

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES MORFOMÉTRICOS: UMA FERRAMENTA NO
DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL**

Renata Cristina Araújo Costa
Bióloga

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES MORFOMÉTRICOS: UMA FERRAMENTA NO
DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL**

Renata Cristina Araújo Costa

Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientadores: Profa. Dra. Cleonir Martins Carpes

Prof. Dr. José Sales Mariano da Rocha

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

2015

Costa, Renata Cristina Araújo
C837i Indicadores Morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental/ Renata Cristina Araújo Costa. – Jaboticabal, 2015
x, 78 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Banca examinadora: Flavia Mazzer Rodrigues, Renato Farias do Valle Junior
Bibliografia

1. Bacia Hidrográfica. 2. Conflito de Uso do Solo. 3. Impacto Ambiental. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 556.51



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INDICADORES MORFOMÉTRICOS: UMA FERRAMENTA NO DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

AUTORA: RENATA CRISTINA ARAUJO COSTA

ORIENTADORA: Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

COORIENTADORES: Prof. Dr. JOSÉ SALES MARIANO DA ROCHA
Profa. Dra. CLEONIR MARTINS CARPES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. FLAVIA MAZZER RODRIGUES
Universidade Federal Rural de Pernambuco / Serra Talhada/PE

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Data da realização: 31 de julho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Renata Cristina Araújo Costa, nascida em 29 de Agosto de 1989 em Guarás-SP, é Bióloga, com Licenciatura (2011) e Bacharelado (2014) em Ciências Biológicas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Univ Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal. Bolsista de iniciação científica junto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, nos anos de 2011, 2012 e 2013. Foi professora no Instituto Taquaritinguense de Ensino superior – ITES (2014) e professora substituta da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM (2014 e 2015), onde trabalhou na área de ensino em geoprocessamento e biologia. Em agosto de 2013, ingressou no curso de Mestrado no programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Univ Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, Departamento de Engenharia Rural.

Água que nasce na fonte serena do mundo
E que abre um profundo grotão
Água que faz inocente riacho e deságua na corrente do ribeirão
Águas escuras dos rios que levam a fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias e matam a sede da população
Águas que caem das pedras no véu das cascatas, ronco de trovão
E depois dormem tranquilas no leito dos lagos, no leito dos lagos

Água dos igarapés, onde lara, a mãe d'água é misteriosa canção
Água que o sol evapora, pro céu vai embora, virar nuvem de algodão
Gotas de água da chuva, alegre arco-íris sobre a plantação
Gotas de água da chuva, tão tristes, são lágrimas na inundação
Águas que movem moinhos são as mesmas águas que encharcam o chão
E sempre voltam humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra

Terra, planeta água, Terra, planeta água, Terra, planeta água

Música: Planeta Água
Autor: Guilherme Arantes

À DEUS

dou graças

Aos meus queridos pais

Vilma dos Reis Araújo Costa

Luiz da Silva Costa

DEDICO

Aos meus professores

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, na condução de meus passos e no caminho de minha vida.

Aos meus pais, Luiz da Silva Costa e Vilma dos Reis Araújo Costa e familiares, no apoio incondicional à esta etapa.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, no apoio e na infra-estrutura necessária para a realização deste projeto de pesquisa.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Profa. Dra. Cleonir Martins Carpes e Prof. Dr. José Sales Mariano da Rocha na oportunidade de realização de mais este passo em minha vida profissional.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em nome de Ronaldo José de Barros, Izilda Maria de Carvalho Máximo e Davi Aparecido Trevisoli, por estarem sempre disponíveis em ajudar.

À Direção da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM pela compreensão e ajustamento dos meus horários de acordo com a necessidade.

Aos amigos e companheiros de Pós-Graduação e da República Sófadinhas pelo convívio e apoio por todo este tempo, pela grande ajuda na condução do experimento e nas estatísticas, sem os quais este trabalho não seria possível.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio e auxílio financeiro.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Bacia Hidrográfica	3
2.2. Morfometria	5
2.3. Indicadores Ambientais	7
2.4. Conflito de Uso.....	11
2.5. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Caracterização da Área.....	17
3.2. Caracterização dos Indicadores Morfométricos.....	18
3.3. Análise dos Dados e Indicadores Ambientais.....	25
3.4. Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica	29
3.5. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em Bacias Hidrográficas.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Indicadores Ambientais e características morfométricas.....	40
4.2. Mapas Temáticos, Uso Atual, Uso Potencial e Conflito de Uso	49
4.3. Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica	53
4.4. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	56
5. CONCLUSÃO	64
6. REFERÊNCIAS	66
ANEXO A	73
ANEXO B	77

INDICADORES MORFOMÉTRICOS: UMA FERRAMENTA NO DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

RESUMO – Este trabalho busca propor indicadores ambientais de políticas públicas a partir da espacialização das características morfométricas e sua relação com áreas em conflito e vulnerabilidade da deterioração ambiental. Como resultado dessa análise as bacias hidrográficas foram consideradas como unidades de avaliação e foram determinados os parâmetros morfométricos de área, perímetro, comprimento da rede de drenagem, densidade de drenagem, número de canais, frequência de rios e relevo para demonstrar os padrões de erosão natural, utilizando a técnica de conflito de uso do solo e de vulnerabilidade da bacia hidrográfica. Os parâmetros morfométricos foram submetidos à análise estatística descritiva e exploratória multivariada, sendo possível determinar a autocorrelação entre estes e a similaridade das bacias. A espacialização dos valores obtidos do número de canais (Nt) gerou indicadores físicos ambientais que possibilitaram a diferenciação de áreas. A identificação das zonas de conflito de uso é uma ferramenta importante para propor planos de manejo e conservação do uso do solo, auxiliando na tomada de decisão de agentes públicos. O mapa de vulnerabilidade obtido da análise multicritério (MCA) indicou os padrões morfométricos das áreas mais vulneráveis ao processo erosivo natural do solo e conseqüentemente maior fragilidade ambiental. A alta correlação entre a vulnerabilidade das áreas valida à teoria do risco de erosão e deterioração ambiental, podendo ser utilizada como ferramenta e indicador da vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas. A avaliação ambiental da microbacia do Jabuticabal indicou que a área apresenta pequeno impacto e de pouca significância, porém o grau de deterioração real médio determinado pela matriz Leopold-Rocha mostra que o ambiente encontra-se deteriorado, uma vez que o valor encontrado está acima da taxa aceitável, devendo ser recomendadas as ações de mitigação e compensação para recuperação da ambiência.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Conflito de Uso do Solo, Impacto Ambiental

MORPHOMETRIC INDICATORS: A TOOL TO EVALUATE THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY

ABSTRACT - This study attempts to propose environmental indicators of public policies from the spatial distribution of morphometric characteristics and its relation to areas in environmental conflict and vulnerability of environmental deterioration. As a result of this analysis hydrological compartments were considered as evaluation units, and in them were determined the morphometric parameters as: area, perimeter, length of the drainage network, drainage density, number of channels, frequency of rivers and relief to evaluate the natural erosion, using the land use conflict technique and the vulnerability of the watershed. The morphometric parameters were submitted to descriptive and exploratory multivariate statistical analysis. The autocorrelation between the morphometric parameters and the similarity between the hydrological compartments were evaluated. The spatial distribution of the values of the number of channels (N_t) has generated environmental physical indicators which enabled the areas of differentiation. Identifying the use of conflict zones is as important tool to propose plans of management and conservation of land use, aiding in the making of public officials decision. The vulnerability map of the watershed for the multicriteria analysis (MCA) indicated morphometric standards of the most vulnerable areas to natural soil erosion and consequently greater environmental fragility. The high correlation between the vulnerability of the basin validates the theory of the risk of erosion and environmental deterioration and can be used as a tool and environmental vulnerability indicator in watersheds. The environmental evaluation of Jaboticabal watershed indicated that the watershed has low impact and of little significance, but the degree of average of the real deterioration determined by the matrix by Leopold-Rocha shows that the environment is deteriorated, since the obtained value is above the acceptable rate and should be recommended actions for mitigation and compensation for recovery ambience.

Keywords: watershed management, land use conflict, environmental impact.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização morfométrica indica a dessecação da paisagem mediante o processo erosivo natural e do padrão de drenagem de cada área, considerando os aspectos do relevo e da rede de drenagem.

O estudo da morfometria da superfície terrestre visa compreender a formação geomorfológica e a configuração da paisagem, na quantificação das partes físicas da bacia hidrográfica, que refletem na hidrologia formada sob condições geográficas e climáticas similares.

Nesta unidade territorial de trabalho – bacia hidrográfica – a caracterização pode ser um indicador da qualidade do uso do solo que poderá auxiliar os atores sociais à gestão de recursos hídricos e aplicar nas vertentes o manejo das ações antrópicas, que visem minimizar o impacto das diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais de sua área de abrangência.

Na prática, determinar as áreas mais sensíveis não é suficiente para garantir uma proteção efetiva, resultando então a necessidade de uma classificação adicional que permita representar a correlação entre os parâmetros morfométricos e o conflito de uso. Este processo visa otimizar o deslocamento dos meios de proteção do manejo e ocupação uso do solo, e classificar estas unidades pela sua vulnerabilidade ambiental para determinar um conjunto de indicadores ambientais.

Na ocupação destas áreas, com o crescimento econômico acelerado, pode ocorrer conflitos de uso do solo, causando a deterioração ambiental. O uso inadequado desse espaço territorial pode gerar prejuízos à gestão das bacias hidrográficas, como a má conservação do solo e do recurso hídrico.

O planejamento baseado no conflito de uso determina a capacidade produtiva das terras, por meio da interação entre a densidade de drenagem e de relevo, para a indicação de áreas mais aptas para lavouras, pastagens e silvicultura, além de áreas que são desaconselháveis ao processo produtivo. Em escala regional, o mapeamento do conflito ambiental é uma ferramenta bá-

sica para verificar a vulnerabilidade para a identificação das zonas suscetíveis à erosão do solo.

Aliado a este estudo, a avaliação do impacto ambiental, das atividades antrópicas de acordo com a magnitude e importância, indica o grau de deterioração de uma bacia.

Para auxiliar na formação deste banco de dados, o sistema de informação geográfica-SIG e as técnicas de sensoriamento remoto de imagens orbitais, no geoprocessamento, permitem e facilitam a análise, a gestão ou a representação do espaço da bacia hidrográfica e dos fenômenos que nela ocorrem. O processamento destas informações espaciais e o cruzamento dos parâmetros morfométricos são capazes de construir uma base de dados sólida e segura para o planejamento e tomada de decisão sobre uso adequado do solo.

Neste trabalho foram criados mapas temáticos da espacialização das características morfométricas buscando verificar estatisticamente indicadores de áreas de vulnerabilidade ambiental para planejamento ambiental e ações de gestão territorial adequadas. A abordagem foi aplicada em um conjunto de compartimentos hidrológicos situada no município de Jaboticabal, SP que integram o sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.

O objetivo geral foi identificar, selecionar e estudar bases metodológicas sobre as pressões existentes no meio, utilizando as características morfométricas, os mapas temáticos de uso potencial, de uso atual e de conflito de uso dos compartimentos hidrológicos e o grau de deterioração de uma microbacia, para compor um conjunto de indicadores ambientais para áreas ambientalmente frágeis.

Os objetivos específicos foram determinar as características morfométricas das subbacias do município de Jaboticabal que drenam águas para o Rio Mogi-Guaçú; determinar as áreas de conflito de uso das subbacias; e determinar a correlação entre as características morfométricas e as áreas de conflito; relacionar as áreas de conflito de uso com os indicadores de vulnerabilidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área geográfica natural da superfície terrestre, que contribui na formação e no armazenamento de um determinado curso d'água, e é delimitada pelos pontos mais altos do relevo: espigões, divisores de água e topográficos (CRUZ, 2003).

A partir da década de 40, surgem os primeiros artigos científicos que estudam os processos geomorfológicos e hidrológicos na superfície de bacias. E, a partir deste período, muitos trabalhos são desenvolvidos, destacando-se os índices e os parâmetros estudados por Christotofolleti (1974), Rocha (2001) e Valle Junior et al. (2014a), que podem auxiliar na compreensão das diversas questões sobre a dinâmica de conformação da bacia hidrográfica e possibilita contribuições em programas de monitoramento, relatórios acerca das condições ambientais e programas de avaliação de impacto ambiental.

Na década de 90, a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH determina os fundamentos da utilização da água e da bacia hidrográfica, e é sancionada a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a PNRH e cria o sistema nacional de gerenciamento da água, que define a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implantação da política e do sistema hídrico brasileiro (BRASIL, 1997).

A conformação da bacia hidrográfica dá-se dos desníveis dos terrenos, das áreas mais altas para as mais baixas, onde se orientam os cursos da água. A área é limitada pelos divisores de água que separam as bacias adjacentes. Desta forma, a água que precipita fora da área da bacia não contribui diretamente para o escoamento da seção considerada (PORTO; PORTO, 2008).

