isto é, a classe 1 (*c*) corresponde à máxima infiltração enquanto a classe 6 (*d*) corresponde à menor infiltração.

#### 3.3.2.4 Formas do Relevo

A forma da encosta, ou geomorfologia, influencia na infiltração do terreno (MORAES, 2012). As formas do terreno expressam as combinações entre curvatura vertical e horizontal do terreno. A Figura 7 traz a descrição de cada tipo de curvatura. A geomorfologia associada à declividade regulam a velocidade do escoamento superficial, controlando a quantidade de água que infiltra no terreno (MORAES, 2012).

Para a classificação das formas do relevo foram adotadas as verificações da curvatura vertical e horizontal.

A curvatura vertical refere-se à variação da declividade ao longo de uma determinada distância, isto é, trata-se do caráter convexo, côncavo e retilíneo do terreno, quando analisado em perfil. Esta variável está relacionada com o transporte e



acúmulo de matéria na superfície, especialmente a água, influenciando a distribuição local do regime hídrico (VALERIANO, 2008).

A curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal, demonstra o caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo. Assim como a curvatura vertical, a curvatura horizontal está relacionada com o transporte e acúmulo de água e outros materiais como minerais e matéria orgânica devido à ação da gravidade, desempenhando importante papel sobre o balanço hídrico (VALERIANO, 2008).

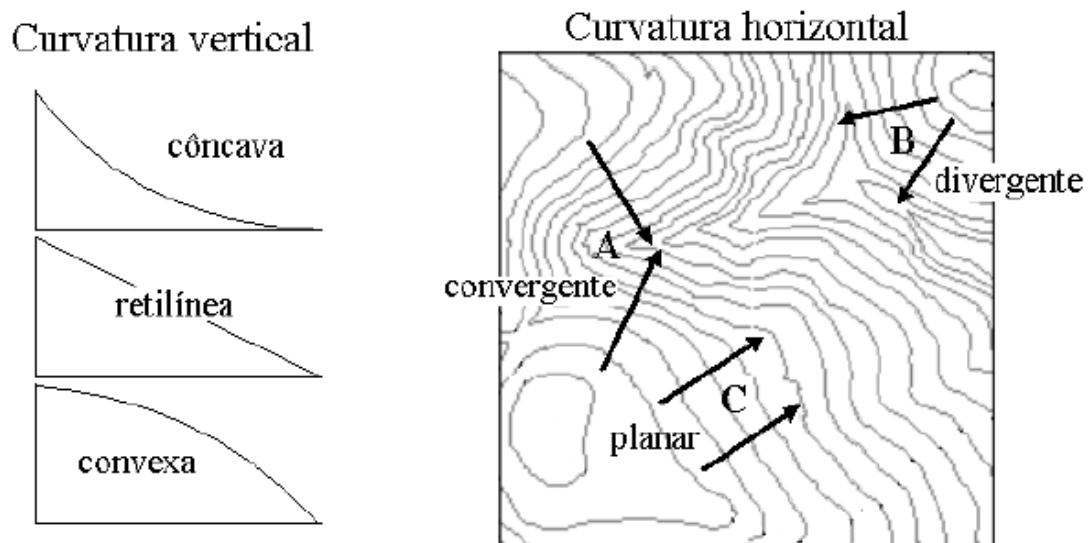


Figura 7. Descrição dos tipos de curvatura horizontal e vertical do terreno. Fonte: adaptado de Valeriano, 2008.

Foi considerado para este fator que o fluxo tende a ser convergente nas áreas côncavas e divergente nas áreas convexas (Figura 8). Áreas onde ocorre maior convergência de fluxo tendem a infiltrar menos uma vez que o escoamento superficial prevalece, enquanto o oposto ocorre em áreas divergentes da encosta. Regiões de maior concavidade estão, em geral, associadas a áreas onde ocorre maior fluxo subsuperficial e, portanto, diminuição da capacidade de infiltração do solo. Estas são normalmente áreas de descarga, ao passo que regiões convexas do relevo tendem a apresentar altas taxas de infiltração (MORAES, 2012). As curvaturas planar e retilínea foram classificadas como intermediárias quanto à infiltração entre as curvaturas horizontal e vertical respectivamente.

A Figura 8 traz o exemplo dos diferentes tipos de fluxos que ocorrem em uma vertente.

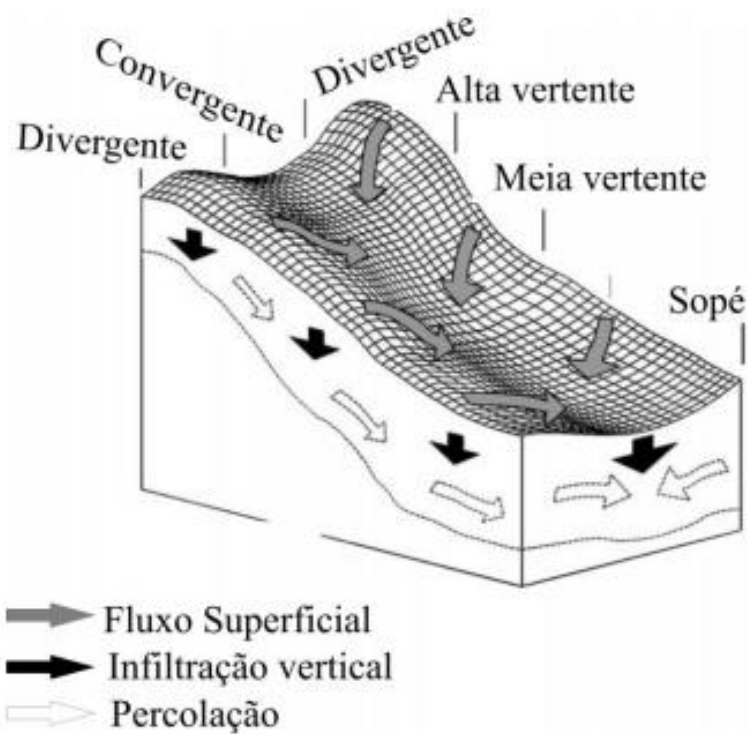


Figura 8. Exemplos de fluxos em uma vertente (traduzido por MORAES, 2012).

A combinação adotada entre os tipos de curvatura existentes forneceram informações mais detalhadas sobre a capacidade de infiltração do terreno e estão relacionadas na Figura 9.

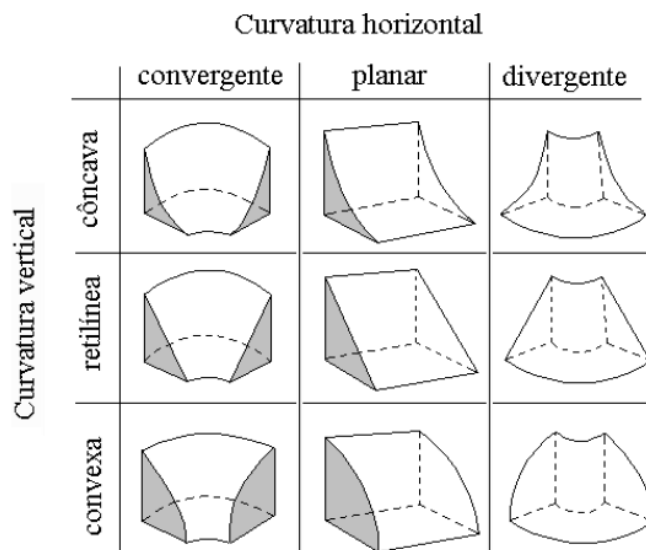


Figura 9. Combinações entre tipos de curvatura. Fonte: Adaptado de Valeriano (2008).

A capacidade de infiltração de cada tipo de combinação das formas do terreno foi classificada de modo crescente, da menor infiltração para a maior e estão representadas na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação da capacidade de infiltração de acordo com geomorfologia da APA Botucatu

Formas do Relevo	Capacidade de Infiltração	Classe
Convergente Côncava	Extremamente Baixo	1
Convergente Retilíneo	Fortemente Baixo	2
Convergente Convexa	Forte	3
Planar Côncava	Acentuado	4
Planar Retilínea	Moderado	5
Planar Convexa	Médio	6
Divergente Côncava	Alto	7
Divergente Retilínea	Muito Alto	8
Divergente Convexa	Excessivo	9

Para obtenção dos dados de formas do relevo foram utilizados os dados Topodata, cuja escala é 1: 250.000.

A função utilizada para padronização da escala referente à capacidade de infiltração das formas do relevo foi a linear crescente, cujos pontos de controle  $a$  e  $b$  correspondem a 1 e 9, respectivamente.

### 3.3.2.5 Uso da terra

A identificação das feições das imagens foi realizada por meio de classificação em tela, também chamada de análise visual da imagem. De acordo com Novo (2008), este tipo de classificação consiste em examinar uma imagem, identificar os objetos e estabelecer julgamentos sobre suas propriedades, assim, um analista irá interpretar as cores, padrões e formas a partir de uma inspeção visual da imagem. As classes foram divididas conforme os usos predominantes que possuem maiores diferenças quanto à infiltração na área de estudo. São elas: Chácaras e condomínios, Culturas Anuais, em sua maioria cultura de cana de açúcar, Culturas Perenes, que representa em geral o cultivo de citrus, Pastagens, Reflorestamento, em que pinus e eucalipto são representados, sendo o último mais expressivo, Mata Natural, Água e Estradas (Tabela 8).

Tabela 8. Classificação da capacidade de infiltração dos diferentes usos do território da APA Botucatu

Uso	Capacidade de Infiltração	Classe
Estrada	Inexistente	0
Água	Inexistente	0
Área Antropizada	Muito Baixa	1
Reflorestamento	Baixa	2
Culturas Perenes	Média	3
Culturas Anuais	Moderada	4
Pastagem	Alta	5
Vegetação Natural	Muito Alta	6

As áreas classificadas como antropizadas possuem tanto áreas impermeáveis com permeáveis, desse modo, foram categorizadas com a menor infiltração. As demais classes foram classificadas de acordo com os resultados obtidos em um estudo desenvolvido em área de recarga do SAG devido às semelhanças das áreas de estudo, em que foi realizado um monitoramento da recarga do aquífero nos diferentes tipos de uso (LUCAS et al., 2012). Neste trabalho o autor ressaltou que as áreas de reflorestamento apresentaram baixa recarga no ano hidrológico chuvoso e inexistente no ano mais seco, devido, provavelmente, à alta evapotranspiração da cultura. As maiores taxas de infiltração obtidas foram para pastagem e cana de açúcar, deixando as culturas perenes, em sua maioria cultura de citrus, em nível intermediário de recarga no período estudado. Florestas naturais possuem maiores taxas de infiltração (KRISHNASWAMY, 2013; NERIS et al., 2012; BROWN et al, 2005), portanto foram classificadas com a maior capacidade de infiltração.

### **3.4 Análise da Importância dos Fragmentos para Conectividade da Paisagem**

A fim de manter a dispersão natural e, conseqüentemente, a preservação das espécies em seu meio natural, são necessárias ações que objetivem a conectividade da paisagem. Foi utilizado o programa Conefor Sensinode, porque tem mostrado-se uma importante ferramenta de suporte à decisão no planejamento ambiental quando levada em consideração a conectividade da paisagem (SAURA;TORNÉ, 2009).

Neste estudo, o Conefor Sensinode 2.6 foi utilizado para estabelecer os fragmentos mais importantes para a conexão da paisagem. O programa baseia-se na teoria dos grafos e no conceito de disponibilidade de habitat (SAURA;TORNÉ, 2009).

Um grafo é um conjunto de vértices conectados através de suas arestas. A paisagem analisada sob a perspectiva da teoria dos grafos considera a mancha de habitat como um vértice e cada conexão as arestas, assim, cada conexão une duas manchas. As manchas representam habitat potencial para uma determinada espécie, enquanto as conexões são a habilidade potencial de dispersão direta de uma espécie entre dois fragmentos ou um corredor (SAURA; TORNÉ, 2009).

Disponibilidade de habitat integra duas importantes características da paisagem: área de habitat e conectividade entre habitat, uma vez que para uma área estar facilmente disponível para determinada espécie ela deve ser abundante, bem como estar conectada. Os autores justificaram que duas pequenas manchas conectadas podem não ter o mesmo efeito para uma determinada população que um grande fragmento (PASQUAL-HORTON; SAURA, 2006).

O índice selecionado para utilização foi o Índice Integral da Conectividade (IIC), pois incorpora tanto a área quanto a conectividade entre fragmentos, além de outros elementos, mostrando-se um bom índice para avaliar a conectividade em qualquer paisagem, conectada ou não (PASQUAL-HORTON; SAURA, 2006). Além disso, o IIC considera os fragmentos menores como “stepping stones”, responsáveis por manter a conectividade entre outros habitat (GARCÍA-FECEDA et al., 2011).

O IIC é um índice binário, isto é, considera dois fragmentos como conectados ou não, a depender da distância funcional entre eles. Esse índice varia de 0 a 1 conforme o aumento da conectividade, portanto, IIC será 1 quando toda a paisagem estiver ocupada por habitat. O fragmento é considerado conectado se a distância entre eles é inferior ao limite de dispersão de uma determinada espécie.

O IIC é dado pela equação 3 (SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007):

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (3)$$

Onde:

n=número total de fragmentos na paisagem;

$a_i$  e  $a_j$  = atributo dos fragmentos  $i$  e  $j$ ;

$nl_{ij}$ = número de conexões no caminho mais curto (distância topológica) entre os fragmentos  $i$  e  $j$ ;

$A_L$ = área total.

A utilização do IIC requer a distância de dispersão direta de uma dada espécie, considerando, portanto, a distância funcional entre os fragmentos para definir as conexões entre os mesmos.

A espécie focal adotada neste estudo para avaliação da conexão da paisagem foi uma espécie de ave de sub-bosque hipotética, cuja distância de dispersão é de 50 metros. Essa distância foi adotada, pois se verificou que a maior parte das espécies de sub-bosque não percorre mais de 50 metros em vegetação aberta (AWADE; METZGER, 2008).