A bacia de drenagem é o conjunto de terras, cursos de rios e afluentes que drena a água mediante as precipitações (PORTO; PORTO, 2008). Ela é considerada como unidade territorial de planejamento para fins de manejo e conservação do solo e da água, por ser um sistema aberto no qual as ações que ocorrem na superfície refletem principalmente no recurso hídrico (PIS-

SARRA, 2002). O manejo integrado em uma microbacia é uma forma de utilizar os recursos naturais adequadamente, no desenvolvimento sustentável (ROCHA, 2001).

Nos mapas geográficos, as terras podem ser subdivididas em bacias hidrográficas a partir do delineamento dos rios principais e seus tributários, formando a rede hidrográfica e do divisor topográfico que é formado pela variação do relevo (PORTO; PORTO, 2008).

Nesta superfície terrestre ocorrem os processos erosivos naturais e antrópicos, modificando a conformação geomorfológica ao longo do tempo. A formação do solo é um processo lento, enquanto que a sua destruição pode ser rápida (PAROISSIEN et al., 2015). A erosão do solo em uma bacia, como um fenômeno antrópico, ameaça sua sustentabilidade (WALKER, 1994). Tendo em vista que ocorre a mudança climática global aumenta a possibilidade de ocorrer chuvas intensas (IPCC, 2008), contribuindo para maiores taxas de erosão, se as medidas de proteção não forem tomadas (KUNDZEWICZ et. al., 2007).

Estas alterações produzem efeitos adversos sobre os solos e também sobre a quantidade e qualidade do recurso hídrico. A água é considerada um bem infinito, devido a sua capacidade de autodepuração. Porém, nas últimas décadas, o aumento da população mundial e o desenvolvimento industrial e a produtividade agrícola trouxeram impactos na qualidade e disponibilidade deste recurso (VALLE JUNIOR et al., 2014b; CAREY et al., 2011; MARQUES et al. 2007; COLLIN; MELLOUL, 2003; MERTEN; MINELLA, 2002), indicando necessidade de gestão.

Esta área é especialmente adequada para os estudos de vulnerabilidade, pois as atividades humanas e as tecnologias associadas podem alterar diretamente a quantidade e qualidade da água e/ou a mudança de características de solo e de vegetação que afetam os recursos hídricos (FIGUEIRÊDO et al., 2010).

A vulnerabilidade indica a condição de risco que a bacia está, e é uma ferramenta analítica útil para explorar as três dimensões da sustentabilidade - ambiental, econômica e social - em relação à intensificação da agricultura (ROBISON et al., 2015). O risco tem sido relacionado com as preocupações

ambientais específicas (alterações climáticas, erosão, poluição da água etc.) e aplicada em diferentes escalas (aqüíferos, bacias hidrográficas, ecossistemas, etc.), denotando uma variedade de conceitos, aplicações e âmbitos da literatura atualmente disponível (FIGUEIRÊDO et al., 2010).

2.2. Morfometria

A caracterização morfométrica é importante nos estudos em bacias hidrográficas, sendo possível realizar estratégias de gestão a partir do comportamento hidrológico da bacia (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014).

Os parâmetros morfológicos são medidas que possibilitam analisar fenômenos geológicos que ocorrem ao longo dos tempos, que sofrem interferência das atividades humanas (PISSARRA et al., 2010).

A morfometria aplicada à análise de bacias hidrográficas permite a quantificação de valores adotados para os atributos geomorfológicos e a definição das características e das unidades homogêneas de trabalho (CHRISTOFOLETTI, 1974; FERREIRA; BEZERRA, 2015).

A forma da rede de drenagem é produto da interação complexa da erosão natural e do escomamento superficial, sendo que o produto do efeito da drenagem causa a erosão, tendo interação com o clima e a constituição física e química do solo (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; CHRISTOFOLETTI, 1975).

A obtenção dos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas permite caracterizá-la e agrupá-la em padrões espaciais (OLIVEIRA et al., 2007).

O uso da morfometria em diagnóstico de bacias hidrográficas possibilita explicar interações que ocorrem entre os elementos da paisagem. Descreve as características sobre o sistema fluvial e a modelagem do relevo, que em associação com a dinâmica de uso da terra permite identificar os principais vetores que atuam sobre as transformações das paisagens locais, mediante as altera-

ções antrópicas e naturais (PISSARRA et al, 2004; TAGLIARINI; RODRIGUES, CAMPOS, 2014).

A caracterização morfométrica por meio de técnicas computacionais permite a obtenção de informações de forma rápida, eficiente e padronizada (OLIVEIRA et al., 2007).

O aprofundamento e o conhecimento destes parâmetros físicos podem ser utilizados para futuros planejamentos e gestões ambientais (TAGLIARINI; RODRIGUES; CAMPOS, 2014)

A morfometria da rede de drenagem reflete a maturidade hidromorfológica da região. A variação dos parâmetros morfométricos indicam diferenças no desenvolvimento topográfico e geométrico das bacias e a análise destes parâmetros relatam a capacidade do armazenamento de água no sistema, com o respectivo escoamento superficial das águas da chuva que se acumulam nas calhas dos rios. As medidas morfométricas possibilitam o aprimoramento do manejo e a conservação do solo em zonas rurais (VALLE JUNIOR et al., 2014a, CAREY et al., 2011, MERTEN; MINELLA, 2002),

O sistema de informação geográfica – SIG pode ser utilizado como ferramenta de determinação dos parâmetros morfométricos e na formulação de indicadores ambientais para a sustentabilidade dos recursos hídricos. E estes indicadores podem nortear ações que priorizem a qualidade de vida e a recuperação e conservação dos recursos naturais (CASTRO et al., 2014). Este sistema, além de eficiente ferramenta no delineamento dos compartimentos hidrológicos e das redes de drenagem, facilita a determinação dos índices e o mapeamento das áreas para o planejamento e manejo em bacias hidrográficas (FIGUEIREDO, 1996; NURDIANA; RISDIYANTO, 2015).

Na superfície das bacias hidrográficas é possível compreender as interações que ocorrem entre os elementos da paisagem, pedologia, relevo e a rede hidrográfica, bem como, seus processos ambientais, a partir da análise morfométrica (TAGLIARINI; RODRIGUES; CAMPOS, 2014).

Assim, torna-se possível compreender a estruturação complexa dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem nas bacias hidrográficas e das inte-

rações antrópicas, a partir da compreensão global dos elementos individualizados e de sua participação no todo (ARRAES et al., 2010).

Para compreender esta conformação, o estudo da caracterização morfométrica pode indicar áreas com maior declividade, densidade de drenagem e determinar áreas ambientalmente fráguas e com alto risco de erosão (CHRISTOFOLETTI, 1974; PISSARRA, 2002; PISSARRA et al., 2004; NASCIMENTO; GARCIA, 2005; VALLE JUNIOR et al., 2014, 2015). Dentre os índices morfométricos existentes, destacam-se os dimensionais e do padrão de relevo, desenvolvidos em trabalhos realizados por Horton (1945), Christofolletti (1974), Sicco Smit (1978), Rocha (1991, 2001) e Valle Junior (2008).

Os estudos geomorfológicos são importantes ferramentas para o diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para nortear as atividades humanas (SODRÉ et al., 2007).

Neste contexto, é importante salientar que o gestor municipal pode buscar instrumentos que possam nortear o desenvolvimento do município e fornecer informações que possam gerar políticas públicas, respaldada em uma base de dados sólida e segura dos parâmetros morfométricos (CASTRO et al., 2014). Na compreensão da paisagem geomorfológica, o gestor aprimora o seu conhecimento nas particularidades da superfície terrestre, no desenvolvimento das áreas urbanas e rurais.

2.3. Indicadores Ambientais

Os indicadores são parâmetros, ou funções derivadas deles, que tem a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio (SANTOS, 2004).

O indicador ambiental é uma variável qualitativa ou quantitativa, mensurada no tempo e no espaço que apresenta informações sintéticas sobre os fatos, processos e tendências complexas observáveis e mensuráveis. A estrutura de classificação dos indicadores busca a simplicidade de uso/aplicação quanto às bases conceituais e ao modelo ordenador adotado – aspecto de grande relevância na fase inicial de construção (PNIA, 2014).

Um parâmetro pode ser entendido como indicador quando transcende o número ou a característica em si, adquirindo outro significado. Os indicadores são essenciais para a tomada de decisão e para a sociedade, pois permitem tanto criar cenários sobre o estado do meio, quanto aferir ou acompanhar os resultados de uma decisão (SANTOS, 2004; MACHADO et al., 2011).

A sintetização da informação ocorre por meio da análise contextualizada e estatística dos registos originais. De forma que, as variáveis selecionadas possuam correlação clara com as demais, de forma que o indicador constitua uma representação simplificada da realidade ambiental complexa (Figura 1).



Figura 1. Pirâmide da formação dos indicadores e da condensação da informação. Fonte: GOUZEE et al. (1995); BRAAT (1991) apud PNIA (2014).

As iniciativas de sistematização e a divulgação de informações ambientais datam de 1980. Entretanto, a generalização do uso de indicadores ocorreu por volta de 1947 com a medição do Produto Interno Bruto (PIB) associado aos dados demográficos, que foi utilizado como indicador de desenvolvimento (PNIA, 2014).

Na Conferência de Estocolmo em 1972, as questões ambientais foram relacionadas com o desenvolvimento da sociedade, sendo consolidadas as primeiras tentativas de definição de variáveis estatísticas econômicas e ambientais. As políticas ambientais surgiram na década de 1970, com os primeiros relatórios nacionais e internacionais sobre o estado do meio ambiente. Contudo, a periodicidade e a estrutura do conteúdo e as bases metodológicas eram

variadas, dificultando a sua harmonização e comparação em termos internacionais (PNIA, 2014).

A iniciativa científica de indicadores ambientais ocorreu no Canadá em 1989, onde foi criado o sistema de indicadores. A conferência dos estatísticos europeus, em Genebra no ano de 1990, estabeleceu as bases conceituais e metodológicas para ultrapassar os limites para as estatísticas ambientais (PNIA, 2014; SANTOS, 2004).

O uso de indicadores ambientais comuns foi consolidado nos finais dos anos 80, sendo o relatório da Comissão Brundtland em 1987, o marco para a noção de desenvolvimento sustentável e a Conferência Rio-92 para a sua popularização. No Brasil, o Painel Nacional de Indicadores Ambientais – PNIA foi elaborado em 2012, e é um documento que consolida questões para a gestão de uma informação ambiental objetiva e de qualidade. Assim, vem atender, de maneira ampla e transparente, à demanda e ao direito da sociedade, ao conhecimento, ao acesso e controle da informação (PNIA, 2014).

Os indicadores possuem três funções essenciais e complementares: função científica (avaliar o estado da ambiência), a função política (contribuir para identificar prioridades e avaliar o desempenho políticas públicas setoriais, permitindo evitar o desperdício de recursos públicos e o desencontro com as expectativas da sociedade) e a função social (facilitar comunicação e incentivar responsabilidade ambiental dos atores sociais) (PNIA, 2014).

Os indicadores são empregados para avaliar e comparar territórios de diferentes dimensões e de diversas complexidades, sendo úteis para prognosticar futuros cenários e nortear ações preventivas (SANTOS, 2004; VALLE JUNIOR et al., 2014; LISETSKII et al., 2015; MANCINELLI et al., 2015).

O desenvolvimento de ferramentas de acesso à informação, a integração de banco de dados em sistemas de informação de forma associada e descentralizada e o fortalecimento do processo de sistematização e análise de estatística de indicadores ambientais e de desenvolvimento sustentável são tópicos de extrema importância para o desenvolvimento das sociedades que visam a globalização de informações (LISETSKII et al., 2015; MANCINELLI et al., 2015; PNIA, 2014).

A classificação dos indicadores aborda os problemas ambientais segundo a relação de causalidade, visando facilitar a análise das interações entre: as

pressões exercidas e o estado em que se encontra o meio ambiente com as repostas da sociedade (PNIA, 2014; SANTOS, 2004).

Segundo Carey (2011), o uso de indicadores que refletem a transformação da superfície terrestre identificam as relações entre a forma do terreno e os processos naturais que ocorrem. Sendo assim, os indicadores ambientais podem auxiliar no monitoramento dos resultados das interações entre a sociedade e o meio ambiente e inferir nas mudanças graduais observadas nos comportamentos socioambientais (MACHADO et al. 2011)

Outro ponto importante é a questão que estes indicadores ambientais podem subsidiar os processos de formulação, de planejamento e na tomada de decisão nas esferas públicas e contribuir para a avaliação dos resultados concretos das políticas de gestão econômica (PNIA, 2014; SANTOS, 2004).

As características morfométricas refletem a conformação geomorfológica. E os parâmetros morfométricos podem subsidiar o planejamento ambiental nas bacias hidrográficas e fornecer importantes indicadores para a compreensão dos recursos hídricos, que poderão ser utilizados para a viabilização de um desenvolvimento sustentável a partir das potencialidades dos recursos naturais existentes na bacia hidrográfica (MACHADO et al., 2011; QUEIROZ; SALES; SILVA, 2014).

Os indicadores ambientais para o planejamento territorial em microbacias com utilização de sistemas de informação geográfica - SIG tem sido estudados (CAREY et al., 2011; VALLE JUNIOR et al., 2014; LISETSKII et al., 2015; MANCINELLI et al., 2015). A automatização de análises para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas como o programa ArcSWAT gera de forma eficiente a conformação geomorfológica das terras (LU et al., 2015; KOFFLER, 1995). Desta forma, o SIG possibilita a obtenção de valores numéricos da superfície terrestre que podem nortear ações que priorizem a qualidade de vida e a recuperação e conservação dos recursos naturais (CASTRO et al., 2014).

A extração de informação de dados matriciais das imagens de satélite, obtidas pelas informações de radiância do alvo de cada região de pixel mapeada por técnicas de sensoriamento remoto serve de base para a elaboração de um banco de dados que após análise possibilitará a confecção de um relatório

de valores potenciais informativos do meio em que vivemos que podem ser transformados em indicadores ambientais (PETRINI; ARRAES; ROCHA, 2011; CAREY et al., 2011; VALLE JUNIOR et al., 2014; LISETSKII et al., 2015; MANCINELLI et al., 2015).

2.4. Conflito de Uso

O movimento da água em uma bacia hidrográfica reflete a sua conformação geomorfológica, por isso, o conhecimento das características morfométricas é fundamental no estabelecimento de estratégias de manejo (VALLE JUNIOR et al., 2013).

O crescimento econômico acelerado e a crescente expansão das atividades agropecuárias geram uma crescente busca por áreas para a ocupação. Se a ocupação não ocorrer de forma adequada e organizada, sem considerar as potencialidades e limitações quando ao uso das terras, constitui fonte potencial de deterioração do meio ambiente. (VALLE JUNIOR et al., 2013; CALVANTI, 2014; PACHECO et al., 2014).

O fator relevo influencia no padrão de uso da terra, interferindo sobre o tipo de atividade econômica praticada em cada unidade (PANQUESTOR et al., 2004). Quanto mais íngreme for as vertentes das bacias, maior é a intensidade do processo erosivo e maior será a deterioração do meio.

Neste trabalho, usa-se o termo “deterioração” em substituição ao termo “degradação”. Devido aos conceitos etimológicos descritos por Rocha (2001), a deterioração é o grau de poluição de qualquer recurso natural, e difere de degradação, que é a destituição infamante de um grau, de uma dignidade, de um cargo e da moral (ROCHA, 2001).

O conflito ocorre quando existe ocupação inadequada do espaço diante de um ordenamento que considera a aptidão de uso do solo, uma maneira de verificar a potencialidade das áreas das bacias hidrográficas é calcular o coeficiente de rugosidade e confrontá-lo com a ocupação atual (VALLE JUNIOR et al., 2013).

A aptidão de uso da terra é avaliada pela combinação do relevo da bacia e a densidade de drenagem, por meio do *Ruggedness Number* (RN) ou coeficiente de rugosidade (CR). Essa metodologia foi estudada inicialmente por Strahler (1952), mais tarde foi utilizado por Melton (1957) e Schumm (1956) como indicador de dinamismo hidrológico. Neste estudo, o RN será adotado como um avaliador aptidão da terra, seguindo a abordagem da Rocha e Kurtz (2001) e Valle Júnior (2008).

Os setores de um divisor de águas com um CR baixo (Classe 1) são adequados para a prática de cultivo agricultura, pois correspondem a áreas pouco dissecadas e declividade plana a ondulada. O elevado valor de CR, Classe 4, são destinados para ocupação de floresta, os solos destas áreas são inclinados e/ou altamente dissecados. Os setores intermediários são adequados para o pastoreio de gado (Classe 2) ou para um mosaico de pastagens e silvicultura (Classe 3) (ROCHA; KURTZ, 2001; VALLE JUNIOR, 2008).

Na análise do conflito ambiental pode-se verificar a situação das áreas quanto ao potencial de deterioração do solo e aptidão agrícola e acompanhar mudanças no padrão de uso da terra e detectar o impacto sobre o aspecto hidromorfológicos dos ecossistemas (VALLE JUNIOR et al., 2015).

Neste trabalho, considera-se a deterioração da bacia hidrográfica, a relação existente entre o uso atual das terras e processo erosivo natural e antrópico que causam a poluição ambiental (QUEIROZ; SALES; SILVA, 2014).

Com declividades acentuadas e a densidade de drenagem alta, a deterioração ocorre naturalmente. Entretanto, com a ocupação inadequada nestas áreas mais íngremes acompanhadas por práticas inadequadas de conservação do solo, denotam-se áreas com alta vulnerabilidade e risco ambiental (VALLE JUNIOR et al., 2013; VALLE JUNIOR et al., 2014a).

Assim, como a deterioração está relacionada ao uso da terra e ao processo erosivo, pode-se efetuar a análise do conflito de uso a partir do método coeficiente de rugosidade, que é calculado pelo produto da densidade de drenagem (erosão natural do meio) e a declividade média (topografia do terreno) da microbacia (ROCHA, 2001; NASCIMENTO; GARCIA, 2005). Com o resultado deste produto, obtem-se os valores do coeficiente de rugosidade (RN), o

qual poderá ser avaliado por sua amplitude e classificado em relação ao uso potencial do solo (TAGLIARINI; RODRIGUES; CAMPOS, 2014).

O estudo dos conflitos de usos do solo, que é o resultado do cruzamento entre potencial de uso das terras (coeficiente de rugosidade) com o uso atual pode gerar informações relevantes para planejamento e a tomada de decisão (VALLE JUNIOR, 2008; CAVALCANTI, 2014).

A expansão agrícola e o manejo inadequado do solo (uso do solo) podem provocar deterioração ambiental. Essas ações não planejadas do uso da terra somadas a potencialidades e limitações de cada área geram processos erosivos que mal manejados podem gerar impactos permanentes (VALLE JUNIOR et al., 2013).

Os conflitos de uso causados pelo uso inadequado do solo e pela má utilização do espaço físico territorial geram a deterioração na ambiência. Desta forma, o coeficiente de rugosidade é um valor que pode ser aplicado pelos órgãos governamentais para a organização do espaço territorial, bem como a preservação dos recursos naturais (MARTINS et al., 2005).

O planejamento do uso do solo deve ser considerado como uma atividade essencial a ser priorizada, visto que as adequadas ocupações das bacias hidrográficas podem diminuir o risco de perda de solo (BEZERRA; SILVA, 2014; VALLE JUNIOR et al., 2015).

O monitoramento e o planejamento das ações antrópicas podem melhorar os níveis de estabilidade à perda de solo e os valores obtidos desta perda podem auxiliar na tomada de decisão propondo junto à comunidade metas para o processo de planejamento no espaço geográfico a partir do estudo do conflito de uso (BEZERRA; SILVA, 2014).

Para auxiliar a tomada de decisão, vários estudos utilizam a técnica de análise multicritério. A técnica da análise multicritério surgiu na década de 60 para auxiliar nas questões referentes à tomada de decisão. Esta técnica é um instrumento que possibilita a análise comparativa de projetos ou medidas heterogêneas e possibilita o estudo de uma situação complexa utilizando ao mesmo tempo vários critérios. Desta forma, é uma ferramenta que auxilia os tomadores de decisão, integrando diferentes opções nas suas ações (SAATY, 1980).

O objetivo da análise multicritério é estruturar e combinar as diferentes análises e ser capaz de produzir uma conclusão sintética no final. Ao sintetizar a informação ela pode ser utilizada para formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional (MALCZEWSKI, 1999).

No geoprocessamento a técnica de análise multicritério pode ser utilizada para estudos de planejamento e gestão ambiental, como: análise de sensibilidade ambiental, planejamento de uso das terras (CAMPOS et al., 2015; VALLE JUNIOR et al., 2015), definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos e análise de risco ambiental de águas subterrâneas (VALLE JUNIOR et al., 2014).

2.5. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

No Brasil, a deterioração ambiental atinge 40% da ambiência e para determinar os impactos causados pelo homem no meio surgiram as Avaliações de Impacto Ambiental (KURTZ et al., 2002).

Para a avaliação de Impacto Ambiental – AIA é necessário definir o termo Ambiência e Deterioração. O termo meio ambiente será substituído por ambiência e o para evitar incoerências, o termo degradação será substituído por deterioração, que indica o grau de poluição de qualquer recurso natural, com tradução em diversos idiomas. A porcentagem de deterioração é uma unidade possível de medir a poluição (qualquer tipo de transformação física, química ou biológica que sofre um recurso natural) (ROCHA; CARPES, 2008).

A AIA surgiu na década de 60 nos EUA e no Brasil em 1981 com a Política Nacional do Meio Ambiente, ambos com o objetivo de tornar viável o desenvolvimento econômico, em harmonia com o uso dos recursos naturais.

A operacionalização é feita pelo EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) (ROCHA; CARPES, 2008; BRASIL, 1981). Os estudos realizados dentro da Avaliação de Impacto Ambiental- AIA, Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Imapacto Ambiental -RIMA são constituídos de parâmetros e de um conjunto de atividades técnicas e cien-

tíficas de diagnóstico ambiental, com objetivo de identificar, prevenir, medir e interpretar de forma inter e multidisciplinarietà o meio em que vivemos.

A Avaliação do Impacto Ambiental- AIA utiliza a matriz de avaliação de impactos (matriz de Leopold-Rocha) para verificar o grau de deteriorização e a viabilidade do empreendimento diante de suas medidas mitigatórias e compensatórias. Rocha (1997) desenvolveu um modelo matemático para a matriz de Leopold et al. (1971), tornando os valores quali-quantitativos.

A matriz de Leopold é um método qualitativo de avaliação do impacto ambiental das atividades empreendedoras, ao redor dos recursos naturais. O sistema consiste em uma matriz de informação, onde as colunas representam as atividades realizadas (manejo do solo; aumento do tráfico; ruído etc.) e nas linhas os fatores ambientais (água, solo, geologia etc.) que são considerados. A transformação da análise quantitativa em qualitativa da AIA é versátil e fácil de aplicar. A classificação é realizada por uma série de atributos qualitativos e quantitativos que podem ser manipulados pelo avaliador (TORO et al., 2013).

O estudo da Matriz de Leopold consiste em cruzar ações propostas com fatores ambientais nos quais são atribuídos pesos de 1 a 10 de magnitude e de importância do impacto. Destes parâmetros, estudam-se a probabilidade dos impactos ocorrerem, e a obtenção dos dados que aproximem o estudo à realidade local (OLIVEIRA; MOURA, 2009). As medidas de magnitude e importância estão relacionadas, mas não necessariamente correlacionadas. Assim, a magnitude pode ser medida em termos de quantidade, como a área afetada do solo, o volume de água contaminada e os valores que indicam a perda ou ganho de qualidade do recurso natural (LEOPOLD et al., 1971).

As medidas mitigadoras visam minimizar os efeitos das deteriorações causadas pela ação dos empreendimentos na ambiência e as selecionar em medidas compensatórias que corrigem as eventuais poluições ambientais (ROCHA; CARPES, 2008).

A AIA buscará determinar o grau do impacto cumulativo ocorrida na bacia hidrográfica. Segundo Oliveira (2008) este impacto cumulativo, faz parte do processo da AIA e trata-se das mudanças ocorridas no ambiente e/ou sistemas ambientais.

O uso e ocupação do solo é um processo de alteração da paisagem que altera a configuração original da área, podendo ser considerado um importante parâmetro do fator antrópico (KLAIS et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área

A área de estudo compreende uma extensão de 1282 km², que drena suas águas para a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 9 – Mogi Guaçu, localizada entre os vértices de coordenadas UTM 750 e 810 kmE e 7675 e 7630 kmN com a origem no Equador e Meridiano 51° W. Gr, datum SIRGAS 2000, na qual contém o município de Jaboticabal e áreas adjacentes, na parte Centro-Norte do estado de São Paulo (Figura 2).