Foram considerados habitat, fragmentos com vegetação em estágio médio a avançado de regeneração, sem restrição quanto ao tamanho de área, pois fragmentos menores podem ser tão importantes quanto fragmentos maiores para a conectividade em determinadas paisagens (MARTENSEN et al, 2008). Portanto, fragmentos com mais de 50 metros de distância foram considerados não conectados.

Aves de sub-bosque são adequadas para estudos de fragmentação, pois em geral, não alcançam longos voos e são restritas ao sub-bosque de florestas densas, restringindo a capacidade de dispersão das espécies desse grupo. Se uma paisagem apresentar conectividade funcional para aves de sub-bosque, conseqüentemente, outras espécies florestais mais generalistas serão capazes de movimentar-se na mesma paisagem (CASTELLON; SIEVING, 2006). São denominadas de espécies guarda-chuva (GOULART et al., 2013).

A importância de cada fragmento para a conexão da paisagem em função de um determinado índice (I) é denominada “dI”, que é obtido de acordo com a equação 4 (SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007):

(4)

$$dI (\%) = 100. \frac{I - I_{(removido)}}{I}$$

Em que:

I= Índice total quando todos os fragmentos estão presentes na paisagem;

I<sub>(removido)</sub>= índice total após a remoção de um único fragmento da paisagem.

Assim, quanto maior o valor de dI, maior será a importância do fragmento para a conexão da paisagem. Esse índice é importante para a preservação e melhora da conexão da paisagem que devem ser premissas para projetos de restauração (SAURA; PASCUAL-HORTAL, 2007).

Após a obtenção do dI para o IIC, portanto, dIIC, seus valores foram reescalados através da função linear da Lógica Fuzzy com um alcance de 0 a 1, a fim de facilitar a interpretação e escolha dos fragmentos eleitos para serem conectados.

### **3.5 Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem**

As áreas eleitas como prioritárias para conexão da paisagem foram aquelas 20% mais favoráveis à infiltração, resultante da combinação dos fatores adotados e combinados através da Combinação Linear Ponderada, que propiciem espacialmente condições para que haja conectividade entre os fragmentos tidos como mais importantes a partir do Índice Integral da Conectividade.



## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Critérios da Análise Multicritério**

#### **5.1.1 Geologia**

As formações geológicas contidas na área de estudo estão representadas na Figura 10 e suas respectivas áreas na Tabela 9.

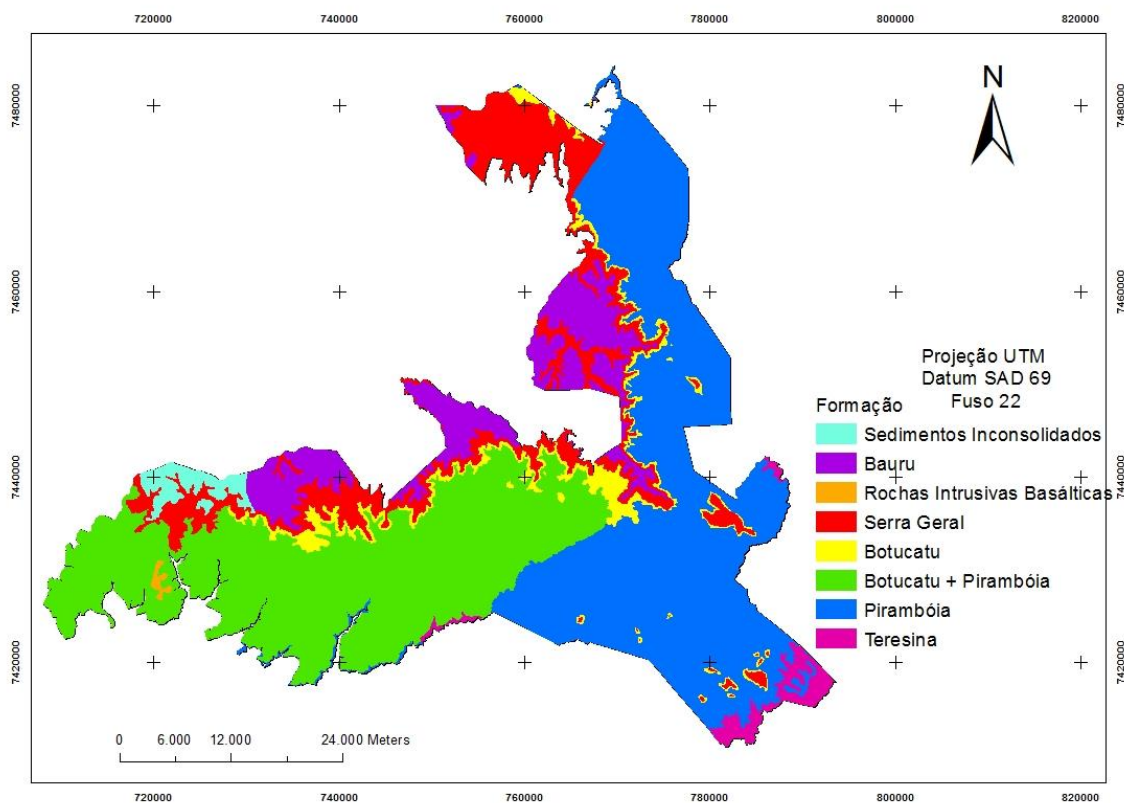


Figura 10. Formações geológicas de ocorrência na APA Botucatu.

Tabela 9. Área ocupada pelas formações geológicas na APA Botucatu e suas respectivas porcentagens

Formações	Capacidade de infiltração	Área (ha)	%
Teresina	Baixa	4.182	1,94
Pirambóia	Alta	79.568	36,90
Serra Geral	Baixa	28.409	13,18
Botucatu	Alta	9.647	4,47
Bauru	Média	20.767	9,63
Sedimentos Inconsolidados	Baixa	3.433	1,60
Rochas Intrusivas Basálticas	Baixa	397	0,18
Botucatu + Pirambóia	Alta	69.207	32,10

A região de alta capacidade de infiltração, apresentada na Figura 11 encontra-se na Depressão Periférica devido ao afloramento das Formações Botucatu e Pirambóia (Figura 10), somando 73% da área total (Tabela 9). Estes são os arenitos de constituição do Aquífero Guarani e, conseqüentemente, região de recarga.

O arenito Bauru, de menor condutividade hidráulica que o Botucatu e Pirambóia, confere média capacidade de infiltração ao reverso da Cuesta, que é separado do Front pelo derrame basáltico da Formação Serra Geral com baixa capacidade de infiltração devido à pouca porosidade da sua composição.

Com a padronização da capacidade de infiltração das rochas por meio da lógica fuzzy, de acordo com a classificação representada na Tabela 3, o mapa obtido está representado na Figura 11.

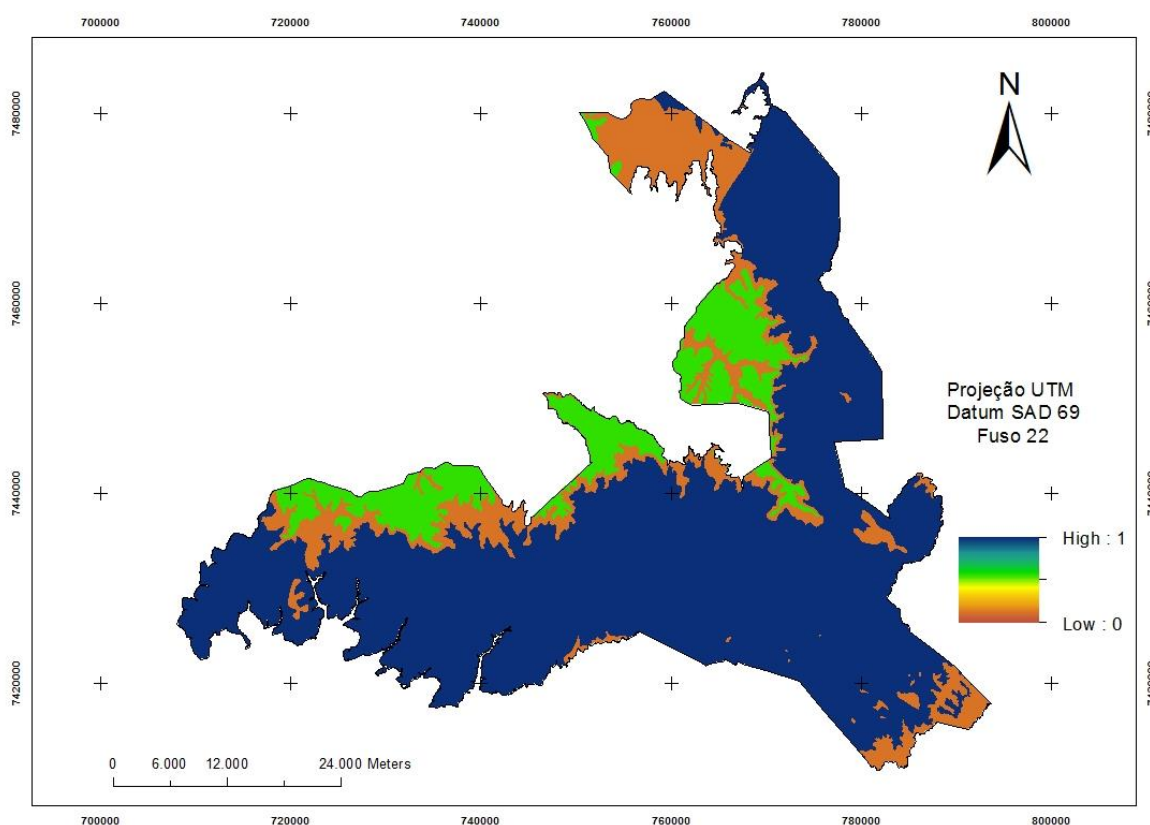


Figura 11. Padronização da capacidade de infiltração do mapa geológico em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.

### 5.1.2 Pedologia

As unidades pedológicas presentes na área de estudo estão espacializadas na Figura 12 e suas respectivas áreas na Tabela 10.

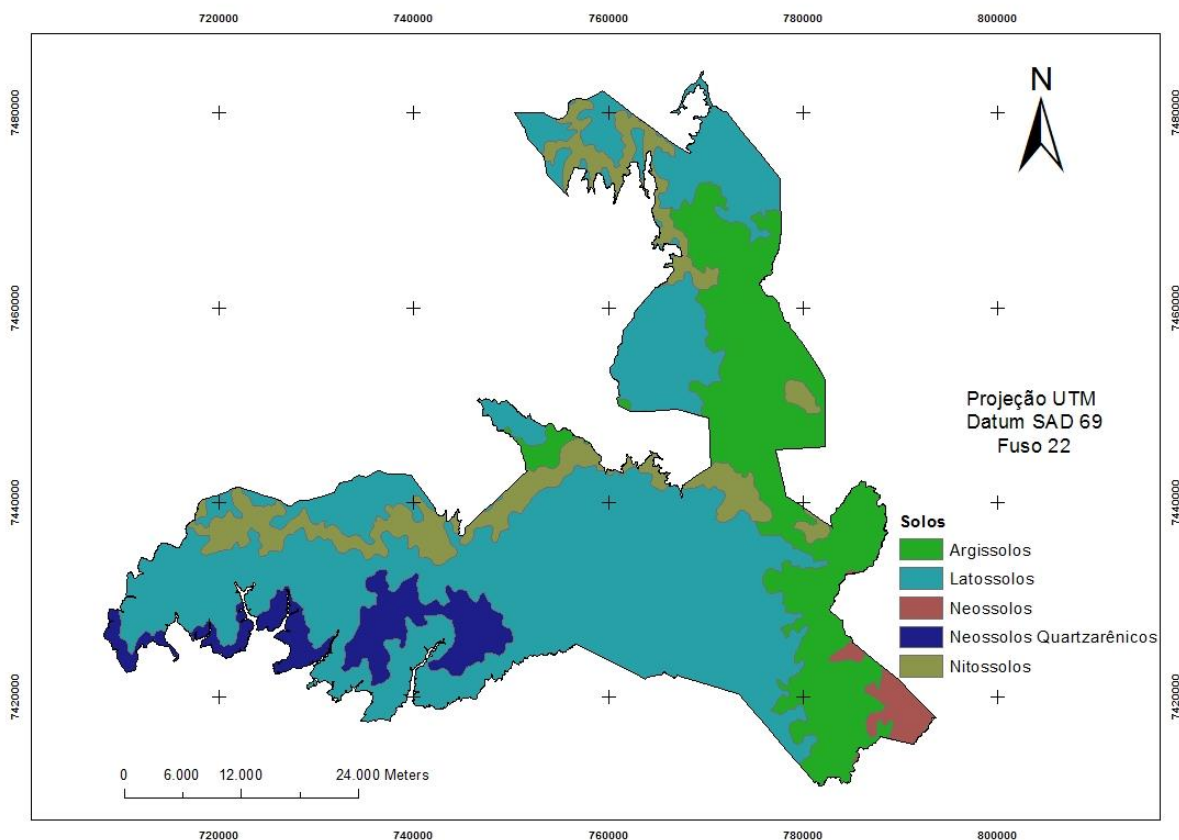


Figura 12. Unidades pedológicas da APA Botucatu.

Tabela 10. Área ocupada pelas classes de solos presentes na APA Botucatu e suas respectivas porcentagens

Solo	Infiltração	Área (ha)	%
Neossolo	Baixa	3.432,25	1,60
Nitossolos	Média	23.250,88	10,78
Argissolos	Média	48.480,81	22,48
Latossolos	Alta	125.462,75	58,18
Neossolo Quartzarênico	Alta	14.988,41	6,96

Os solos predominantes na APA são o Latossolo seguido do Argissolo, que ocupam em torno de 80% da área de estudo. Devido à alta condutividade hidráulica do primeiro e média do segundo (Tabela 5), somado aos outros solos de média e alta capacidade de infiltração, há, conseqüentemente, grande potencial de infiltração dos solos para aproximadamente toda a área da APA Botucatu.

Com a padronização da escala pela lógica fuzzy, de acordo com a Tabela 4, o mapa obtido está representado pela Figura 13.

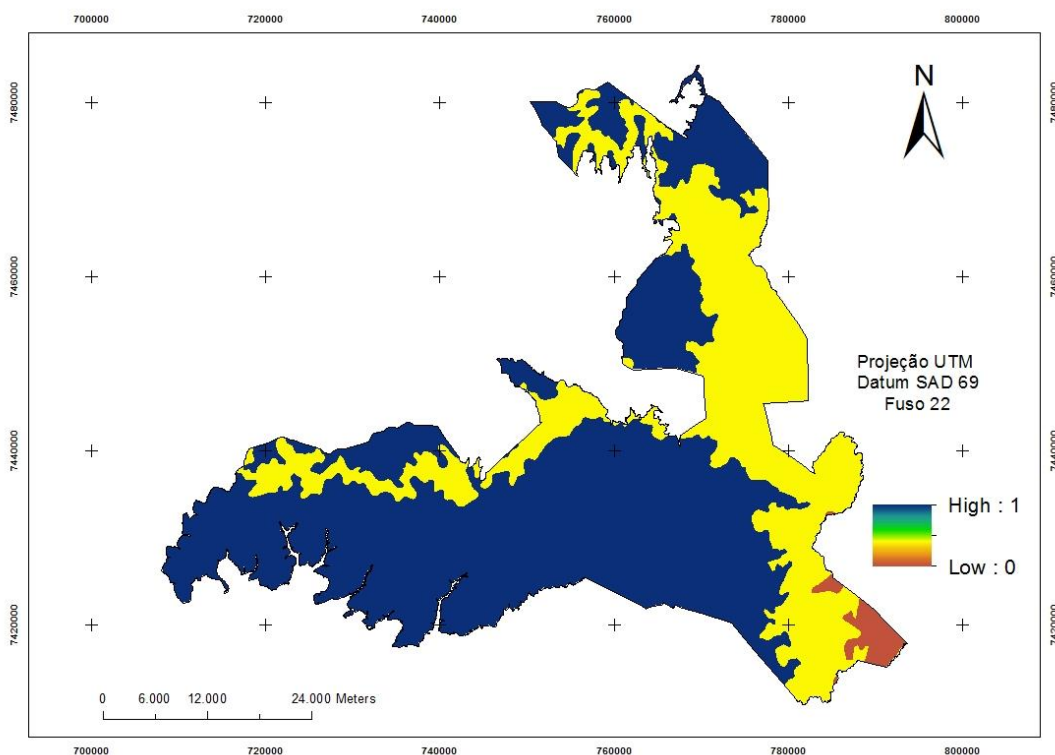


Figura 13. Padronização da capacidade de infiltração dos solos presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.

### 5.1.3 Declividade

As classes de declive da APA Botucatu estão representadas na Figura 14.

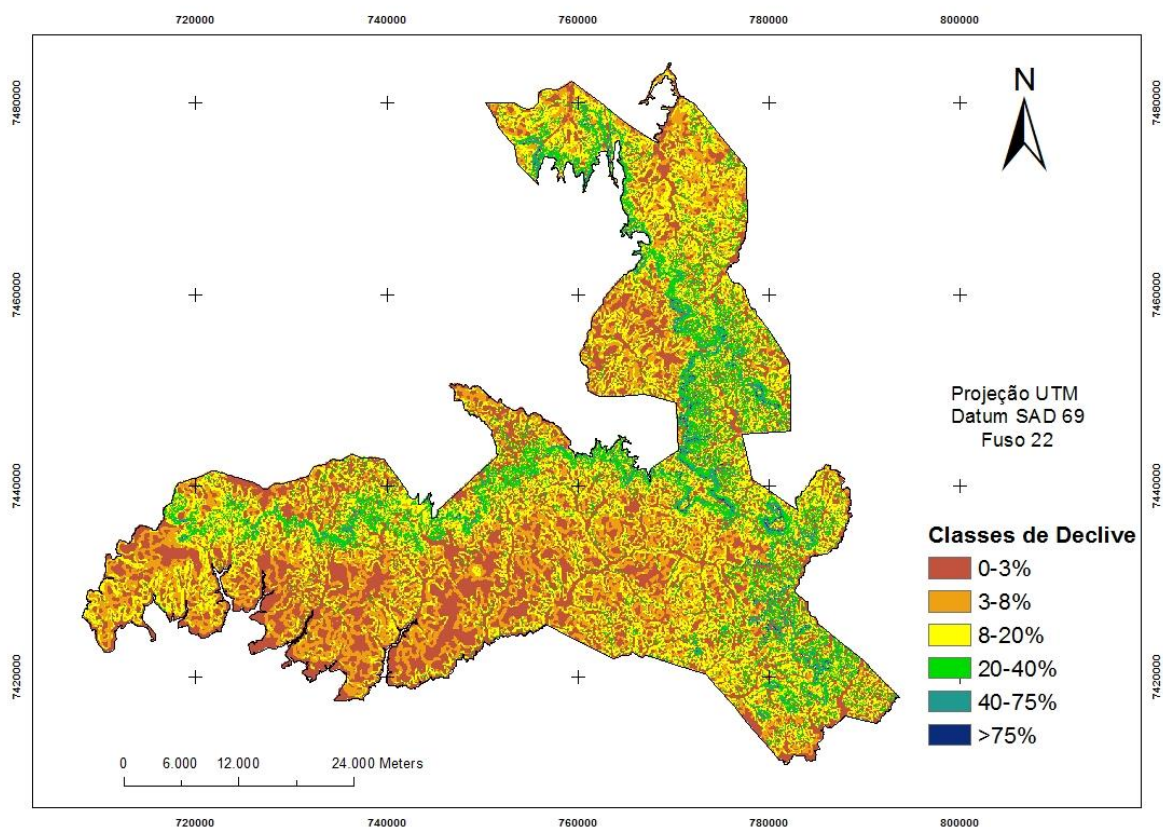


Figura 14. Classes de declive em porcentagem presentes na APA Botucatu.

A declividade predominante na APA Botucatu varia de plano a ondulado (Tabela 6). Apenas na região da Cuesta o terreno apresenta-se como moderadamente ondulado a montanhoso e em alguns pontos, escarpado.

Quanto menor a declividade do terreno maior será a infiltração. Há, portanto, áreas de alta infiltração em toda a extensão da Unidade de Conservação, entretanto são mais abundantes a sudoeste na Depressão Periférica.

A região mais declivosa, correspondente à Cuesta, possui baixa aptidão à infiltração.

Há presença de médias declividades (ondulado) por toda região devido à grande concentração de morros testemunhas e colinas, com valores intermediários de infiltração.

Após a padronização da escala das classes de declive por meio da lógica fuzzy, de acordo com a Tabela 6, foi obtido o mapa da Figura 15.

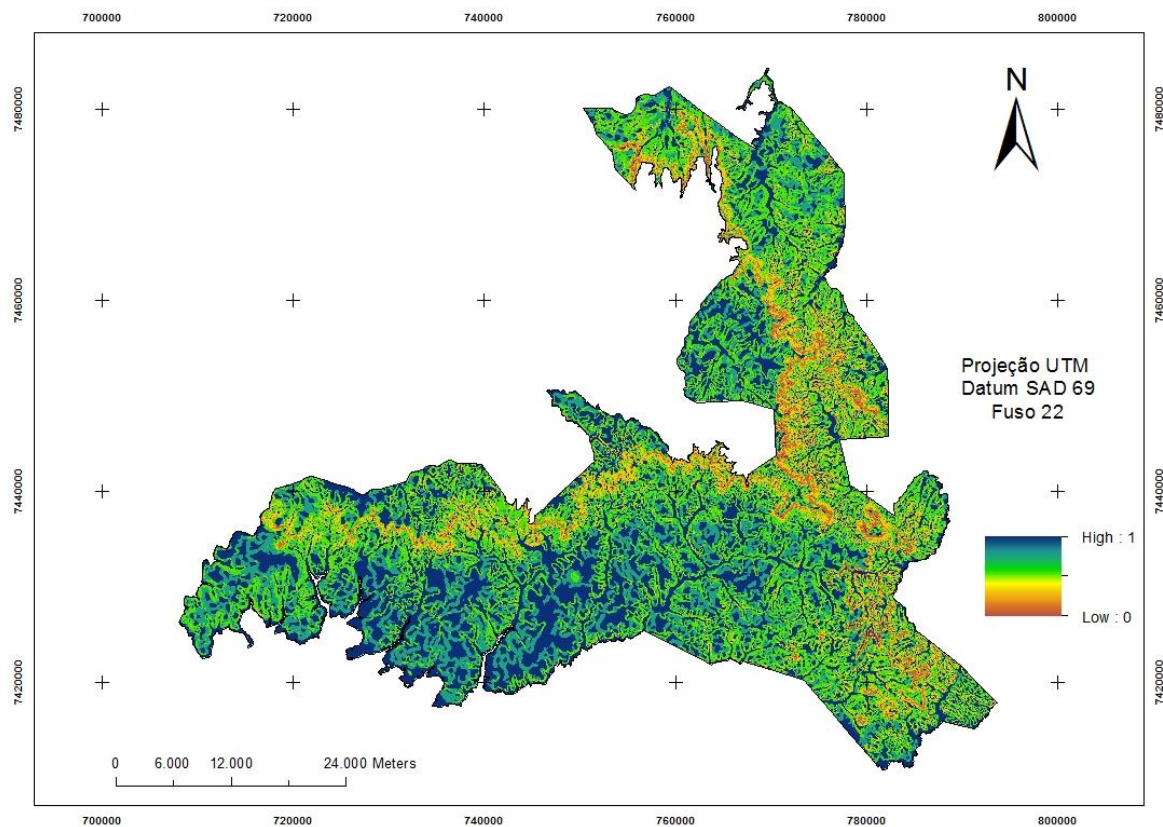


Figura 15. Padronização da capacidade de infiltração das classes de declive da APA Botucatu em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.

#### 5.1.4 Formas do Relevo

As formas do relevo contempladas na área de estudo, classificadas de acordo com a Tabela 7, encontram-se na Figura 16.

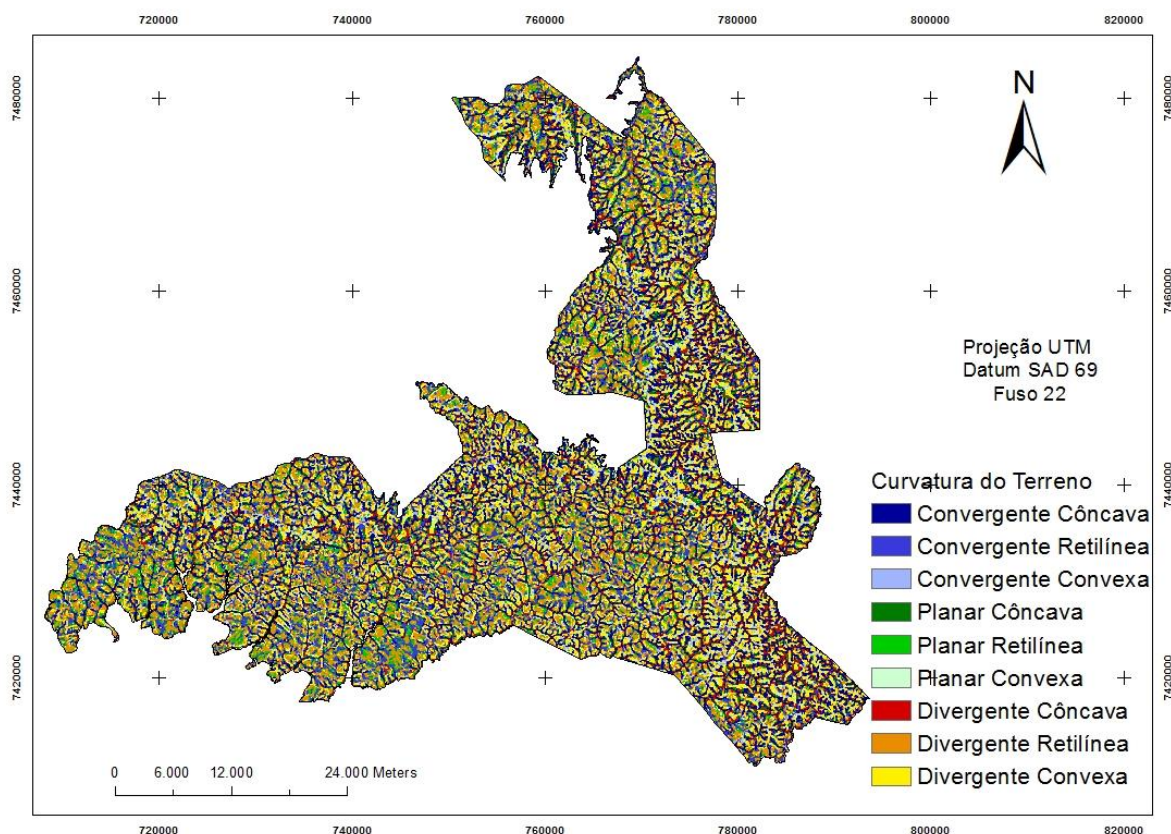


Figura 16. Formas do relevo (curvaturas vertical e horizontal) encontradas na APA Botucatu.

A padronização da escala através da lógica fuzzy confere às formas do relevo as feições contidas na Figura 17.