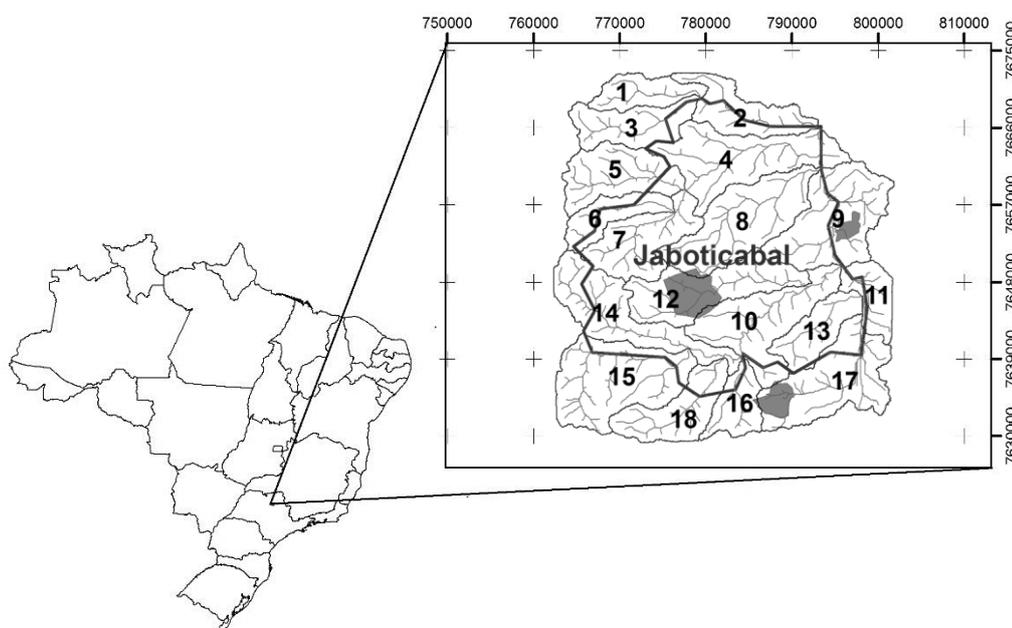


Figura 2. Área de estudo no Estado de São Paulo.

Esta região situa-se na formação geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, cujo relevo predominante é suave ondulado, com altitude média de 600 m, próximo às Cuestas Basálticas que limitam este Planalto com a Depressão Periférica da Bacia do Paraná.

Os principais solos pertencem às unidades de Latossolos e Argissolos. A cobertura vegetal natural predominante é o Bioma do cerrado. Porém, a região recebe interferências da mata atlântica com sua Floresta Estacional Semideci-

dual, por estar na zona de transição (IBGE, 2012). O clima da região é classificado como um B1rA usando o Método de Thornthwaite (1948) (CAPORUSSU; ROLIM, 2015).

3.2. Caracterização dos Indicadores Morfométricos

Os compartimentos hidrológicos são regiões que contém as redes de drenagem, que interagem entre si e armazenam as águas que contribuem para a vazão do rio Mogi-Guaçu e que abastecem o município de Jaboticabal. Estas regiões não caracterizam, necessariamente, uma bacia hidrográfica, e sim, parte desta.

Um indicador ambiental é uma variável, qualitativa e/ou quantitativa, que foi mensurado no espaço, destinado a permitir o acompanhamento dinâmico das áreas naturalmente mais fráguas.

Para definir os indicadores ambientais de políticas públicas a partir da caracterização morfométrica, a área de estudo foi dividida em compartimentos hidrológicos (CH), nos quais foram determinadas as características morfométricas e elaborados os mapas temáticos de uso potencial (UP), uso atual (UA) e conflito de uso (C).

Para a delimitação dos compartimentos foi utilizado o modelo de elevação digital do terreno (*Digital Elevation Model – DEM*) da *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*, com resolução espacial de 30 metros, folha SF 22 X-D (EMBRAPA, 2015), e o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool*, ArcSWAT com a interface de Sistemas de Informações Geográficas – SIG's, *Software ArcGis*, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, no comando *watershed delineator* gerando 18 compartimentos hidrológicos e 6 fragmentos, totalizado 24 CH.

Destes 24 compartimentos delineados no modelo SWAT, no ArcGis, 18 foram reprojatados considerando a relação da área e da composição da rede de drenagem, para efetuar a caracterização morfométrica.

As metodologias para a determinação das características morfométricas seguiram os critérios de Horton (1945), Smith (1950), Schum (1956, 1957), Strahler (1952, 1957), França (1968), Politano (1992) e Pissarra (1998), e foram medidos os seguintes valores: área (A) em km²; o perímetro (P) em km, o número de canais (Nt), o comprimento da rede de drenagem (Cr) em km e declividade da microbacia (D) em %, frequência (F) em canais/km² e a densidade de drenagem (Dd) em km/km².

Área (A): Compreende a superfície total do compartimento, e o valor foi gerado no programa ArcSWAT, expresso em quilometro quadrado (km²).

Perímetro (P): Corresponde a medida do comprimento da linha do divisor topográfico que delimita a área da bacia (SMITH, 1950), e o valor foi gerado no programa ArcSWAT expresso em quilometro (km).

Comprimento rede de drenagem (Cr): Corresponde ao comprimento total do segmento de rio que forma a rede de drenagem da bacia hidrográfica (HORTON, 1945), expresso em quilometro (km).

Número de canais (Nt): terminada pelo número de segmentos de rios de cada bacia hidrográfica (und.).

Declividade (D - %): declividade média da microbacia foi gerada pelo ArcSWAT dentro da dentro da "Attribute Table", na coluna "Slop1" (%).

Densidade de drenagem (Dd: km/km².) explica o comportamento hidrológico e litológico de cada unidade de solo. Os locais onde a infiltração da água no solo é dificultada, o escoamento superficial é gerado junto com a esculturação do terreno e geração dos rios e córregos, o que aumenta a densidade de drenagem da área (HORTON, 1945).

$$Dd = \frac{r}{A}$$

Cr = comprimento da rede de drenagem (km)

A = área da bacia (km²)

Os valores elevados indicam áreas de pouca infiltração, elevada precipitação e melhor esculturação dos canais (HORTON, 1945). Segundo Beltrame (1994), a classificação dos valores numéricos de densidades de drenagem é

realizada em 4 classes (menor que 0,5 km/km² é considerada baixa; de 0,5 a 2,00 - média; de 2,01 a 3,5 - alta; maior que 3,5 - muito alta).

Frequência de rios (F: canais/km²) obtém-se pela relação entre o número de segmentos de rios e a área da bacia (HORTON, 1945). Esse parâmetro também chamado de Densidade de rios das subbacias (Dr) é considerado como a quantidade de rios/canais por unidade de área em km² (CHRISTOFOLLETTI, 1974; FERREIRA; BEZERRA, 2015).

$$\frac{N_t}{A}$$

N_t: número de segmentos de rios (N);

A: área (km²).

Coefficiente de Rugosidade (RN): também conhecido como *Ruggedness Number* (RN), é obtido pelo produto da densidade de drenagem da microbacia e declividade média da microbacia.

$$D_d \cdot D$$

Onde:

RN (adimensional) é o coeficiente de rugosidade;

D_d (km/km²) é a densidade de drenagem definida pela razão entre o comprimento total do canal de água (C_r – km) dividido pela área da bacia (A – km²).

D (%) é a declividade média da bacia;

Para a espacialização das características morfométricas foi determinado o número de classes e o cálculo da amplitude de cada classe, com os valores obtidos em cada compartimento hidrológico (CH).

Número de classes (K): foi determinada o número de classes conforme as classes do uso potencial da terra.

Amplitude da classe (h): dispersão entre o maior e o menor número

$$h = \frac{Maior - Menor}{K}$$

h = Amplitude da classe; Maior = maior número do rol ou da classe; Menor = menor número do rol ou da classe; K = número de classes.

Mapas Temáticos de Uso Potencial (UP), Uso Atual (UA) e Conflito de Uso (C)

A deterioração da ambiência dos recursos naturais das bacias hidrográficas está diretamente associada ao uso das terras. O acompanhamento dinâmico das áreas frágeis foi determinado pela geração dos mapas temáticos de uso potencial, de uso atual e de conflito de uso.

Mapa de Uso Potencial (Aptidão de Uso da Terra)

O Uso Potencial do Solo (UP) isto é, a aptidão de uso da terra, é determinado pelo produto do relevo da bacia e a densidade de drenagem, por meio do coeficiente de rugosidade (CR) ou *Ruggedness Number* (RN). Introduzido por Strahler (1952), o RN foi originalmente usado como indicador de dinamismo hidrológico (MELTON, 1957; SCHUMM, 1956). Em diversos trabalhos, a partir de Rocha e Kurtz (2001) e Valle Júnior (2008), adota-se o RN como um avaliador da aptidão da terra. Quanto maior for o valor do RN obtido, maior será a ocorrência do processo de erosão do compartimento (SAMPAIO et al., 2010).

Na metodologia para determinar o RN, a área da bacia hidrográfica em estudo deve ser subdividida em áreas menores, chamadas de subbacias ou compartimentos hidrológicos. Em cada subbacia deverá ser realizada a classificação de ordens da rede de drenagem de Strahler (1957) manualmente ou de forma automática utilizando o *software* ArcSWAT.

No mapa de Uso Potencial (UP), o parâmetro morfométrico, coeficiente de rugosidade (RN), é classificado conforme a amplitude de valores determinados de RN. As classes foram obtidas em função do maior e do menor valor, como se segue:

$$\text{Classe } (i) : RN_{min} + (i - 1) \times \Delta \leq RN \leq RN_{min} + i \times \Delta$$

com: $1 \leq i \leq n, e$

$$\Delta = \frac{RN_{max} - RN_{min}}{n}$$

Onde: i é a classe RN, n é o número de classes de RN (quatro), e RN_{min} e RN_{max} são os valores mínimos e máximos de RN calculados na região estudada.

Segundo Rocha e Kurtz (2001) e Valle Júnior (2008), os setores de um divisor de águas com um RN baixo são adequados para a prática de cultivo de agricultura, pois correspondem às áreas pouco dissecadas e com declividade suave ondulada. Neste caso, o RN é classificado como Classe 1. O elevado setor de RN, Classe 4, é destinado para ocupação de floresta. Os solos destas áreas são inclinados e/ou altamente dissecados. Os setores intermediários são adequados para o pastoreio de gado (Classe 2) ou para um mosaico de pastagens e florestas antrópicas - silvicultura (Classe 3).

Mapa de Uso Atual do Solo

Para elaborar o mapa de uso atual (UA) foi utilizada a imagem Landsat-8, de 1 agosto de 2014, que possui oito bandas multiespectrais na resolução espacial de 30 metros (LANDSAT TM 8, 2014), sendo utilizadas a composição das bandas 6, 5, 2. A classificação de uso foi dividida em 3 classes: agricultura; floresta/silvicultura e pecuária. Como na área ocorre áreas urbanas, foi determinado um vetor manualmente que limitou estas regiões, das classes de uso acima citadas. As áreas urbanas apresentam elevada mistura espectral, não sendo separada por classificação digital de maneira satisfatória.

Para a determinação das áreas das 3 classes de uso do solo foi utilizada a técnica de classificação automática supervisionada, pelo método da máxima verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*), processada nas imagens de satélite. Os pixels selecionados para a classificação foram utilizados para gerar a assinatura espectral de cada uso (*Spatial Analyst Tool – Multivariate - Create Signatures*). Para cada classe foi selecionada uma cor, que compôs a legenda do mapa elaborado.

Mapa de Conflito de Uso

Para a obtenção do mapa de conflito de uso (C), ou ambiental, foi utilizada a álgebra de mapas tradicional, no modo tabular (diretamente nas tabelas), na operação matemática, que é realizada na intersecção de mapas de uso Potencial (UP) e uso do solo (UA).

O conceito de conflito de uso da terra ambiental foi introduzido por Mello Filho e Rocha (1992; 1994), desenvolvido por Valle Júnior (2008) e Valle Junior et al., (2013). Segundo esses autores, um conflito pode existir se o uso atual se desvia de um uso potencial, que está em uma avaliação de aptidão. Para codificar potencial (natural) usa-se o código N, e para codificar uso atual, o código A (Tabela 1).

Tabela 1. Códigos de classificação de uso potencial (Código N) e uso atual efetivo do solo (Código A) selecionado para a análise de conflitos.

Aptidão de uso/uso atual do solo	Código N/Código A
Agricultura	1
Pastagem para a produção pecuária	2
Pastagem para a produção pecuária – campo natural; campo sujo; e/ou Silvicultura	3
Floresta Nativa – Estado Natural/Silvicultura	4

Valle Júnior et al. (2013) definiu quatro classes gerais, que são calculadas pela subtração dos pesos dados a aptidão de uso (Código N) com o uso atual do solo (Código A).

Esse processo é realizado em *software* de sistema de informação geográfica dando peso em cada pixel no mapa gerado com as classes de aptidão de uso (Código N) subtraído do pixel do mapa gerado com o uso atual (Código A), conforme Tabela 1, processo denominado álgebra de mapas.

Código N = Código A = 1 para a agricultura de cultivo,

Código N = Código A = 2 para o pastoreio de gado,

Código N = Código A = 3 por um mosaico de pastagens e áreas com silvicultura.