As áreas de curvaturas convergente e côncava assemelham-se com o mapa da rede hidrográfica da região. Isso ocorre, pois na região de ocorrência desses tipos de curvatura culminam os fluxos de água oriundos da precipitação devido à convergência do terreno e possuem o lençol freático mais superficial graças à concavidade, dando origem aos leitos dos rios (MORAES, 2012). Essa região possui, portanto, baixo potencial de infiltração.

Na região da Cuesta há pouco ou nenhum terreno divergente convexo tornando essa região pouco propícia à infiltração, ao contrário da Depressão Periférica e Reverso da Cuesta, que possuem muitas áreas em condições ideais à infiltração considerando este critério.



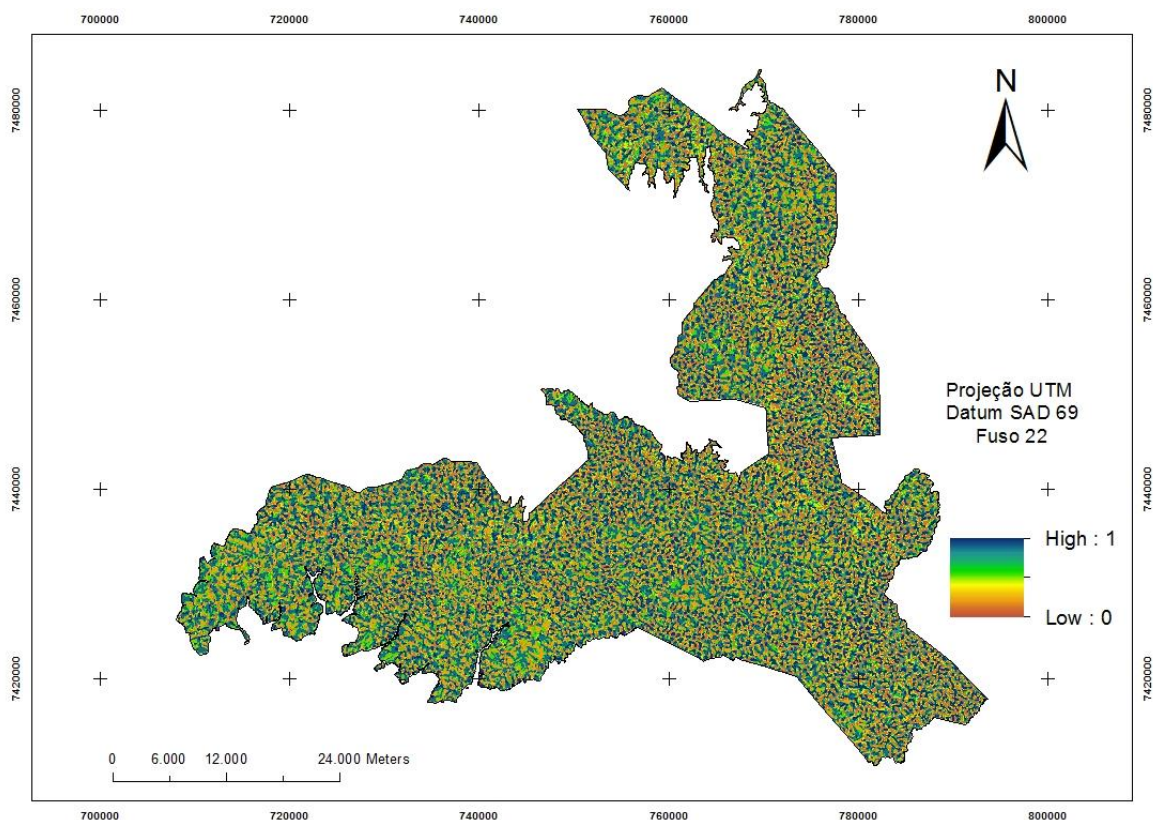


Figura 17. Padronização da capacidade de infiltração das formas do relevo presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.

### 5.1.5 Uso da terra

A classificação territorial obtida na APA Botucatu está representada na Figura 18 com a respectiva área de cada classe na Tabela 11.

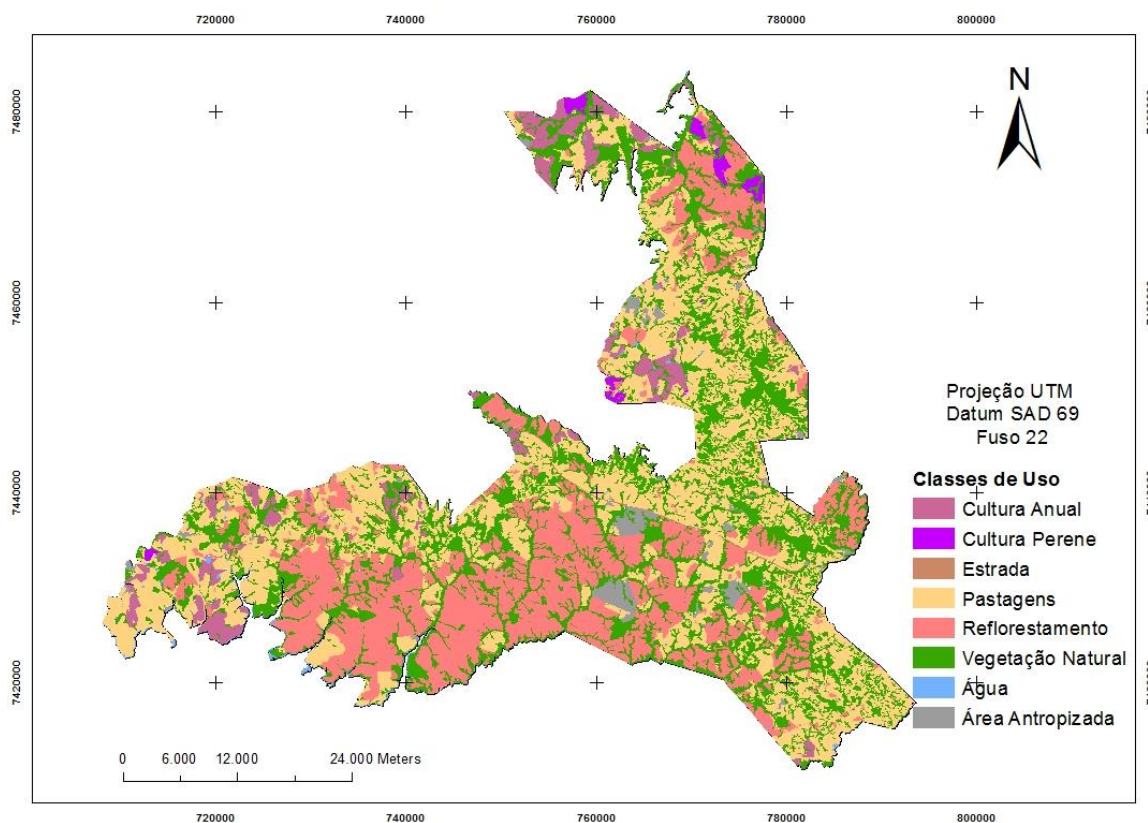


Figura 18. Classes de Uso da APA Botucatu.

Tabela 11. Área ocupada pelas classes de uso e suas respectivas porcentagens na APA Botucatu

Cobertura do solo	Área (ha)	%
Estrada	433,29	0,20
Água	1.047,37	0,49
Cultura Perene	1.748,39	0,81
Área Antropizada	4.300,49	1,99
Cultura Anual	10.368,64	4,81
Reflorestamento	60.400,93	28,00
Vegetação Natural	63.678,98	29,51
Pastagem	73.777,22	34,19

A padronização da escala do mapa das classes de uso de acordo com a Tabela 8, por meio da lógica Fuzzy, está representada na Figura 19.

A cobertura da APA Botucatu garante alta infiltração de modo geral, uma vez que as classes pastagem e vegetação natural, classificadas como alto grau de infiltração (Tabela 8), ocupam juntas mais de 50% da APA.

Áreas de reflorestamento são também bastante expressivas na área de estudo, especialmente ao sul, na região de afloramento dos arenitos Botucatu e Pirambóia.

Um estudo realizado na Espanha que relacionou cobertura do solo e produção de água verificou que as pastagens estão diretamente correlacionadas com a produção de água, ao passo que florestas exóticas como plantações de pinus e eucalipto estão inversamente correlacionadas com a produção de água na bacia. Essa relação deve-se à alta demanda de evapotranspiração pelas espécies exóticas citadas (GARMENDIA et al., 2011).

Desse modo, a presença de florestas exóticas numa área de afloramento do Aquífero Guarani pode comprometer o volume de recarga e, conseqüentemente, o abastecimento do mesmo.

Os efeitos das atividades antrópicas nas áreas de recarga e descarga se sobrepõem às alterações naturais das águas subterrâneas devido aos efeitos climáticos, entretanto, as conseqüências são cumulativas e podem não ser detectadas por um longo período de tempo (ALLEY, 2009).

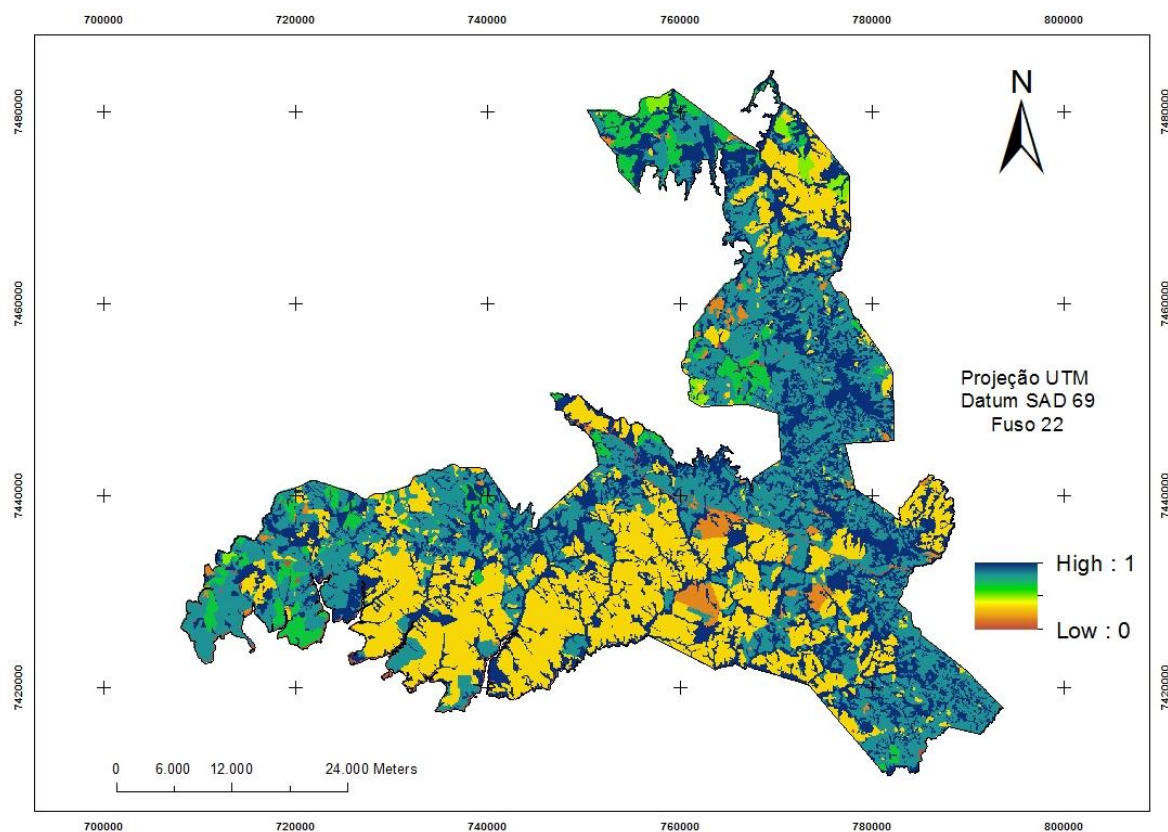


Figura 19. Padronização da capacidade de infiltração das classes de uso presentes na APA Botucatu, em escala de 0 a 1 com valores de importância crescentes.

## 5.2 Zonas Favoráveis à Infiltração

Os pesos finais dos critérios adotados estão enumerados na Tabela 12 e o Índice de Consistência obtido da matriz de comparação pareada foi de 0,02, indicando consistência adequada (SAATY, 1987).

Tabela 12. Pesos dos critérios estabelecidos para discriminação das áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu.

Critérios	Pesos
Geologia	0,0618
Geomorfologia	0,0973
Declividade	0,1599
Pedologia	0,2625
Cobertura do solo	0,4185

O mapa de áreas favoráveis à infiltração e percolação, com consequente abastecimento do lençol freático, obtido através da Combinação Linear Ponderada está representado na Figura 20.

A APA Botucatu apresenta de modo geral alto potencial de infiltração e percolação e, conseqüentemente, alta favorabilidade de abastecimento do lençol freático, com valores medianos a altos como mostra o mapa da Figura 20.

Os fatores pedologia e cobertura do solo correspondem juntos a aproximadamente 65% do peso da AMC, isto é, combinados, esses fatores representam mais da metade da importância da análise utilizada para delimitação das áreas mais favoráveis à infiltração. Portanto, o mapa resultante da AMC configura-se de modo semelhante a uma combinação de ambos os mapas.

As regiões mais com maior potencial de infiltração foram aquelas cobertas com Pastagens e Vegetação Natural nos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, que foram classificados com maior potencial de infiltração entre seus respectivos fatores.

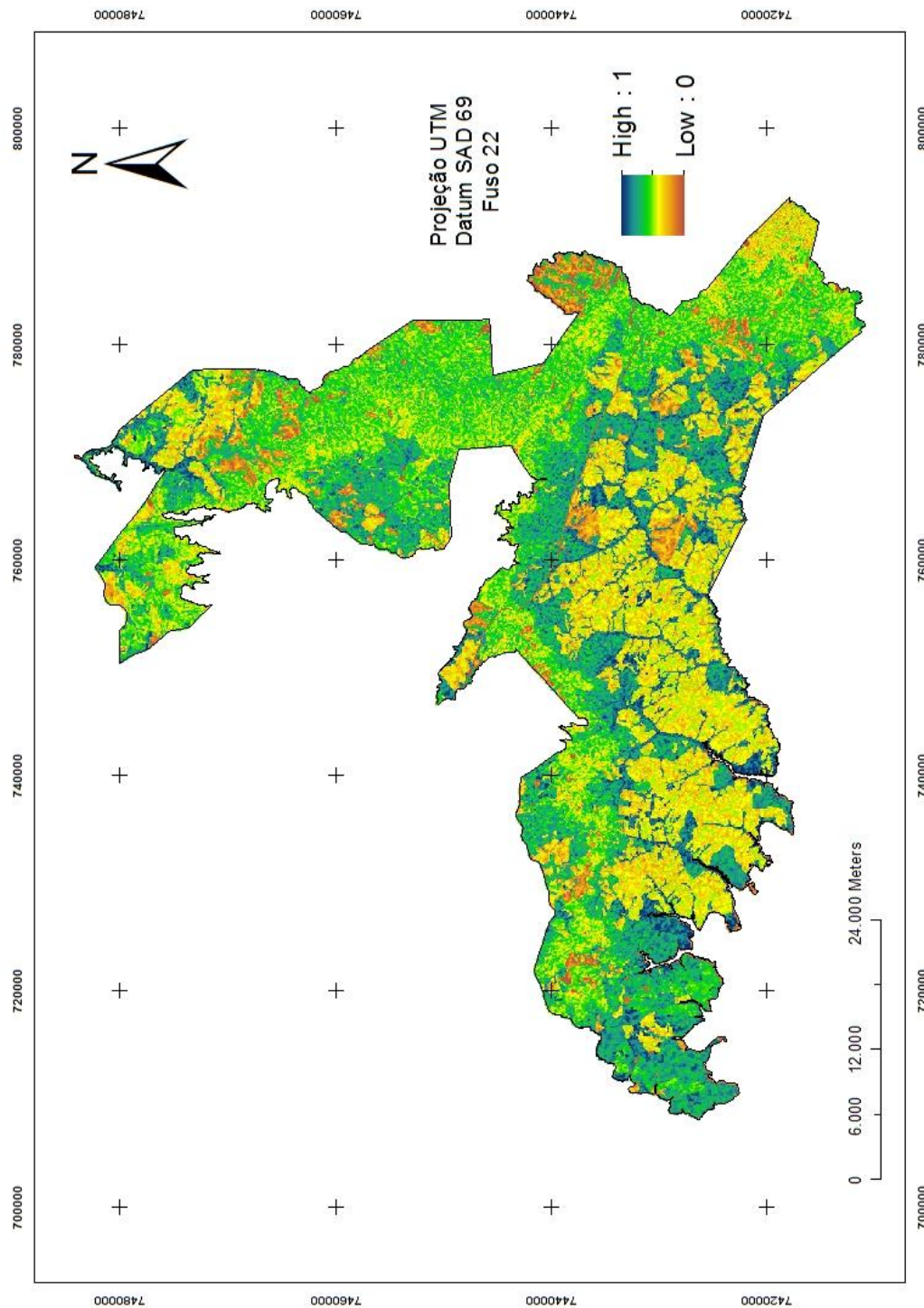


Figura 20. Mapa de áreas favoráveis à infiltração na APA Botucatu em escala de 0 a 1, com valores crescentes de importância.

As áreas classificadas como reflorestamento, em sua maioria tratam-se de eucalipto na região estudada, ocupam uma área expressiva da APA Botucatu,

em torno de 30% e são visivelmente áreas de menor tendência à contribuir com a infiltração (Figura 20) e abastecimento do lençol freático devido ao manejo dado. As plantações de eucalipto concentram-se em áreas de Latossolo, que ocupam mais da metade da UC (Tabela 11) e tratam-se dos solos com alta condutividade hidráulica, mas como a cultura demanda altas taxas de evapotranspiração, pode dificultar o abastecimento do lençol freático.

As alterações nos ecossistemas partem, em geral, da crescente demanda por alimento, madeira, água, fibras e combustível. A produção de madeira, por exemplo, triplicou nas últimas décadas e o uso da água dobrou, o que proporcionou um maior desenvolvimento econômico e melhor qualidade de vida para uma parte da população, entretanto esses benefícios deram-se em detrimento dos ecossistemas e serviços a eles associados (DUMANSKY, 2010).

As áreas de Argissolos, classificadas com médio potencial de infiltração com culturas de eucalipto, apresentaram baixa tendência à infiltração (Figura 20), entretanto, essas áreas encontram-se em área de afloramento do arenito Pirambóia e, conseqüentemente, área de recarga do Aquífero Guarani.

As áreas classificadas como antropizadas, que se tratam em sua maioria de condomínios de chácaras, também dificultam a infiltração devido à impermeabilização do solo, mas ocuparam pequenas áreas esparsas na UC (Figura 18).

As regiões de declive mais acentuado na área de estudo, correspondentes à Cuesta Basáltica e morros testemunhos (Figura 14), pouco favoráveis à infiltração, concentram-se muitos fragmentos de vegetação natural e pastagens, favoráveis à infiltração. Contudo, coberturas que mais propiciam a infiltração e recarga do lençol freático, como a vegetação natural, deveriam ter ocupação expressiva também em regiões mais planas, com maior potencial à infiltração, uma vez que o declive possui papel importante na análise, totalizando 15% entre os pesos. As regiões de declive acentuado necessitam de coberturas com alta demanda de infiltração para evitar processos erosivos, entretanto, a legislação brasileira, por meio do Código Florestal (Brasil, 2012), assegura a presença de cobertura natural para as áreas com declive acima de 45°, isto é, 100% de declive, consideradas Áreas de Preservação Permanente.

A Geologia (ALLEY, 2009) e Geomorfologia (MORAES, 2012) são importantes aspectos a se considerar numa análise de infiltração, entretanto neste estudo obtiveram pesos pouco expressivos, com 6 e 9%, respectivamente. Desse modo, a

contribuição desses fatores para a análise geral é possível observar apenas em escala mais detalhada e seriam mais expressivos em uma análise com objetivos mais detalhados.

Apesar do fator geologia não apresentar uma pontuação expressiva na AMC e, portanto, não assumir importante papel no processo de infiltração considerado, é o fator primordial para delimitar zonas de afloramento e recarga de aquíferos. Uma vez que um dos objetivos da criação da APA Botucatu foi a preservação das áreas de recarga do Aquífero Guarani (SÃO PAULO, 2010), atividades que comprometam a qualidade e quantidade de água de recarga devem ser evitadas nas zonas de afloramento que compreendem a região da Depressão Periférica formadas pelas formações Botucatu e Pirambóia (Figura 10).

As rochas são, em geral, o material de origem dos solos, conferindo características específicas aos seus solos originários (LEPSCH, 2011). Assim, na área estudada, o fator pedologia pode compensar a baixa pontuação adotada para a geologia, uma vez que são fatores complementares.

As áreas mais favoráveis à infiltração (AMFI) e abastecimento do lençol freático, correspondentes às pontuações acima de 0,8 na escala crescente de importância do mapa resultante da AMC, estão contidas na Figura 21, e contabilizam aproximadamente 74.000 ha, o que corresponde a 34% da APA Botucatu.

Como pode ser observado na Figura 21, as (AMFI) formam um extenso corredor ao sul da APA, numa faixa onde se encontram as pastagens e os maiores fragmentos de vegetação natural. Mais à noroeste, onde localiza-se parte da bacia do rio Pardo, há outra área com alto potencial de infiltração. A produção de água nessa bacia é essencial para a segurança do abastecimento do município de Botucatu. Os tipos de cobertura predominantes nessa região, como podem ser observados na Figura 18, são pastagens e cultura anual, classificadas como moderada e alta capacidade de infiltração, respectivamente, de acordo com a Tabela 8.



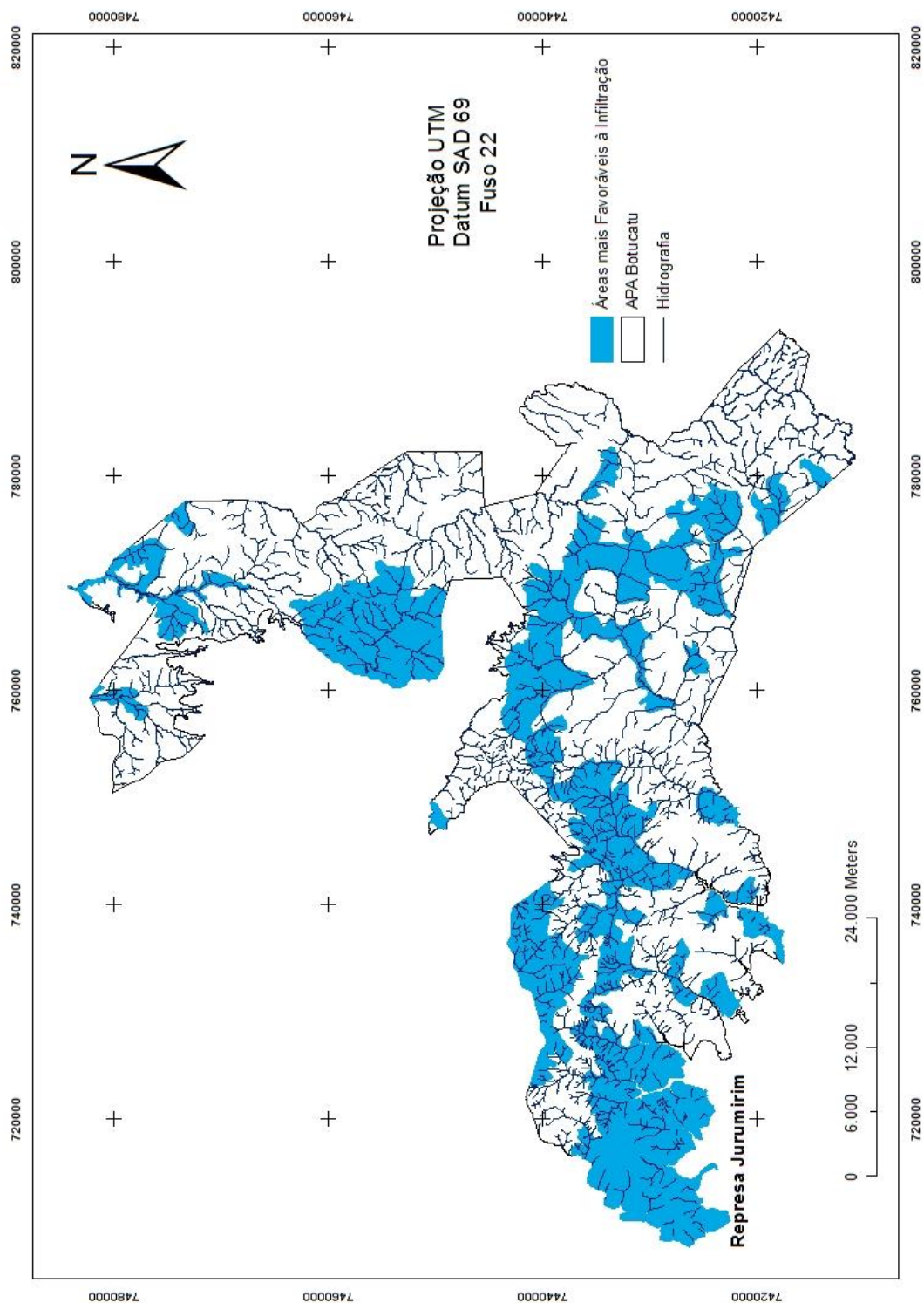


Figura 21. Áreas mais favoráveis à infiltração na APA Botucatu.

A ocupação das AMFI deu-se de acordo com a Tabela 11.

Tabela 13. Área ocupada pelas classes de uso e suas respectivas porcentagens nas AMFI da APA Botucatu

Cobertura do solo	%
Estrada	0,24
Água	0,78
Cultura Perene	0,68
Área Antropizada	1,83
Cultura Anual	6,97
Reflorestamento	10,51
Vegetação Natural	31,85
Pastagens	47,14

Devido à importância atribuída à cobertura do solo para a determinação das AMFI, estas correspondem, majoritariamente, às áreas cobertas por vegetação natural e pastagens (Tabela 13), com 70% da cobertura conjuntamente. Entretanto, muitas das pastagens estão abandonadas ou mal manejadas, diminuindo seu potencial de infiltração e contribuição para o abastecimento do lençol freático. Apenas 10% das AMFI estão ocupadas com a produção de eucalipto e 7% por culturas anuais.

A cultura mais expressiva na classe cultura anual na APA foi a cana-de-açúcar. Apesar de ser classificada como moderada capacidade de infiltração, o manejo impróprio dessa cultura, assim como outras culturas anuais, sem as devidas práticas de conservação de solo, pode acarretar em aumento do escoamento superficial e consequentemente diminuição da infiltração, aumentando os riscos de erosão. Práticas como terraceamento e plantio direto podem diminuir os danos decorrentes do plantio de culturas anuais (TUCCI; CLARKE, 1997).

Os herbicidas são os defensivos mais utilizados na cultura da cana-de-açúcar e seu uso inadequado pode contaminar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Em um estudo diagnóstico das moléculas de herbicidas presentes nos

sedimentos e leitos de rios na bacia do rio Corumbataí, com características semelhantes à algumas bacias presentes na APA Botucatu, foram encontrados alguns herbicidas em níveis acima do padrão de potabilidade brasileiro, especialmente em áreas de recarga do Aquífero Guarani (ARMAS, et al., 2007) o que sugere a necessidade de monitoramento da qualidade da água em regiões onde há predomínio dessa cultura, especialmente em bacias utilizadas para o abastecimento público.