Código N = Código A = 4 para a floresta e silvicultura.

O conflito de uso do solo ambiental é estimado pela equação 1.

Eq(1):

$$\text{Classe Conflito} = \text{Código } N_i - \text{Código } A_j$$

com $1 \leq i \leq n$ e $1 \leq j \leq n$

O valor da classe de conflito determina as áreas que estão e as que não estão com o uso atual acima da aptidão de uso do solo.

De acordo com a Eq. (1), os valores de cada pixel após a álgebra de mapas, corresponde abaixo representados e categorizados:

- **Expansão agrícola** (Código $N_i - A_j \leq 0$): zero ou valores negativos: não há áreas de conflito, representando áreas com potencial para uma expansão sustentável da agricultura ou pastoreio de gado;
- **Conflito de classe 1** ($N_i - A_j = 1$): são áreas de conflito Classe 1, exemplo: Código N = 2 (áreas adequadas para pastoreio de gado) na verdade, usada Código A = 1 (agricultura);
- **Conflito de classe 2** ($N_i - A_j = 2$) são áreas de conflito Classe 2, exemplo: Código N = 3 (ocupação mista de florestas e pastagens) ocupadas por Código A = 1 (agricultura).
- **Conflito de classe 3** ($N_i - A_j = 3$) são áreas de conflito Classe 3, exemplo: Código N = 4 (áreas com potencial para a silvicultura) ocupadas por Código A = 1 (agricultura).

Os valores positivos são considerados conflitos de uso do solo e são classificados em 3 classes, que devem seguir as recomendações abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de Conflito de Uso do Solo em compartimentos hidrológicos.
Adaptado (Valle Junior, 2008).

Classes de conflito	Cálculo	Recomendação
Classe 1	UP – UA = C	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens, seu uso deve ser norteado pela implementação de técnicas conjuntas de conservação do solo (caráter vegetativo, mecânico).
	4 - 3 = 1	
	3 - 2 = 1	
Classe 2	UP – UA = C	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental.
	4 – 2 = 2	
	3 – 1 = 2	
Classe 3	UP – UA = C	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.
	4 – 1 = 3	

3.3. Análise dos Dados e Indicadores Ambientais

A seleção dos parâmetros morfométricos que melhor representam os indicadores ambientais de áreas ambientalmente fráguas foi verificado utilizando a análise estatística descritiva, análise exploratória dos dados, a correlação e a análise multivariada no método de agrupamento hierárquico e análise de fatores.

Análise Estatística Descritiva

Os resultados foram submetidos à análise descritiva univariada, na qual foram determinadas as medidas de tendência central (média e mediana) e de variabilidade (desvio padrão) e de dispersão relativa (coeficiente de variação).

Média aritmética (\bar{x}): é o valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição. Se n = número dados, cada número denotado por x_i , onde $i = 1, n$, a média aritmética é a soma dos valores x_i 's divididos por n , ou:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{x_{\Sigma}}{n}$$

Mediana (m): é classe onde a frequência relativa acumulada atinge os 50%. O valor exato da mediana pode calcular-se utilizando uma regra de três simples, admitindo que as observações se distribuem uniformemente pela amplitude da classe. Nas variáveis contínuas, a mediana, m , é tal que:

$$m = \begin{cases} x_{(k+1)} & \text{se } n = 2k + 1 \text{ (} n \text{ é ímpar)} \\ \frac{1}{2}(x_{(k)} + x_{(k+1)}) & \text{se } n = 2k \text{ (} n \text{ é par)} \end{cases}$$

Desvio padrão (s): é a medida mais comum da dispersão estatística, ele mostra o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média (ou valor esperado). Um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média; um desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores.

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Coefficiente de variação (CV) é uma medida de dispersão relativa, empregada para estimar a precisão de experimentos e representa o desvio-padrão expresso como porcentagem da média.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} (100)\%$$

Quanto menor for o coeficiente de variação mais homogêneo é o conjunto de dados, sendo assim Panquestor et al., (2004) utilizou a seguinte representabilidade (Tabela 3).

Tabela 3. Representatividade do coeficiente de variação;

Coeficiente de Variação (CV)	Representatividade
CV < 10	Baixo
10 ≤ V < 20	Médio
20 ≤ V < 30	Alto
V ≥ 30	Muito Alto

Coeficiente de correlação (ρ): indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No uso estatístico geral, correlação ou co-relação se refere a medida da relação entre duas variáveis, embora correlação não implique causalidade. Neste sentido geral, existem vários coeficientes medindo o grau de correlação, adaptados à natureza dos dados.

$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var\{X\}Var\{Y\}}} \in (-1, +1)$$

Análise Estatística Multivariada

Os métodos estatísticos multivariados possibilitam segmentar as bacias hidrográficas a partir do grau de similaridade existente entre os parâmetros morfométricos, os métodos de análise de componentes principais e análise de grupos possibilitam evidenciar os padrões espaciais que refletem as dinâmicas ambientais similares (SODRÉ et al., 2007).

Método de agrupamento hierárquico: a análise do agrupamento permite classificar em subgrupos excludentes, onde se pretende maximizar a homogeneidade dentro dos grupos. A estrutura simplificada da análise de agrupamento são as relações de similaridade e diferenças não antes reveladas.

- **funções de padronização :**

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}}{s_j}$$

onde $j=1, 2, \dots, p$ atributos e $i=1, 2, \dots, n$ objetos, Z_{ij} o valor padronizado de x e \bar{x}_j e s_j a média e o desvio padrão da coluna j . As variáveis assim padronizadas tem média nula e variância unitária.

- **Coefficientes de semelhança para variáveis métricas:** É a mais utilizada. É a distância geométrica num espaço multidimensional. O cálculo da distância entre dois objetos A e B nesse espaço é feito a partir da fórmula:

$$d_{AB} = \sqrt{(x_{1A} - x_{1B})^2 + (x_{2A} - x_{2B})^2 \dots (x_{mA} - x_{mB})^2}$$

- **Método de Ward:** Neste método a distância entre dois grupos é definida como a soma de quadrados entre os dois grupos feita sobre todas as variáveis. Em cada estágio do procedimento de agrupamento, a soma interna de quadrados é minimizada sobre todas as partições que podem ser obtidas pela combinação de dois grupos do estágio anterior. Este método tende a combinar grupos com um pequeno número de observações e também tende a produzir grupos com aproximadamente o mesmo número de observações.

Análise de fatores: A análise de fatores tem muita semelhança com a análise de componentes principais. A diferença importante entre ambas, é que a análise de componentes principais não se fundamenta em um modelo estatístico particular, enquanto que a análise de fatores se fundamenta em um modelo. A decomposição da variância na análise de componentes principais é feita a partir da variância total contida nas variáveis originais enquanto que na análise de fatores a variância (comunalidade) representa a variância que a variável X_i compartilha com as outras variáveis, via fatores comuns. É utilizada para analisar inter-relações contidas em grupos de p variáveis X_1, X_2, \dots, X_p bem como explicar estas variáveis em termos de índices ou fatores subjacentes comuns. O objetivo é condensar a informação contida em um determinado número de

variáveis originais em um conjunto menor, os fatores, com uma perda mínima de informação.

O modelo geral de análise de fatores é

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i$$

Em que X_i é a i -ésima variável com média zero e variância unitária; a_{i1} a a_{im} são as cargas dos fatores para a i -ésima variável; F_1 a F_m são os m fatores comuns não correlacionados, cada um com média zero e variância unitária; e_i é um fator específico somente para a i -ésima variável que é não correlacionado com qualquer dos fatores comuns e tem média zero.

3.4. Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica

O estudo buscou gerar o mapa de vulnerabilidade da bacia hidrográfica utilizando os parâmetros morfométricos de 18 compartimentos hidrológicos. Segundo Valle Junior et al. 2015, alguns dos parâmetros morfométricos podem ser correlacionados com o processo erosivo natural do solo. As bacias hidrográficas se comportam de forma diferente de acordo com suas características uniformes, desta forma a identificação de bacias críticas devem ser realizadas para que exista um planejamento e gestão mais direcionada (AHER, ADINARAYANA, GORANTIWAR, 2014).

Geoprocessamento

Toda a modelagem computacional dos dados espaciais foi executada pelo software IDRISI Selva (EASTMAN, 2012), desenvolvido pelos pesquisadores Clark Labs que trabalham no Departamento de Geografia da Universidade Clark (<http://www.clarklabs.org>). Os mapas foram desenhados com as ArcGIS / Software desenvolvido pela ESRI ArcMap.

Análise multicritérios

De acordo com Malczewski (1999), qualquer Análise Multicritério (MCA) é um procedimento de três passos envolvendo: (1) a seleção de fatores e restrições com subsequente elaboração de pixel com base (varredura) mapas escrevendo a sua distribuição espacial, (2) a atribuição de um fator de peso para cada um, e (3) a combinação de ponderação fatores e restrições que formam um mapa final de MCA.

Seleção de fatores e restrições.

Os fatores são variáveis que exibem valores numa escala contínua. Neste estudo, eles são representados pelos seis parâmetros morfométricos listados na coluna 1 da Tabela 4.

Os valores são padronizados de acordo com as funções de transformação pré-definidos baseados em lógica difusa, chamadas funções de pertinência fuzzy. Os valores transformados dos fatores são subíndices denominado e variam entre 100 (maior vulnerabilidade) e 0 (vulnerabilidade inferior).

A correspondência entre os valores dos fatores e sub-índices é descrito na Tabela 4 e foi calculada como se segue: (a) o limite superior de classes de qualidade A, B, e C no Tabela 4 foram atribuídos os subíndices 25, 50, 75, respectivamente; (b) esses valores-limite e subíndice superiores foram projetados em um limite superior de dispersão contra o sub-índice. O procedimento foi repetido para cada fator; (c) uma linha de tendência foi ajustada aos pontos de dispersão, sendo representada por uma função polinomial (coluna 3 da Tabela 4); (d) valores do fator correspondente ao subíndices no intervalo 0 - 100, com o valor do parâmetro de cada compartimento hidrológico, foram utilizados para calcular as funções polinomiais (colunas 4-11 da Tabela 4).

As restrições, isto é, as regiões dos mapas que não serão contabilizadas, indicam as áreas que devem ou não serem avaliadas para a vulnerabilidade. Na elaboração de mapas raster booleanos é preenchido com os valores

discretos de 1 (adequado para a avaliação) ou 0 (não adequado). As linhas de água superficiais dos compartimentos hidrológicos foram classificadas como não adequadas, porque não foram inerentemente classificadas como áreas frágeis. Valle Junior et al. (2015) utiliza fatores, restrições e funções de transformação semelhantes aos utilizados no presente estudo.

TABELA 4. Fatores e equações usadas dentro do MCA correspondente entre parâmetros dos compartimentos hidrológicos associado a pesos.

FATOR	Unidade	EQUAÇÃO (PE- SOS)	Classes de Vulnerabilidade								
			Pesos	A		B		C		D	
				0	25	25,1	50	50,1	75	75,1	100
CR	km	$\text{Peso} = (-0,358 + (0,0178 * \text{CR})) * 100$	20,135	34,177	34,177	48,219	48,219	62,260	62,260	76,301	
Dd	km/km ²	$\text{Peso} = (-1,952 + (3,595 * \text{Dd}) - (0,0466 * \text{Dd}^2)) * 100$	0,547	0,617	0,620	0,688	0,690	0,759	0,760	0,830	
Nt	und. canais	$\text{Peso} = (-0,353 + (0,0469 * \text{Nt}) - (0,000380 * \text{Nt}^2)) * 100$	7,00	15,50	15,50	24,000	24,000	32,50	31,500	41,000	
F	canais/km ²	$\text{Peso} = (-0,925 + (4,778 * \text{F}) - (0,0623 * \text{F}^2)) * 100$	0,19	0,25	0,247	0,301	0,302	0,356	0,356	0,411	
D	%	$\text{Peso} = (1,484 + (0,328 * \text{D})) * 100$	4,52	5,28	5,28	6,040	6,044	6,804	6,804	7,564	
RN	ad.	$\text{Peso} = (-1,660 + (0,545 * \text{RN}) + (0,000386 * \text{RN}^2)) * 100$	3,039	3,50	3,496	3,950	3,952	4,410	4,409	4,865	

Ponderação de fatores.

O próximo passo para a avaliação da vulnerabilidade usando MCA é a ponderação de fatores. A técnica adotada é conhecida como Análise Hierárquica e foi desenvolvido por Saaty (1980), sendo recentemente incorporada no *software* IDRISI Selva como módulo peso (*Weight Module*) (EASTMAN, 2012).

Em primeiro lugar, os nomes são utilizados como fator de cabeças de linhas e colunas de uma matriz quadrada (Tabela 5). Em segundo lugar, os fatores são comparados em um modo par a par sobre a sua importância relativa na avaliação da vulnerabilidade da bacia hidrográfica. A comparação é quantificada utilizando-se um número entre 1/9 (extremamente menos importante) e 9 (extremamente mais importante).

Este número (n) vai preencher o triângulo inferior abaixo da diagonal principal da matriz quadrada, enquanto seu recíproco (1 / n) vai preencher o triângulo superior. A Tabela 5 apresenta as opções de n e 1 / n no que respeita ao presente estudo de caso.

Tabela 5. Resultados do fator de ponderação por parte do Processo Hierárquico Analítico - AHP (SAATY, 1980).

	Cr	Dd	Nt	F	D	RN	Fator de Peso
Cr	1	1/3	1/3	1	1	1/3	0,0865
Dd	3	1	1/3	1	1	1/3	0,1254
Nt	3	3	1	1	1	1/3	0,1707
F	1	1	2	1	1/2	1/3	0,1319
D	1	1	1	2	1	1/3	0,1364
RN	3	3	3	3	3	1	0,3492

A AHP foi implementado pelo módulo peso do *software* IDRISI Selva. Para estes conjuntos de pesos dos fatores, os índices de consistência calculados foram 0,12 (12%).

Em terceiro lugar, o principal autovetor da matriz quadrada é calculado, os componentes de que são pesos finais dos fatores (última coluna da Tabela 5). Finalmente, um índice estatístico é calculado, para verificar se os pesos dos fatores são consistentes. Este índice de consistência (IC), o qual varia entre 0 e 1, mede a probabilidade dos valores da matriz a ser gerada de uma maneira aleatória.

Conforme relatado no trabalho desenvolvido por Saaty (1980), quando esta probabilidade torna-se maior do que 10% ($I \geq 0,1$) as escolhas de n e de $1/n$ não são verdadeiras e, portanto, deve ser reavaliada.

Avaliação da vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica

Em uma etapa final, a vulnerabilidade da bacia hidrográfica é calculada pela Combinação Linear Ponderada como implementado pelo módulo WLC de software IDRISI Selva (EASTMAN, 2012).

Em uma corrida deste módulo, os mapas de fatores (Cr, Dd, Nt, F, D, RN) são produzidos para a área de estudo por interpolação de valores dos fatores medidos dos compartimentos hidrológicos (por exemplo, Fig. 7,8,9,10 do resultados e discussão). Posteriormente, esses mapas são unidos com os valores obtidos nas tabelas que estabelecem as correspondências entre os valores de fatores e os de subíndices (Tabela 4), para produzir mapas de fatores padronizados (mapas x_i , onde i representa um fator).

Além disso, o vetor da rede de drenagem é usado para desenhar um mapa de restrição (mapa Y_j , onde j é a restrição), em que nos pixels abaixo do vetor da rede de drenagem do curso de água são atribuídos uma pontuação de 0, e os pixels restantes apresentam uma pontuação de 1. Finalmente, o mapa de vulnerabilidade (mapa S) é calculado pela equação:

$$S = \sum_{i=1}^p w_i X_i \prod_{j=1}^q Y_j, \text{ para cada pixel no mapa.}$$

onde w_i é o peso do fator i , tal como calculado pelo módulo peso (*Weight Module*) descrito na seção anterior, o símbolo p representa o número de elementos (6, para o presente estudo de caso) e q o número de restrições (1 para o presente estudo de caso).

No final, os valores de S são reclassificados em três classes de vulnerabilidade, a partir de invulnerável à extremamente vulnerável, conforme a Tabela 6.

TABELA 6. Vulnerabilidade da bacia hidrográfica associado ao Multicritério (MCA) à partir da análise de componentes morfométricos dos compartimentos hidrológicos.

Classe de Vulnerabilidade Bacia Hidrográfica	Descrição	Intervalo de pontuação Padronizado	
4	Extremamente Vulnerável	63	84
3	Vulnerável	42	63
2	Fracamente Vulnerável	21	42
1	Invulnerável	0	21

3.5. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em Bacias Hidrográficas

O perímetro urbano da cidade de Jaboticabal se encontra quase na sua totalidade dentro da microbacia hidrográfica do córrego do Jaboticabal (CH 15). As atividades antrópicas nesta região são mais intensificadas nesta bacia. Assim, foi realizada a avaliação do impacto ambiental – AIA, que buscou quantificar os impactos cumulativos das ações antrópicas de cada uso e a ocupação do solo (agricultura, área urbana, floresta e pecuária).

Metodologia de Avaliação do Impacto Ambiental

A descrição e a avaliação dos impactos ambientais, positivos e negativos provocadas pelas ações antrópicas nos recursos naturais foram realizados seguindo a metodologia da Matriz de Leopold- Rocha, utilizada inicialmente em diagnóstico da viabilidade ambiental de empreendimentos (ROCHA, 1997). A qual foi adaptada para considerar os impactos cumulativos (OLIVEIRA, 2008), que ocorrem dentro da microbacia hidrográfica.

A Matriz de avaliação dos impactos ambientais foi inicialmente elaborada por Leopold e colaboradores em 1971 para o *United States Geological Survey*- USGS e depois modificada por Rocha (1997), com relação aos aspectos e análises quantitativas. O estudo desta Matriz consiste em cruzar as Ações Propostas com os Fatores Ambientais. A Matriz de Leopold é composta por 117 Cruzamentos e 8536 Interações possíveis decorrentes da utilização de 97 Ações Propostas e de 88 Fatores Ambientais (Anexo A).

O impacto do empreendimento é caracterizado por notas de magnitude e importância atribuída sobre cada fator ambiental. Cada cruzamento de uma Ação Proposta sobre um Fator Ambiental, recebe valores de Magnitude e Importância que variam de 1 a 10 (Figura 3), correspondendo o valor 1 para a menor deterioração, logo melhor situação ambiental.

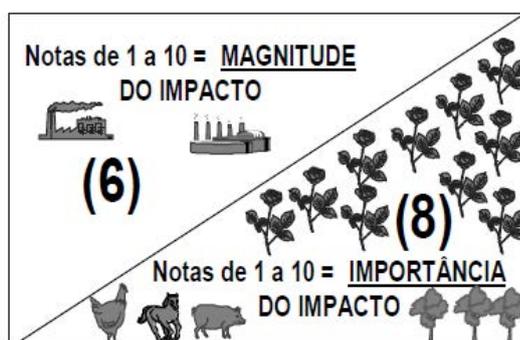


Figura 3. Pesos nas quadrículas e respectiva análise (ROCHA, 2001).

A análise dos resultados é considerada com os valores médios de magnitude e com a importância dos impactos negativos (ROCHA, 1997):

- Se ≤ 5 o empreendimento é viável;
- Se \geq até 8, o empreendimento pode ser viável se as medidas mitigadoras e compensatórias forem muito forte e justificáveis;
- Se ≥ 8 tornam inviável o empreendimento, caracterizando um dano ambiental, muitas vezes irreversível.

A matriz foi utilizada para avaliar a condição ambiental de uma microbacia urbana-rural. A matriz foi construída sobre as Ações Antrópicas representativas dentro dos 4 usos do solo: agricultura, área urbana, floresta e pecuária (Anexo B).

A aplicação dessa metodologia sobre os usos e ocupação do solo visa identificar e comparar o nível de impacto existente na microbacia estudada, podendo assim gerenciar as medidas mitigatórias e compensatórias de acordo com o valor médio dos impactos negativos de magnitude e de importância.

De posse dos valores é possível discutir cada caso isoladamente, de preferência entre vários técnicos devido à subjetividade possível de interpretação, quando não se domina o tema.

Parâmetros considerados para ponderar os valores de magnitude e importância.

A ponderação dos valores (pesos) de magnitude e importância é feita mediante o seguinte conjunto de parâmetros (ROCHA, 1997).

A magnitude é determinada pela equação abaixo, seguindo as ponderações de cada variável:

AG IT D te nsão eriodicidade In tensidade Di stribuição spacial

- a) Extensão** – Tamanho da ação ambiental do empreendimento. Considerar a área da microbacia correspondente (ou outra área de influência real); Se 20%, significa peso 2 e assim por diante (Tabela 7).

Tabela 7. Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Extensão

Peso	Descrição
1	Quando a área de influência efetiva da ação representa de 0 a 10% da área total.
n	Quando a área de influência efetiva da ação representa de $[n(n-1)*10]$ a $[n*10]$ % da área total.
10	quando a área de influencia efetiva da ação representa de 90 a 100% da área total

O valor da extensão determinado a partir do Anexo B, considerando o percentual de extensão da ação antrópica sobre cada uso e ocupação da área total da microbacia.

- b) Periodicidade** – Duração do efeito da ação. Tempo que o efeito demora a terminar (Tabela 8).

Tabela 8. Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Periodicidade.

Designação	Peso	Descrição
Ação temporária	0	cessa quando pára a ação
Ação variável	1	não se sabe quando termina o efeito após cessar a ação
Ação permanente	2	não cessa mesmo parando a ação

c) **Intensidade** – Exuberância da ação impactante. Relação da dimensão da ação com o empreendimento (Tabela 9).

Tabela 9. Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Intensidade.

Designação	Peso	Descrição
Baixa	0	Pequena ação impactante
Média	1	Média ação impactante
Alta	2	Grande ação impactante

d) **Distribuição Espacial** – Dimensão da área afetada pelo empreendimento (Tabela 10)

Tabela 10. Quadro da atribuição de pesos ao parâmetro Distribuição Espacial.

Designação	Peso	Descrição
Impacto Local	0	Local e imediações
Impacto Regional	1	Além das imediações
Impacto Estratégico	2	Interesse nacional

A determinação da importância é determinada pela equação abaixo:

$$I = T \cdot IA \cdot AGIT \cdot D \cdot A \cdot \text{ação} \cdot \text{lg} \cdot \text{nição} \cdot \text{r} \cdot \text{iticidade}$$

a) **Ação** – Número de efeitos que a ação causa (Tabela 11).

Tabela 11. Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Ação.

Designação	Peso	Descrição
Primária	0	1 causa → 1 efeito
Secundária	1	1 causa → 2 efeitos
Terciária	2	1 causa → 3 efeitos
Enésima	3	1 causa → n efeitos

b) Ignição – Tempo que a ação demora a se fazer sentir. Intervalo de tempo entre ação e efeito (Tabela 12).

Tabela 12 – Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Ignição.

Designação	Peso	Descrição
Imediata	0	causa → efeito simultâneo
Médio prazo	1	causa → efeito surge simultâneo e/ou algum tempo depois da causa
Longo prazo	2	causa → efeito surge muito tempo depois, concomitante ou não com os casos anteriores

c) Criticidade – Nível de relação entre a ação e o efeito que ela provoca (Tabela 13).

Tabela 13 – Quadro ilustrativo da atribuição de pesos ao parâmetro Criticidade.

Designação	Peso	Descrição
Baixa	0	baixo nível de relação entre os fatores: causa × efeito
Média	1	médio nível de relação entre os fatores: causa × efeito
Alta	2	alto nível de relação entre os fatores: causa × efeito

Quadro Geral – Matriz de Leopold

Os valores médios da matriz de Leopold –Rocha (Quadro 1 dos resultados) são utilizados para determinar a viabilidade do empreendimento (ROCHA, 1997), que neste estudo será aplicado para avaliar a condição ambiental da microbacia como forma de gerenciar os impactos gerados pelas ações antrópicas e planejar medidas mitigatórias e compensatórias. Os valores totais reais foram utilizados na equação de deterioração real para determinar o grau de deterioração real (%).

Cálculo da Reta de Deterioração Real

A deteriorização da microbacia do Córrego do Jabuticabal foi determinada pelo cálculo do modelo matemático de deterioração real. A deterioração foi calculada pelo número de cruzamentos das Ações Propostas com os Fatores Ambientais. A equação geral a usar é a equação da reta:

a b

Onde:

x = valor significativo encontrado.

y = unidade crítica de deterioração real.

Para a sua construção, tem que levar em conta os seguintes aspectos:

s valores de variam de 0 a 100% de deterioração $0 \leq \leq 100$.

A magnitude e a importância variam de 1 a 10, $1 \leq \text{mag/imp} \leq 10$.

$y = ax + b$, onde $y = 0\%$ de deterioração, quando $x = \text{valor mínimo } 9$ (valor mínimo = 1 de cada Ação proposta $x 9 = 9$, o que corresponde a 1 para a magnitude e 1 para a importância do impacto).

$y = ax' + b$, onde $y = 100\%$ de deterioração, quando $x = \text{valor máximo } 90$ (valor máximo = 10 de cada Ação proposta $x 9 = 90$, o que corresponde a 10 para a magnitude e a 10 para a importância do impacto).

Obs: Sabendo-se que 10% é o limite máximo de deterioração até ao qual a natureza consegue refazer-se por si mesma (pressupostos da sinecologia), valores achados acima deste limite é indispensável à ajuda humana na recuperação do meio.