Devido à estreita relação entre disponibilidade de água e cobertura do solo, é fundamental que atividades que favoreçam a disponibilidade de água tenham prioridade nos planejamentos do uso da terra para que a demanda hídrica da atual sociedade seja atendida. Além disso, tais medidas beneficiarão outros serviços ambientais como conservação da biodiversidade (GARMENDIA et al., 2012).

Um estudo avaliou a relação entre infiltração e evapotranspiração com diferentes tipos de cobertura e confirmou a hipótese de que florestas naturais permitem maior abastecimento do lençol freático quando comparadas com áreas degradadas e florestas plantadas (KRISHNASWAMY, 2013). Desse modo, a presença de vegetação natural deve ser priorizada em regiões mais favoráveis ao abastecimento do lençol freático.

Somente os solos de média e alta capacidade de infiltração fizeram-se presente nas AMFI, como pode ser observado na Tabela 14. Contudo, em torno de 90% dos solos de alta capacidade de infiltração são Latossolos.

Tabela 14. Capacidade de Infiltração dos solos presentes nas AMFI da APA Botucatu

Capacidade de Infiltração	%
Média	2,669462131
Alta	97,33053787

As AMFI foram alocadas em sua maioria em terrenos pouco declivosos, como demonstra a Tabela 15, como era esperado. Mais de 85% das áreas mais favoráveis à infiltração mantiveram-se com declividades entre 0 e 20%.

Tabela 15. Área ocupada pelas classes de declividade nas AMFI da APA Botucatu

Declividade	%
0 - 3%	37,1726
3 - 8%	21,72757
8 - 20%	30,51813
20 - 45%	8,85609
45 - 75%	1,643835
> 75%	0,081765

Mesmo com pouca contribuição na AMC, a Geologia demonstrou o comportamento esperado, com 70% das AMFI entre as rochas de maior capacidade de infiltração (Tabela 16) correspondentes aos arenitos Botucatu e Pirambóia (Tabela 3).

Tabela 16. Área ocupada pelas diferentes capacidades de infiltração das rochas presentes nas AMFI da APA Botucatu

Capacidade de Infiltração	%
Baixa	11,32
Média	18,20
Alta	70,48

As curvaturas vertical e horizontal demonstraram um comportamento bem diversificado (Tabela 17), pois além de terem baixa representatividade na pontuação entre os fatores compreendidos na AMC, as áreas de cada classe desse fator são pequenas e mosaicadas, o que dificulta um zoneamento mais amplo.

Tabela 17. Área ocupada pelas formas do terreno (curvaturas vertical e horizontal) nas AMFI da APA Botucatu

Formas do Relevo	%
Convergente Côncava	19,12
Convergente Retilíneo	13,57
Convergente Convexa	2,91
Planar Côncava	5,65
Planar Retilínea	9,51
Planar Convexa	3,74
Divergente Côncava	6,43
Divergente Retilínea	21,10
Divergente Convexa	17,97

Os fluxos que ocorrem na zona vadosa, originários da dinâmica entre as áreas de recarga e descarga, são determinados em primeira instância pelo clima. Entretanto, esse fluxo será modificado pelas características pedológicas e litoestratigráficas da zona vadosa, além do consumo da vegetação (SCHOENEGER; WYSOCKI, 2005). As características físicas de um determinado local como o clima, geologia, tipo de solo, declividade e formas do relevo não podem ser alteradas pelo homem, mas a cobertura que se faz presente no solo e seu manejo sim.

Há poucos estudos que utilizam AMC para determinação de áreas mais favoráveis à infiltração. Brito (2006) determinou áreas de máxima infiltração para delimitação da vulnerabilidade de áreas de recarga de aquífero utilizando a CLP, entretanto utilizou apenas fatores físicos, desconsiderando o efeito do uso no processo de infiltração. Apesar da cobertura do solo ser um fator dinâmico no tempo e espaço, é determinante no processo de infiltração, sendo, portanto, considerado no presente estudo como o fator mais importante.

As AMFI na APA Botucatu resultantes da análise conduzida localizaram-se em importantes regiões da UC como, por exemplo, as áreas de afloramento do arenito Bauru, na bacia do Rio Pardo, e dos arenitos Botucatu e Pirambóia, na

Depressão Periférica (regiões de baixa declividade). Os usos predominantes favorecem a infiltração, assim como os tipos de solos e rochas. Desse modo, AMC utilizada para delimitação das AMFI é adequada uma vez que destacou áreas que atendem aos requisitos da literatura considerados importantes para o objetivo proposto

### **5.3 Fragmentos Prioritários para Conexão da Paisagem**

A importância das manchas de vegetação para a conexão da paisagem em função da espécie focal escolhida, obtidas por meio do dIIC, variaram de 0 a 19 % de importância e estão representados na Figura 22.

A maior parte dos fragmentos da APA Botucatu obtiveram índices muito baixos, em média 0,013%, indicando a baixa disponibilidade de habitat para a espécie focal adotada (AYRAM et al., in press).

Os fragmentos de menor importância foram retirados, deixando apenas aqueles com valores de dIIC acima de 1. Contabilizaram 21 de 902 fragmentos no total e foram separados em quatro classes de importância (Figura 23).

O índice aplicado priorizou os fragmentos maiores e com maior número de conexões entre fragmentos de maior área dentro do limite de dispersão da espécie adotada. Portanto, se um fragmento possui a maior área entre seus vizinhos, mas não possui conexões dentro dos limites estabelecidos, ou, se é possível conectar-se, mas apenas com fragmentos de tamanhos reduzidos, ele obteve um baixo dIIC, isto é, baixa importância para a conectividade.

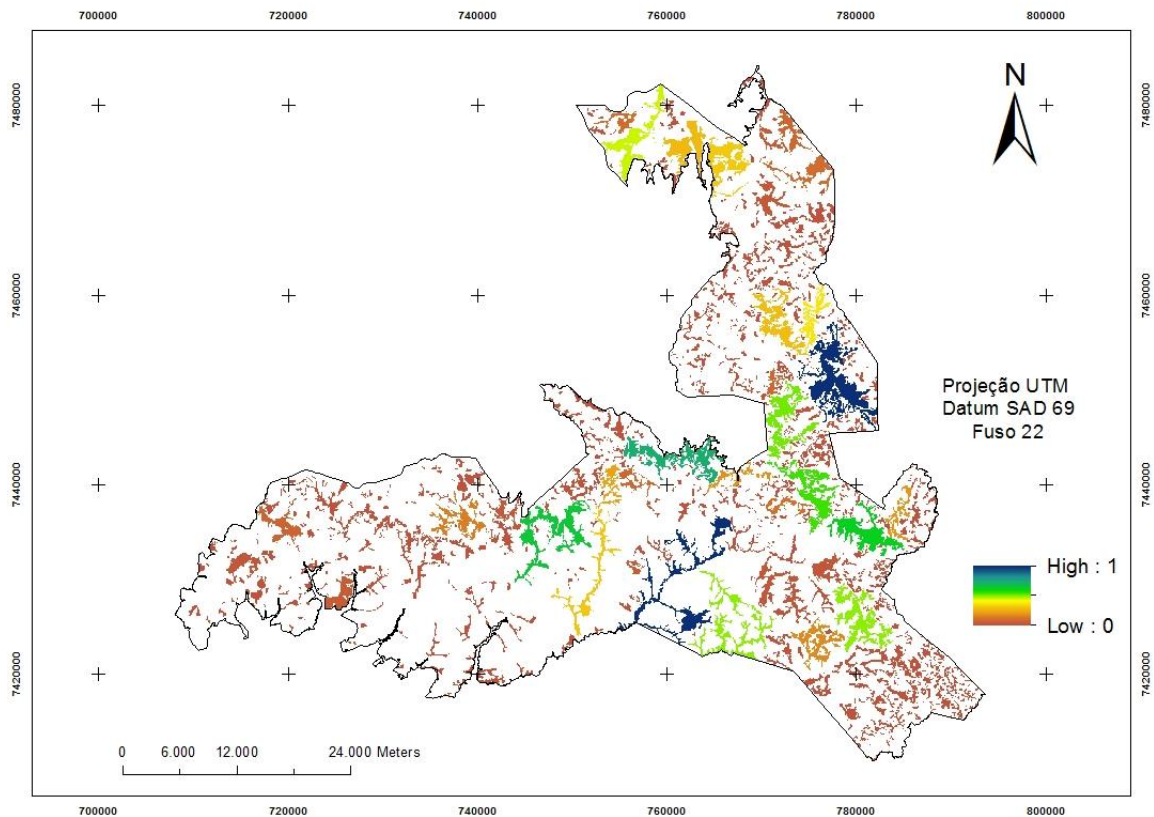


Figura 22. Mapa da importância dos habitat remanescentes para a conexão da paisagem na APA Botucatu em ordem crescente de importância de 0 a 1.

A área dos habitat selecionados variou de 37 a 2.565 ha, evidenciando a adequabilidade do índice para o objetivo proposto. Foram selecionados não só os maiores fragmentos, mas aqueles que possuem maior número de conexões com fragmentos de maior habitat dentro do limite proposto, favorecendo assim, a dispersão da fauna.

Aqueles fragmentos que não foram destacados entre os mais importantes têm sua importância relativa para a conexão da paisagem, uma vez que podem ser utilizados como conexões para os fragmentos de maior área. Regiões com intensa atividade antrópica devem incentivar a preservação e criação de corredores, pequenos fragmentos e “stepping-stones”, a fim de reduzir o isolamento de fragmentos maiores (BOSCOLO; METZGUER, 2011).

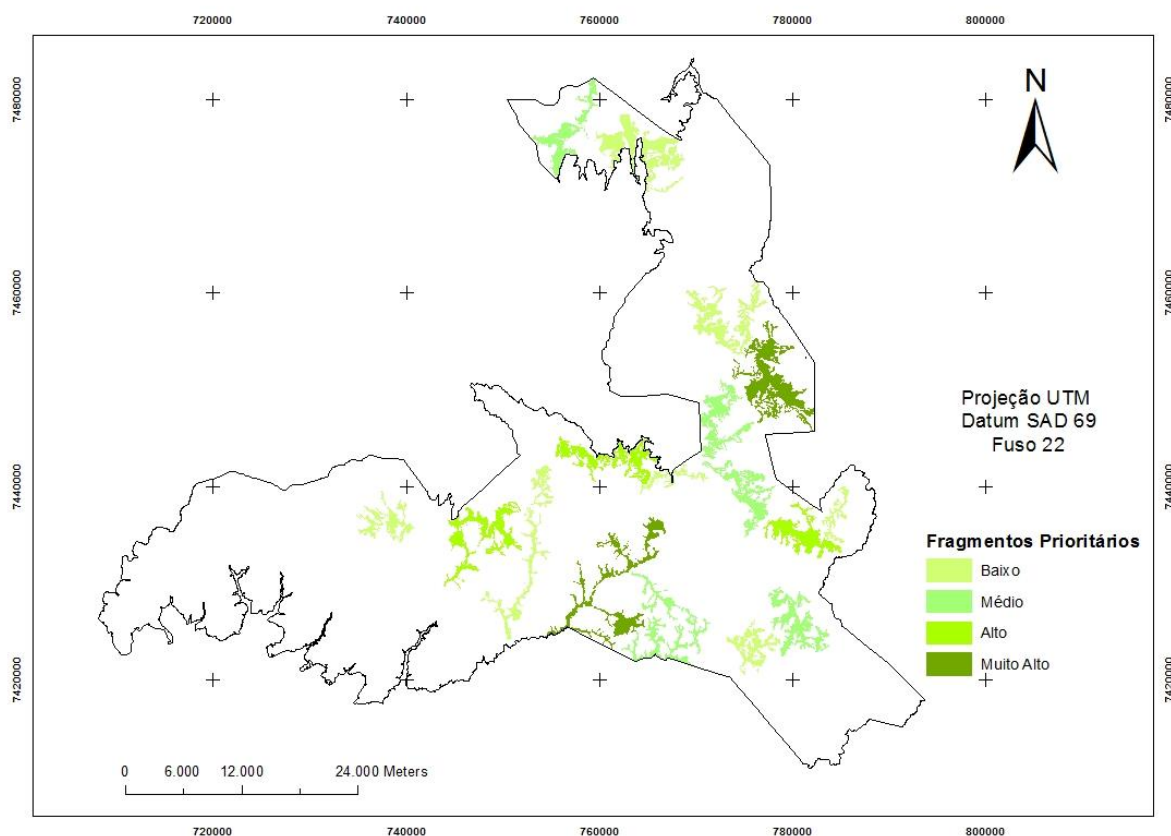


Figura 23. Fragmentos prioritários em ordem de importância para conectividade da paisagem na APA Botucatu.

Em estudo desenvolvido na Mata Atlântica, a conectividade entre os fragmentos mostrou-se mais importante que o tamanho da área para abundância e riqueza de espécies de aves em paisagens com disponibilidade moderada de habitat. Essa relação é especialmente importante para espécies sensíveis à perturbações antrópicas, como algumas aves de sub-bosque. Entretanto, em paisagens com baixa disponibilidade de habitat, o tamanho do fragmento mostrou-se mais importante (MARTENSEN et al., 2008).

A abordagem da teoria dos grafos foi adotada nesse trabalho devido à simplicidade e eficácia do método. Entretanto, aspectos como área, número, forma dos fragmentos, distância, entre outras métricas relacionadas ao processo de fragmentação que remetem à configuração e composição das paisagens, interferem na conectividade (NEEL et al., 2004) e devem, portanto, ser considerados em uma abordagem ecológica mais detalhada.