Aplicando a fórmula acima deduzida aos demais cruzamentos, obtém-se um quadro com os resultados finais dos cruzamentos.

Observações importantes:

- a) Levando-se em consideração os cruzamentos entre os Fatores Ambientais com as Ações Propostas consegue-se estabelecer, no modelo matemático anteriormente deduzido, a significância dos impactos negativos.
- b) Uma vez que, foram possíveis cruzamentos com todas as Ações Propostas utilizar-se-á a mesma equação para todos os Fatores Ambientais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Indicadores Ambientais e características morfométricas

Os valores da caracterização morfométrica dos compartimentos hidrológicos (CH) foram agrupados em 4 classes (Tabela 14).

Tabela 14. Classes dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
A (km ²)	33,39 a 53,3	53,31 a 73,2	73,21 a 93,11	93,12 a 113,02
P (km)	36,65 a 50,62	50,63 a 64,59	64,6 a 78,56	78,57 a 92,53
Cr (km)	20,14 a 34,18	34,19 a 48,22	48,23 a 62,26	62,27 a 76,3
Dd (km/km ²)	0,55 a 0,62	0,63 a 0,69	0,7 a 0,76	0,77 a 0,83
Nt (und.)	7 a 16	16 a 24	24 a 33	33 a 41
F (Nt/km ²)	0,19 a 0,25	0,26 a 0,30	0,31 a 0,36	0,37 a 0,41
D (%)	4,52 a 5,28	5,29 a 6,04	6,05 a 6,8	6,81 a 7,56
RN	3,04 a 3,5	3,51 a 3,95	3,96 a 4,41	4,42 a 4,87

A área de estudo apresentou uma extensão de 1.282 km², em 18 compartimentos hidrológicos, que variaram desde 33 km² a 114 km², com comprimento de redes de drenagem na ordem de 20 a 76 km.

O sistema de drenagem dos CH é organizado pelos cursos principais e seus tributários. Nestas regiões, os fluxos de água de drenagem seguem repetidamente o mesmo caminho e formam canais interligados na estabilidade da conformação geomorfológica do terreno.

Os resultados da estatística descritiva básica são apresentados na Tabela 15. O coeficiente de variação - CV dos parâmetros foi de 10,58 a 48,21 %, demonstrando uma similaridade entre os compartimentos hidrológicos, o que indica que a área apresenta processos semelhantes na conformação geomorfológica. Quanto menor for o CV mais homogêneo é o conjunto de dados.

A perímetro e a área apresentaram coeficiente de variação de 39,66 e 26,12% (Tabela 15), respectivamente. Este fato demonstra, segundo Oliveira et al. (2007),

que as bacias hidrográficas apresentaram pouca variação de seus valores máximos e mínimos nas ordens fluviais e compartimentos hidrológicos gerados.

A representatividade do coeficiente de variação entre os parâmetros morfométricos ficou de médio (Dd, D, RN), alto (P, F) e muito alto (A, Cr, Nt), revelando padrões diferenciados, corroborando com trabalhos de Panquestor et al. (2004).

Tabela 15. Estatísticas descritivas básicas dos parâmetros morfométricos.

Parâmetros*	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coeficiente Variação (%)
A	71,23	67,59	28,25	39,66
P	64,59	65,53	16,87	26,12
Cr	46,37	46,20	19,49	42,04
Dd	0,65	0,65	0,07	10,58
Nt	21,33	22,00	10,28	48,21
F	0,29	0,30	0,06	20,29
D	5,81	5,68	0,75	13,00
RN	3,75	3,64	0,58	15,43

*A - área (km²); P - perímetro (km); Cr - comprimento da rede de drenagem (km); Dd - Densidade de drenagem (km/km²); Nt - número de canais (unid.), F - frequência dos rios (canais/km²); D - declividade (%), RN - coeficiente de rugosidade (adm.).

Tabela 16. Matriz de correlação para as oito parâmetros morfométricos.

Parâmetros*	A	P	Cr	Dd	Nt	F	D	RN
A	1,000							
P	0,852	1,000						
Cr	0,979	0,813	1,000					
Dd	0,146	0,006	0,321	1,000				
Nt	0,902	0,727	0,935	0,312	1,000			
F	0,318	0,207	0,417	0,479	0,672	1,000		
D	-0,116	0,085	-0,110	-0,146	0,039	0,357	1,000	
RN	0,034	0,108	0,162	0,583	0,272	0,626	0,714	1,000

*A - área (km²); P - perímetro (km); Cr - comprimento da rede de drenagem (km); Dd - Densidade de drenagem (km/km²); Nt - número de canais (unid.), F - frequência dos rios (canais/km²); D - declividade (%), RN - coeficiente de rugosidade (adm.).

A matriz de correlação (Tabela 16) indica alta correlação direta, acima de 0,9, entre os seguintes pares de variáveis (Cr -A), (Nt - A) e (Nt - Cr), ocorrendo uma dependência entre estas variáveis, causada pelos processos naturais da conformação geomorfológica do terreno. Oliveira et al. (2007) também verificaram uma alta corre-

lação (acima de 0,7) entre si para as ordens fluviais das variáveis morfométricas referentes à amplitude, ao desvio padrão e à declividade média, salientando as características de variação interna da altimetria. Os parâmetros área e perímetro apresentam alta correlação entre si, sendo observado valor de 0,852 km (Tabela 16) enquanto nos trabalhos de Oliveira et al., (2007) os valores ficaram superiores que 0,91. Foi encontrada um crescimento da correlação com o aumento da ordem fluvial. Os parâmetros morfométricos área e perímetro, apresentaram 0,88 para 1ª ordem, 0,92 para 2ª ordem e 0,93 para 3ª ordem, semelhante aos observados por Sodré et al. (2007).

A declividade não apresentou correlação com nenhum outro parâmetro (Tabela 16), pode-se observar que esse atributo não apresenta expressiva variação na área. No estudo de Sodré et al., (2007) foi observada uma correlação da declividade média com a amplitude topográfica para todas as ordens e para altura média para bacias para 2ª e 3ª ordem.

Portanto, as informações derivadas desta análise podem ser utilizadas para as ações de planejamento, servindo como ponto de partida para a definição e elaboração de indicadores ambientais (HENGL, 2007; CAREY et al., 2011).

Com o objetivo de agrupar as áreas fisicamente homogêneas foi conduzido a análise exploratória multivariada, onde foi possível maximizar a homogeneidade dos compartimentos em termos de suas características morfométricas. Considerando as características morfométricas (Figura 4, 5) observa-se a classificação dos valores dos diferentes grupos, cada um dos quais contendo as características semelhantes segundo a função de distância euclidiana.

No dendrograma formado pelas características morfométricas foi possível observar a separação da declividade e da frequência das outras características. O CR (RN) e Dd formam um grupo e P, Nt, Cr e A outro agrupamento. O parâmetro com maior similaridade com o coeficiente de rugosidade é a densidade de drenagem, isso pode ser influenciado pelo tipo de relevo suave da área de estudo (Figura 4).

A análise de cluster hierárquica realizada (método de Ward) permitiu agrupar os compartimentos hidrológicos em duas regiões fisicamente homogêneas, baseadas em seu nível de dissimilaridade quanto aos parâmetros morfométricos, conforme observa-se na Figura 5.

mogênea em si própria, até o nível em que os CH podem ser considerados um único grupo.

Dado o conjunto dos compartimentos, os quais foram medidos pelas características morfométricas, foi obtido o algoritmo que possibilitou a reunião dos compartimentos homogêneos, grupos I e II. O grupo II apresenta compartimentos similares (Figura 5). O emprego de métodos estatísticos multivariados possibilita identificar grupos de bacias com comportamento e dinâmicas evolutivas similares (OLIVEIRA et al., 2007; HOTT; FURTADO; RIBEIRO, 2007).

A identificação de regiões fisicamente homogêneas pode sugerir arranjos entre os compartimentos, podendo identificar de forma mais ágil as regiões hidrologicamente homogêneas, contribuindo para otimização de tempo e recurso necessário para o desenvolvimento de modelos de regionalização hidrológica.

A decomposição da matriz da variância (Tabela 17, Figura 6) indica que, o fator compartilha as variáveis via fatores comuns e às inter-relações existentes entre os dados originais. Este fato resulta numa redução de espaço para as variáveis observadas, traduzidas por fatores comuns.

Tabela 17. Matriz de cargas fatoriais

Parâmetros Morfométricos	Cargas Fatoriais	
	Fator 1	Fator 2
A	-0,935	0,259
P	-0,748	0,145
Cr	-0,975	0,190
Dd	-0,864	0,153
Nt	-0,979	-0,066
F	-0,534	-0,701
D	-0,020	-0,881
RN	-0,882	-0,239
Variação (%)	64,41	18,46

Dois fatores (F1 e F2) são adequados para descrever a comparação dos parâmetros morfométricos. No método de análise de fatores, estes dois fatores associ-

ados explicam 82,87% da variação total de variáveis originais, indicando um bom grau de conservação da informação.

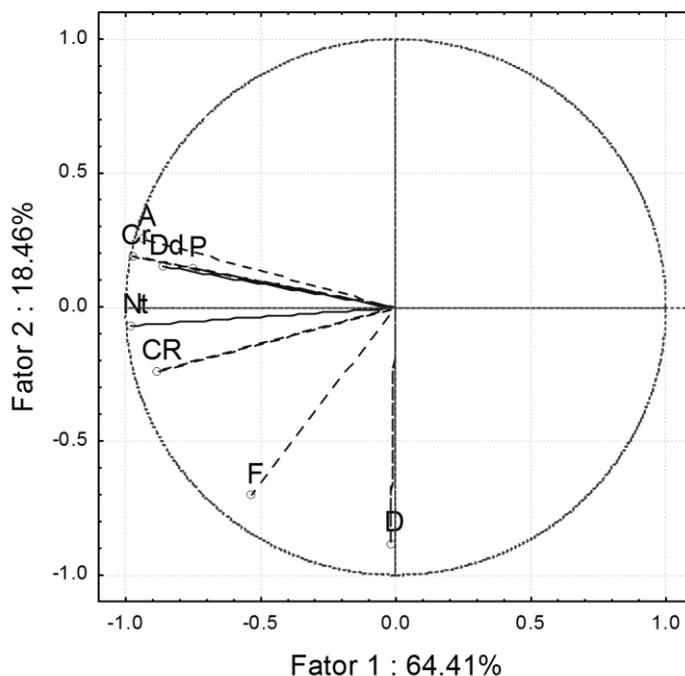


Figura 6. Projeção das variáveis relativa, fator (1 x 2).

O primeiro fator (F1) explica a maior variabilidade de dados 64,41 %, é composto pela A, P, Cr, Dd e Nt e RN. No Fator 2 ficou 18,46 %, com os parâmetros de F e D. O F1 indica dessecação da paisagem mediante o processo erosivo natural e o F2 indica o padrão de drenagem do compartimento. Na análise feita por Oliveira et al. (2007) os parâmetros perímetro, área, índice de circularidade e altura mínima tiveram influência na segunda componente principal, ficando na terceira os parâmetros relativos ao gradiente topográfico (desvio padrão da altimetria, amplitude topográfica e declividade).

A análise de componente principais desenvolvidas por Sodr e et al. (2007) foi aplicada nas diferentes ordens fluviais. Os atributos de altimetria ficaram na primeira, e na segunda, os atributos de amplitude topográfica, declividade média e curvatura e na terceira, somandas as componentes principais atingem praticamente os valores de 90% da variância total.

O Nt destacou-se na análise de fatores com maior carga no Fator 1, alta correlação com A e Cr, indicando morfométricamente áreas com critérios diferenciados de gestão do uso e ocupação do solo, preservação do solo e manutenção de água no sistema.

O Nt também indica a erosão hídrica natural na área, com a mudança climática global, haverá um aumento do fator da força erosiva da precipitação, sendo esperados aumento da taxa de erosão do solo caso não sejam tomadas as medidas de proteção do solo (KUNDZEWICZ et. al., 2007). Desta forma os compartimentos 9, 15 e 17 devem aplicar práticas conservacionistas de proteção do solo com cobertura vegetal.