Os fragmentos da área de estudo sofrem constante pressão antrópica devido à exploração agrícola da região e possível desequilíbrio da espécie focal



adotada. Em um estudo realizado com cinco aves de sub-bosque endêmicas da Mata Atlântica, foram desenvolvidos diferentes cenários para avaliar os efeitos da intensificação de matrizes agrícolas na conservação das espécies. Como resultado, foi observado que houve um desequilíbrio nas populações de todas as espécies e possivelmente extinção de algumas devido às alterações causadas na estrutura do fragmento, disponibilidade de alimento, risco de predação, eventos estocásticos, densidade e riqueza de árvores, entre outros (GOULART et al., 2013). Desse modo, é necessário que haja medidas preventivas em regiões onde há pressão agrícola sobre ecossistemas naturais a fim de preservar as espécies existentes, especialmente em áreas de conservação.

Uma vez que a maior parte dos efeitos da fragmentação é resultante das matrizes adjacentes, a gestão adequada de fragmentos de vegetação natural deve contemplar duas componentes principais. A primeira é o manejo da dinâmica interna do fragmento e a segunda é o controle das influências externas no ecossistema natural (SAUNDERS et al., 1991). Essa abordagem torna-se ainda mais essencial ao aplicar-se no contexto da gestão de unidades de conservação de uso sustentável como as APAs, que contemplam tanto áreas agrícolas como ecossistemas preservados, cujo objetivo primário é associar atividades antrópicas com a preservação do meio ambiente (BRASIL, 2001).

#### **5.4 Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem**

A sobreposição do mapa das Áreas Mais Favoráveis à Infiltração (AMFI) (Figura 21) com o mapa contendo os fragmentos mais importantes para a conexão da paisagem (Figura 23), de acordo com o dIIC, resultou no mapa da Figura 24.

Em geral, as AMFI possuem importantes fragmentos para a conexão da paisagem, com apenas algumas exceções de menor área e a região que compreende parte da bacia do rio Pardo e a porção à sudoeste da APA.

A região compreendida por parte da bacia do Rio Pardo possui alguns atributos importantes a serem considerados como sua localização entre duas regiões com fragmentos em destaque, que por sua vez apresentam de baixa a muito alta prioridade para a conexão da paisagem. Outro atributo relevante é que se situa sobre o afloramento do arenito Bauru, caracterizando área de recarga do aquífero de mesmo nome. Além disso, a priorização de áreas para a conexão da paisagem em bacias de abastecimento público (cidade de Botucatu) é uma importante medida para conservação dos recursos hídricos.

Mesmo as AMFI que não possuem fragmentos em destaque, com elevados valores de dIIC, possuem sua importância relativa para a conexão da paisagem por abrigarem inúmeros fragmentos de menor área, como mostra a Figura 22, que podem ser utilizados como “stepping stones” para fragmentos com maior importância para a conexão da paisagem para algumas espécies, além de exercerem sua contribuição para o processo de infiltração, como citado previamente.

Tendo em vista que poucas AMFI não possuem um ou mais fragmentos prioritários para a conexão da paisagem no seu interior ou imediações, e que ainda assim possuem papel importante para a conexão da paisagem, foi estabelecido que nenhuma AMFI deveria ser desconsiderada do mapa de áreas prioritárias para conexão da paisagem.

O conjunto de informações descritas no mapa da Figura 24 irá propiciar aos tomadores de decisão uma visão sistêmica dos processos de infiltração e conexão da paisagem na APA Botucatu, para subsidiar ações de estabelecimento de corredores ecológicos e restauração de fragmentos, tanto em escala local como para toda APA Botucatu.

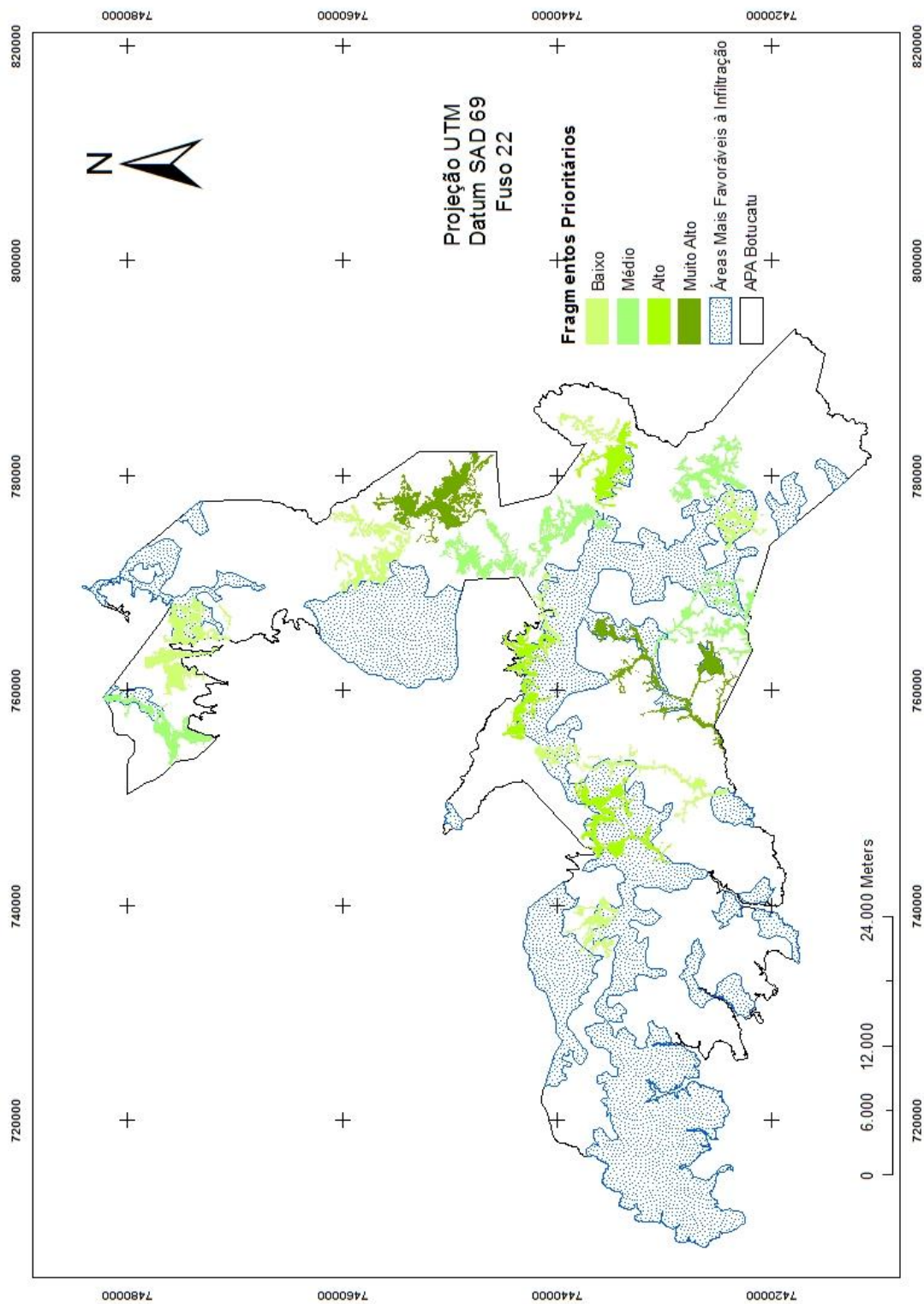


Figura 24. Mapa das Áreas Prioritárias para Conexão da Paisagem da APA Botucatu.

## 5.5 Considerações Finais

O estabelecimento de áreas prioritárias para a conectividade da paisagem nas áreas mais favoráveis à infiltração, especialmente em áreas de recarga de aquíferos, contempla a possibilidade da provisão de importantes serviços ecossistêmicos conjuntamente. São eles: a preservação da biodiversidade devido ao aumento da conectividade e o aumento do abastecimento do lençol freático em áreas de recarga de aquíferos, além dos demais serviços prestados por florestas naturais, como sequestro de carbono e conservação dos solos, por exemplo.

A utilização de métodos científicos que podem subsidiar a gestão de áreas conservadas deve ser incentivada no meio acadêmico, uma vez que há baixa aplicação de recursos por parte das autoridades públicas em pesquisas na área, especialmente em UC de uso sustentável. Assim, o emprego de geotecnologias pode auxiliar a tomada de decisão com menor margem de erros.

A AMC demonstrou sua efetividade no presente estudo, uma vez que permitiu determinar as áreas mais favoráveis à infiltração a partir de cinco referenciais distintos. Contudo, a Geologia, fator limitante no processo de recarga de aquíferos, obteve baixas pontuações na análise. Praticamente toda a área de estudo possui arenitos aflorantes, logo, a baixa expressividade da pontuação deste fator na AMC não impediu que as AMFI fossem delimitadas sobre áreas de expressiva importância para recarga de aquíferos.

O segundo critério com baixo peso para a seleção das AMFI foi a forma do terreno, com as curvaturas vertical e horizontal. Seu respectivo mapa possui muitas classes com pequenas áreas, o que dificulta o zoneamento em uma escala menos detalhada, como proposto neste estudo. Entretanto, sua importância para o processo de infiltração não foi desconsiderada.

Declividade e formas do relevo, associados em um único plano de informação poderiam trazer uma informação mais detalhada sobre a geomorfologia da área de estudo, e permitiria maior contribuição das curvaturas do terreno para análise em questão.

O conceito de disponibilidade de habitat, que fundamenta a teoria dos grafos, aplicado por meio do Índice Integral de Conectividade (IIC), foi imprescindível na seleção dos fragmentos prioritários para a conexão da paisagem, pois reflete tanto os

aspectos estruturais da paisagem como o tamanho de habitat, quanto às características funcionais da espécie estudada, como a capacidade de dispersão. A combinação desses fatores essenciais para a conectividade da paisagem e de forma simples, incentivam a utilização do método.

As características da espécie funcional adotada foram ideais para a escolha dos fragmentos prioritários para conexão da paisagem. Seus hábitos restritivos, como por exemplo: demanda por habitat com vegetação secundária em estágio médio a avançado de sucessão e nenhuma restrição quanto ao tamanho dos fragmentos, além da pequena distância de dispersão, permitiu a seleção de poucos fragmentos, mas com características que podem propiciar o movimento de inúmeras espécies.

A escolha das áreas prioritárias para a conexão da paisagem em regiões favoráveis a infiltração na APA Botucatu deu-se por meio da simples sobreposição de dois mapas: o primeiro mapa correspondente às AMFI e o segundo contendo os fragmentos essenciais para a conexão da paisagem para a espécie adotada. Entretanto, a fundamentação teórica e análises utilizadas para determinação dos dois mapas base individualmente, asseguraram o conteúdo e simplicidade do método para determinação do mapa final.

Não foram encontrados na literatura disponível estudos que relacionassem infiltração com conectividade da paisagem, portanto, a discussão desse tópico neste estudo foi limitada aos dados obtidos nesta análise.

Espera-se que este estudo possa contribuir para a preservação dos recursos naturais da APA Botucatu e que a metodologia proposta possa ser base para outras áreas com características similares. Estudos futuros são necessários visando à recomposição da APA Botucatu, seja através de corredores ecológicos ou incremento dos fragmentos já existentes e podem ter como ponto de partida as áreas prioritárias para a conectividade com base na infiltração, delimitadas neste trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

Pelos estudos pode-se concluir:

- Foi comprovada a hipótese da viabilidade do estabelecimento de áreas prioritárias para conexão florestal entre fragmentos remanescentes de vegetação natural da APA Botucatu, em regiões favoráveis à infiltração e percolação de água;
- As ferramentas de geoprocessamento foram fundamentais para a construção do banco de dados digital dos atributos ambientais da área de estudo;
- Pedologia, Geologia, Cobertura do solo, Declividade e Formas do relevo foram os critérios mais relevantes no processo de infiltração e abastecimento do lençol freático;
- A Combinação Linear Ponderada (CLP) estabeleceu regiões mais favoráveis à infiltração e percolação de água (AMFI);
- O Índice Integral de Conectividade (IIC), foi imprescindível na seleção dos fragmentos prioritários para a conexão da paisagem, pois combinou fatores essenciais para a conectividade da paisagem e simplicidade de aplicação do método;

- Pelo método da CLP com os fragmentos mais importantes para a conexão da paisagem obtidos, foi possível gerar os mapas contendo as áreas prioritárias para conexão florestal, proporcionando maior infiltração e recarga a fim de abastecer o lençol freático.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, A.; CHAPMAN, D. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. **Hydrogeology Journal**, v.9, p. 390–400, 2001.

ALLEY, W. M. Ground Water. IN: SCOTT, A. E., **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences Encyclopedia of Inland Waters**, Amsterdam, p.684-690, 2009.

ARMAS, E. D. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do rio corumbataí e principais afluentes. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1119-1127, 2007.

AYRAM, C. A. C. et al. Identifying potential conservation areas in the Cuitzeo Lake basin, Mexico by multitemporal analysis of landscape connectivity. **Journal for Nature Conservation**, Amsterdam, In press.

AWADE, M.; METZGER, J. P. Using gap-crossing capacity to evaluate functional connectivity of two Atlantic rainforest birds and their response to fragmentation. **Austral Ecology**, New Jersey, v. 33, p. 863–871, 2008.

BAI, Y. et al. Modeling soil conservation, water conservation and their tradeoffs: A case study in Beijing. **Journal of Environmental Sciences**, v.24, n 3, p. 419–426, 2012.



- BOGARDI, J. J. et al. Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v.4, p. 1–9, 2011.
- BOGARDI, J. J.; FEKETE, B. M.; VOROSMARTY, C. J. Planetary boundaries revisited: a view through the ‘water lens’. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 5, p. 1–9, 2013.
- BOSCOLO, D., METZGER, J. P. Isolation determines patterns of species presence in highly fragmented landscapes. **Ecography**, New Jersey, v. 34, p. 1018-1029, 2011.
- BOSSIO, D.; GEHEB, K.; CRITCHLEY, W. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 536–542, 2010.
- BÖHLKE, J. K., Groundwater recharge and agricultural contamination. **Hydrogeology Journal**, Berlin, v. 10 p. 153–179, 2002.
- BOSCH J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 55, p. 3-23, 1982.
- BRASIL. **Constituição da Republica Federativa do Brasil**. 05 de outubro de 1988. Brasília, DF, Senado, 1988.
- BRASIL. LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação, 6ª ed., Brasília, DF, 2000, 56p.
- BRASIL, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília, 2012. 215p.
- BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD90&t=populacao-presente-residente>>. Acesso em: 20 Nov 2013.
- BRASIL, Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 25 de maio, 2012.
- BRITO, et al. Characterization of maximum infiltration areas using GIS tools. **Engineering Geology**, v.85, p. 14–18, 2006.
- BROWN, A. E. et al. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 310, p. 28–61, 2005.

- BUYTAERT, W., INIGUEZ, V., BIÈVRE, B. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, p. 22–3, 2007.
- CASTELLON, T. D., SIEVING, K. E. An Experimental Test of Matrix Permeability and Corridor Use by an Endemic Understory Bird. **Conservation Biology**, New Jersey, v. 20, No. 1, p. 135–145, 2006.
- COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com Geomorfologia. In: **Geomorfologia: Uma atualização de Bases e Conceitos**, 3ª edição, Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 1998, p. 93-148.
- COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 36, p. 59-77, 1996.
- COLLISCHONN, W., TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**, IPH UFRGS, 2008.
- CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, Hotspots Revisitados. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/HotspotsRevisitados.pdf>> Acesso em: 18 Mai 2014, 17 p.
- CRUTZEN, P. Geology of mankind, **Nature**, v. 415, p. 23, 2002.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D., Classificação Climática para os Municípios de Botucatu e São Manuel, **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, 2009.
- DELASALLA, D. A. Freshwater and Global Change: Wellspring of Life, IN: SCOTT, E. A. **Earth Systems and Environmental Science**, Amsterdam, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489058760#>>. Acesso em 20 Nov 2013. 4p. 2013.
- DONHA, A. G., SOUZA, L. C. P., SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.175–181, 2006.
- DUMANSKY, J. Soil conservation in a changing world. In: **Manejo e Conservação do SOLO e da ÁGUA no Contexto das Mudanças Ambientais**. PRADO, B. R., TURETTA, A. P. D., ANDRADE, A. G. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, 486 p.
- EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis**. In: EASTMAN, J. R. Idrisi Selva Manual, Worcester: Clark Labs, ClarkUniversity, 2012, 222 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006, 306 p.
- FAO. **The State of The World's Land and Water Resources for Food and Agriculture - Managing Systems at risk**. Ed. Earthscan, New York, 2011, 285p.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS JR, Clodoveu A.; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; D'Alge, Júlio César Lima. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001, cap. 7. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>> Acesso em: 06 Outubro, 2006.

FIORI, J. P. O., CAMPOS, J. E. G., ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás. São Paulo, **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

FERRETTI, V., POMARICO, S. Ecological land suitability analysis through spatial indicators: An application of the Analytic Network Process technique and Ordered Weighted Average approach. **Ecological Indicators**, Amsterdam, n. 34, p. 507– 519, 2013.

FOX, D.M.; BRYAN, R.B.; PRICE, A.G. The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 80, p. 181 – 194, 1997.

GANEM, R. S. Corredores Ecológicos: O que são? In: ARRUDA, M. B., **Gestão Integrada de Ecossistemas Aplicada a Corredores Ecológicos**. p. 472. Ed. 2<sup>a</sup> Brasília, 2006.

GARCÍA-FECEDA C., SAURA, S., ELENA-ROSSELLÓ, R. Improving landscape connectivity in forest districts: A two-stage process for prioritizing agricultural patches for reforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, V. 261, p. 154–161, 2011.

GARMENDIA, E. et al. Assessing the effect of alternative land uses in the provision of water resources: Evidence and policy implications from southern Europe. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 29 p. 761– 770, 2012.

GERRA, H. O. C. **A Física dos solos**, Campina Grande, UFCG, 2000, 173p.

GIBSON, L. et al., Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, 2011.

GOMES, M. A. F. Aquífero Guarani – o valor dos ativos ambientais. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/343.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/343.pdf)> Acesso em: 15. Dez. 2013, 5p.

GOULART, F. F., SALLES, P., MACHADO, R. B. How may agricultural matrix intensification affect understory birds in an Atlantic Forest landscape? A qualitative model on stochasticity and immigration. **Ecological Informatics**, Amsterdam, v. 18, p. 93–106, 2013.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, v. 162, n. 3859 p. 1243-1248, 1968.  
HOBBS, N. T. et al. Fragmentation of rangelands: Implications for humans, animals, and landscapes. **Global Environmental Change**, v. 18, p. 776–785, 2008.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrological cycle. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 14, n. 1, p. 446-460, 1933.

HUANG, J.; WU, P.; ZHAO, X. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. **Catena**, Amsterdam v. 104, p. 93–102, 2013.

IANNI, E., GENELETTI, D. Applying the Ecosystem Approach to Select Priority Areas for Forest Landscape Restoration in the Yungas, Northwestern Argentina. **Environmental Management**, Berlim v. 46, p. 748–760, 2010.

JACINTHO, L. R. C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de unidades de conservação**: o caso da área de proteção (APA) do Capivari-Monos, São Paulo – SP, 110 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 1ª edição. São José dos Campos: Parênteses, 2009, 672 p.

JORGE, L.A.B. ; MOREIRA, M.P. Padrões da fragmentação do habitat na Cuesta de Botucatu (SP). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10. 2000.

KLINK, C.A., MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro, **MEGADIVERSIDADE**, Belo Horizonte, v. 1, n 1, p. 147-155, 2005.

KLØVE, B. et al, Groundwater dependent ecosystems. Part II. Ecosystem services and management in Europe under risk of climate change and land use intensification. **Environmental Science & Policy**, Amsterdam, v. 14, p. 782-793. 2011

KRISHNASWAMY, J., The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the ‘infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis’, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 498, p. 191–209, 2013.

LANDIM, P.M.B. (coord.) Mapa Geológico de Estado de São Paulo. Escala 1:250.000, São Paulo: IGCE/UNESP - DAEE, 1984.

LAURANCE, W. F., et al. Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation, **Conservation Biology**, New Jersey, v. 16, No. 3, p. 605–618, 2002.

LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo. Oficina de Textos. 1ª edição. 2011.

LOCH, C., KIRCHNER, F. F. Imagem de satélite na atualização cadastral In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 5., Natal, 1988. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 1988, v. 1, p. 3-6.

LUCAS, M. C., GUANABARA, R. C., WENDLAND, E. Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. **Boletín Geológico y Minero**, v. 123, n. 3, p. 311-323, 2012.

- MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, Amsterdam, v. 62, p. 3–65, 2004.
- MAITRE, D. C. L.; KOTZEE; I. M., O'FARRELL; P. J. Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystemservice: Invasive alien plants, fire and their policy implications. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 36, p. 171– 181, 2014.
- MARTENSEN, A. C., PIMENTEL, R. G., METZGER, J. P., Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 141, p. 2184 –2192, 2008.
- MCKERGOW, L. A., Before and after riparian management: sediment and nutrient exports from a small agricultural catchment, Western Australia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 270, p. 253–272 2003.
- MCGUIRE, V.L., Water-level changes in the High Plains aquifer, predevelopment to 2007, 2005–06, and 2006–07: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009–5019, 2009, 9p.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1/2 p. 2-9, 2001.
- MORAES, F. **Infiltração – uma variável geomorfológica**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v.22, n.38, p. 73-87, 2012.
- NAGENDRA, H., et al. Landscapes of Protection: Forest Change and Fragmentation in Northern West Bengal, India. **Environmental Management**, Berlim, v.44, p. 853–864, 2009.
- NEEL, M. C., MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S. A. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. **Landscape Ecology**, Berlim, v.19, p. 435–455, 2004.
- NERIS, J. et al. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). **Catena**, Amsterdam, v. 98 p. 55–62, 2012.
- NOLAN et al. Factors influencing ground-water recharge in the eastern United States. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 332, p. 187– 205, 2007.
- NORTON, L. G., WILSON, R., STEVENS, J. R., BEARD, K. H. A meta-analytic review of corridor effectiveness. **Conservation Biology**, New Jersey, v. 24, n. 3, p. 660–668, 2010.
- NOVO, E. M. L. M., Métodos de Extração de Informações. In: **Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações**. São Paulo: 3ª edição, 2008. Cap 1 e 7.
- ORSI, F., GENELETTI, D. Identifying priority areas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 94, p. 20–30 2010.

PASQUAL-HORTON, L., SAURA, S., Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. **Landscape Ecology**, Berlim, v. 21, p. 959–967, 2006.

PEDRERO, F., et al. Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.56, p. 105–116, 2011.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PIVELLO, R. V., et al.. Chuva de sementes em fragmentos de Floresta Atlântica (São Paulo, SP, Brasil), sob diferentes situações de conectividade, estrutura florestal e proximidade da borda. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n.4, p. 845-859, 2006.

RABELO, J. L.; WENDLAND, E. Assessment of groundwater recharge and water fluxes of the Guarani Aquifer System, Brazil. **Hydrogeology Journal**, Berlim, v. 17, p. 1733–1748, 2009.

RAHMAN, M. A. A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 99, p. 61-75, 2012.

RIBEIRO, M. C., et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 142, p. 1141–1153, 2009.

REBOUÇAS, A. C., AMORE, L. O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI – SAG. **Rev. Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 16, 2002.

ROCKSTROM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p.472-475, 2009.

SAATY, T. L. The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used. **Math Modelling**, Amsterdam, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SÃO PAULO, Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, Convenção da Diversidade Biológica - As Metas de Aichi 2020 e o Protocolo de Nagoya (Acesso e Repartição de Benefícios do Uso de Recursos Naturais). São Paulo, 2010, 64p.

SÃO PAULO - IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. v.I e II. São Paulo: IPT, 1981. 126p. Monografias,

SÃO PAULO, Fundação Florestal, Sobre a APA. Disponível em:  
<<http://www.ambiente.sp.gov.br/apa-corumbatai-botucatu-tejupa-perimetro-botucatu/sobre-a-apa/>> Acesso em: 10.Dez. 2013.

SÃO PAULO, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. Fundação Florestal Termo de referência para elaboração de plano de manejo de área de proteção ambiental Corumbataí, Botucatu e Tejujá - perímetro Botucatu, 2009. Disponível em:  
<[www.fflorestal.sp.gov.br/media/.../downloadadoaeditana9909.doc](http://www.fflorestal.sp.gov.br/media/.../downloadadoaeditana9909.doc)>, Acesso em: 15 mar. 2011.

SAUNDERS, D. A., HOBBS, R. J., MARGULES, C. R. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. **Conservation Biology**, New Jersey, v. 5, n. 1, p. 18-32. 1991.

SAURA, S., TORNÉ, J., Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 24, p. 135–139, 2009.

SAURA, S., PASQUAL-HORTON, L., A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. **Landscape and Urban Planning, Amsterdam**, v. 83, p. 91–103, 2007.

SAURA, S; PASCUAL-HORTAL, L. Conefor sensinode 2.2 user's manual, University of Lleida 2007, 56 p.

SCHOENEBERGER, P. J., WYSOCKI, D. A. Hydrology of soils and deep regolith: A nexus between soil geography, ecosystems and land management. **Geoderma**, Amsterdam, v. 126, p. 117–128, 2005.

SILVA, A. N. R., et al. **SIG**: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e transportes. São Carlos. Ed dos Autores, 2004.

SMITH, L. Hydrogeology. Hydrigeology, IN: SCOTT, A. E., **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences -Encyclopedia of Physical Science and Technology**, 3 Edição, Amstedam, p. 539-546, 2003.

SINGH, S.; MISHRA, A., Spatiotemporal analysis of the effects of forest covers on water yield in the Western Ghats of peninsular India. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 446–447, p. 24–34, 2012.

STEFFEN, W., CRUTZEN, P.J., MCNEILL, J. R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? **Ambio**, Berlim, v. 36, n. 8, p. 614-621, December 2007.

SU, C. H.; FU, B. J.; HE, C. S.; LÜ, Y. H. Variation of ecosystem services and human activities: A case study in the Yanhe Watershed of China. **Acta Oecologica**, v. 30, p. 1 a 12, 2012.

- TABARELLI, M., GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: Aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade, **Megadiversidade**, v. 1, nº 1, 2005.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. IMPACTO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL NO ESCOAMENTO: REVISÃO. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n.1, p. 135-152, 1997.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n. 63, 2008.
- TUNDISI, J. C., BRAGA, B., REBOUÇAS, A. C. Os Recursos hídricos e o futuro: síntese. In: **Águas doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. Edição – São Paulo. Escrituras Editora, 2006. 748 p.
- VALENTE, R. O. A., VETTORAZZI, C. A. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256 p. 1408–1417, 2008.
- VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais. INPE – São José dos Campos, 2008, 72p.
- VALETT, H.M., SHEIBLEY, R. W. Ground Water and Surface Water Interaction. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences - Encyclopedia of Inland Waters, Berlin, p. 691-702, 2009.
- VETTORAZZI, Carlos Alberto. Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos. 2006. 151 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- WALKER, A. Forests and Water in Northern Thailand. **CMU. Journal**, v.1, n. 3, p. 215-244, 2002.
- WILCOVE, D. S., MCLELLAN C. H., DOBSON A. P., Habitat fragmentation in the temperate zone. In: **Conservation Biology**, ed. ME Soul´e, Sunderland, MA: Sinauer, p. 237–56, 1986.
- YAGER, R. R., On ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decision Making. **IEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 8, n1, p. 183-190, 1988.
- ZIMBACK, C.R.L. A Geologia do Município de Botucatu, In SILVA, R. B., ORSI, A.C., CHINELATO, F. C. S. Lavapés, Água e Vida: nos caminhos da educação ambiental, Ed. 1ª, Botucatu – SP SABEP, 2008.