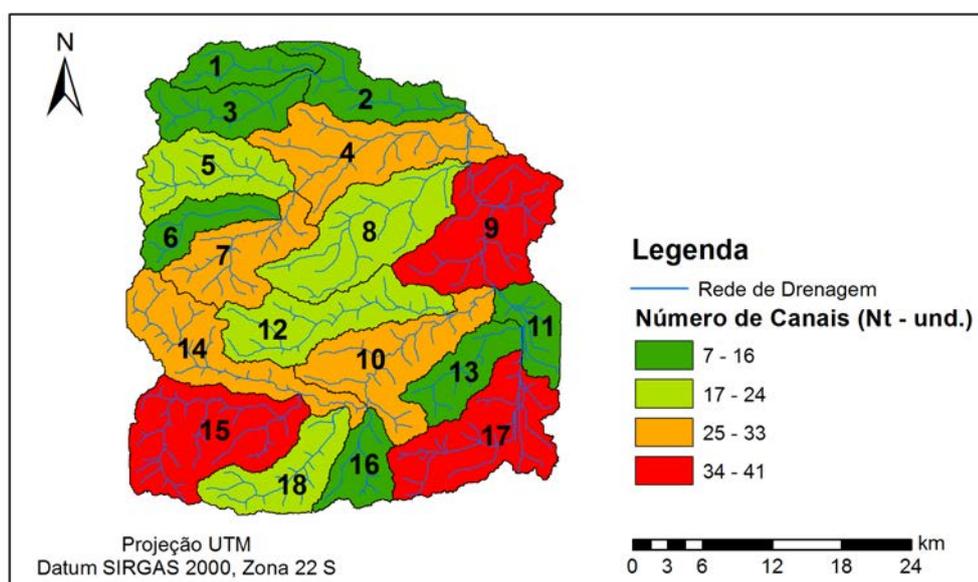


Figura 7. Espacialização dos números de canais (Nt).

A espacialização das classes de número de canais (Nt) no mapa temático (Figura 7) possibilitou a identificação visual das áreas com maior número de canais. Estas áreas devido ao processo de dissecação natural são consideradas geomorfologicamente frágeis devendo ser alvo de políticas públicas de uso do solo. Não é recomendado o uso intensivo agrícola de áreas dependendo do número de canais, pois quando mal manejadas podem gerar impacto ambiental e contribuir na diminuição de água na bacia hidrográfica. Estas áreas podem ser indicadas como áreas

ambientalmente fráguas que necessitam de políticas do uso do solo e gestão ambiental dos recursos hídricos.

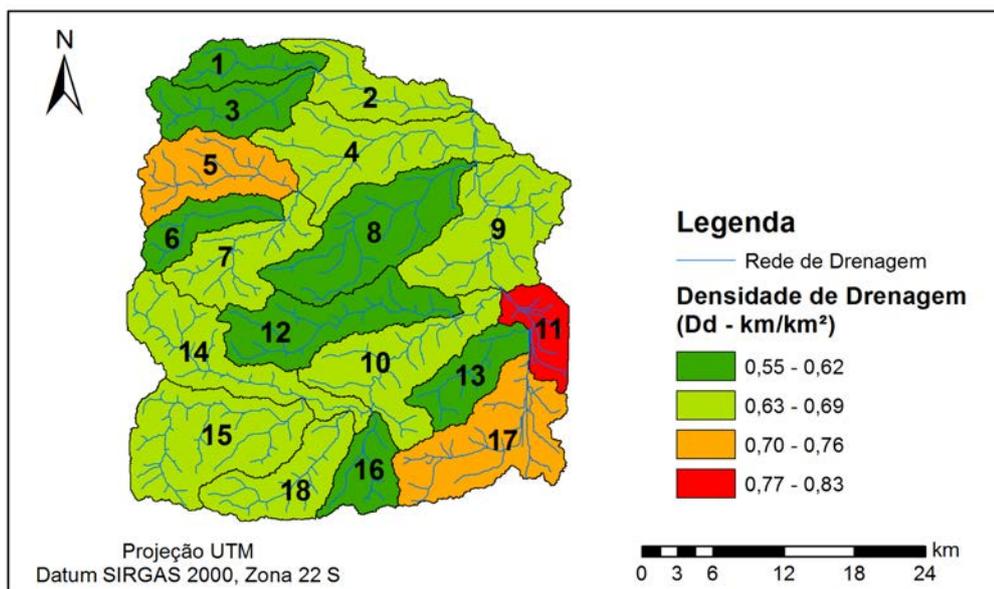


Figura 8. Espacialização Densidade Drenagem (Dd).

A drenagem mais rica se expressa no compartimento 11, sendo a área mais dissecada geomorfologicamente (Figura 8). A área pode ser classificada com densidades de drenagem mediana, classificado entre 0,5 a 2,00 km/km² segundo Beltrame (1994).

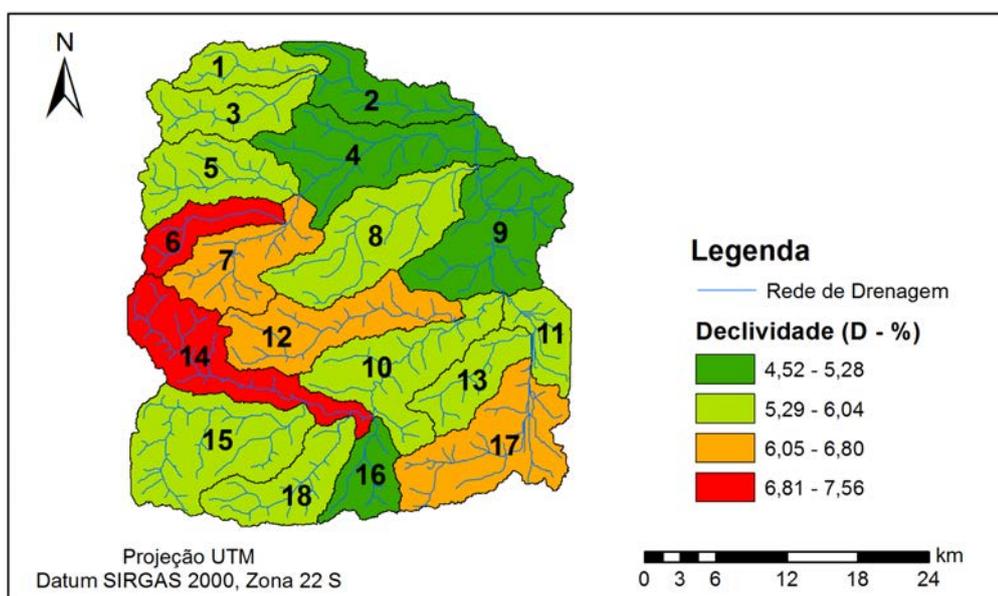


Figura 9. Espacialização da Declividade (D).

A declividade média da área estudada é de 5,8% e varia entre 4,5 a 7, 5% (Figura 9) classificado como relevo suave ondulado a ondulado (EMBRAPA, 1979).

O estudo dos parâmetros morfométricos relacionados com a forma da rede de drenagem apresenta uma relação de causa e efeito na bacia hidrográfica, a causa é a erosão e o efeito é a drenagem, estes parâmetros possibilitam compreender melhor a dinâmica do escoamento das águas superficiais, principal agente erosivo da bacia (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; CHRISTOFOLETTI, 1974).

Como estas características, pode-se avaliar o estado do meio ambiente, para obter a função científica como critério de indicador ambiental. Como função política elas podem indicar prioridades de manejo do solo, permitindo evitar o desperdício de recurso público e como função social ao analisar a espacialização pode-se facilitar a comunicação dos atores sociais envolvidos e incentivar a responsabilidade ambiental da sociedade.

Os indicadores representam uma realidade ambiental complexa da conformação geomorfológica, com capacidade de facilitar a compreensão de fenômenos, eventos e percepções do meio, corroborando com dados da PNIA (2014). Os parâmetros morfométricos estudados devem estar na fase de estudo/construção para compor indicadores da estrutura temática terra e solo, subtema uso da terra, no Painel Nacional de Indicadores Ambientais para gestão política do território brasileiro, conforme PNIA (2014).

A espacialização dos parâmetros morfométricos em quatro classes foi importante para determinar os escores elevados, podendo identificar áreas críticas e sensíveis à erosão do solo. O número de canais (Nt) entre as características morfométricas estudadas foi o que maior representou as zonas ambientalmente fráguas, devido ao processo de erosão natural.

As características morfométricas podem ser definidas como indicadores ambientais e verifica-se que elas se expressam como indicadores de pressão, auxiliando na tomada de decisão sobre as atividades humanas sobre o meio ambiente. O acesso às informações ambientais dos órgãos públicos de forma efetiva e ágil pode ser determinado utilizando o software ArcSWAT e em linguagem de fácil compreensão, para a elaboração dos mapas temáticos.

Essa abordagem analítica é aplicável à estruturação e ao desenvolvimento do processo de diagnóstico que forma um conjunto de indicadores ambientais que fornece uma síntese das condições ambientais, das pressões sobre o meio ambiente e das respostas encontradas para mitigá-las, na aplicação de práticas conservacionistas que minimizem o impacto negativo ao meio. Segundo Carey (2011), o uso de indicadores que refletem a transformação da superfície terrestre identifica às relações entre a forma do terreno e os processos naturais que nele ocorrem.

4.2. Mapas Temáticos, Uso Atual, Uso Potencial e Conflito de Uso

O uso potencial descreve a superfície em classes de aptidão: agricultura, pecuária e floresta. A maior extensão da superfície possui o uso potencial para agricultura 42% distribuídos em 8 compartimentos hidrológicos (Figura 10, Tabela 18).

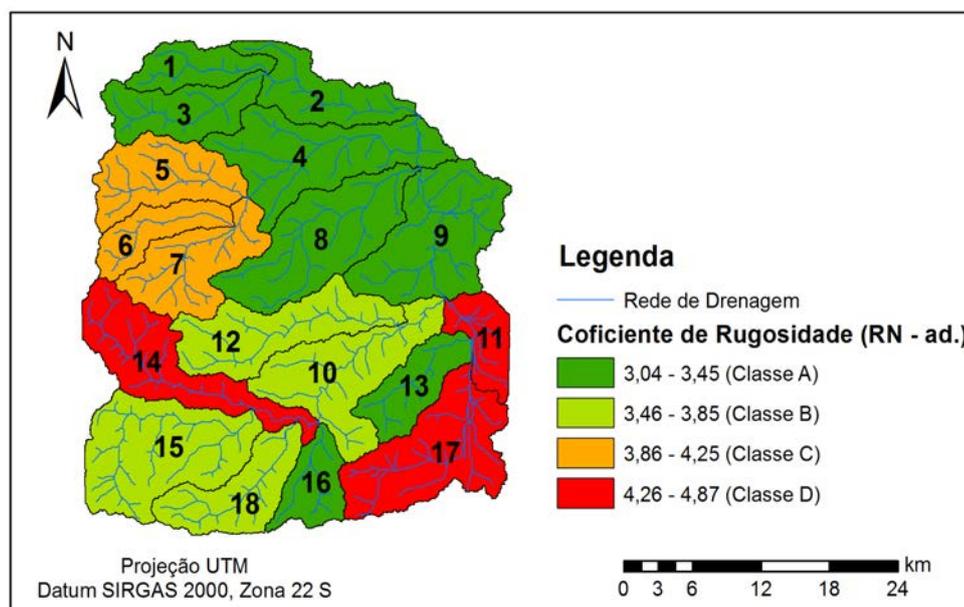


Figura 10. Espacialização do coeficiente de rugosidade (RN) e determinação dos usos potenciais (UP).

Tabela 18. Classes de UP e área dos compartimentos hidrológicos.

Coefficiente de Rugosidade	Classe de UP	Compartimentos	Área (km²)	%
3,04 a 3,45	A - agricultura	1,2,3,4,8,9,13, 16	537,60	42
3,46 a 3,85	B - pecuária	10, 12, 15, 18	350,25	27
3,86 a 4,25	C – pec./florest.	5,6,7	171,99	13
4,26 a 4,87	D - florestamento	11,14, 17	222,34	17

A área de estudo apresenta o maior percentual para com a agricultura 42 %.(537,60 km²) alocadas nos 8 compartimentos. A pecuária/floresta deve ser direcionada prioritariamente para as áreas de classe B, que apresenta 27% (350,25 km²) (Figura 10, Tabela 18).

Os usos potenciais de cada compartimento devem ser implantados considerando as áreas de preservação ao longo das redes de drenagem e nascentes, bem como encostas, respeitando a legislação ambiental brasileira (BRASIL, 2012). Os produtores deverão ter uma nova interpretação do uso das terras e modificar seus interesses e construir uma atividade mais sustentável, considerando a potencialidade de uso durante a implantação de sistemas de produção (VALLE JUNIOR et al., 2008).

Os compartimentos indicados para as políticas de reflorestamento são o 11, 14 e 17 que somados correspondem a 17 % da área. Estas áreas apresentam maior Nt, Cr e Dd. Desta forma, estes compartimentos contribuem para a manutenção de água no sistema da bacia hidrográfica na contribuição de água para o Rio Mogi-Guaçu.

O uso atual do solo indica que 67 % da cobertura é agricultura, 14% para floresta e silvicultura, 20 % para pecuária e 3% para área urbana (Figura 11, Tabela 19).

Tabela 19. Uso atual do Solo.

Usos do Solo	Área (km²)	%
Agricultura	860,003	67
Pecuária	130,097	10
Floresta e Silvicultura	253,24	20
Área Urbana	38,6238	3

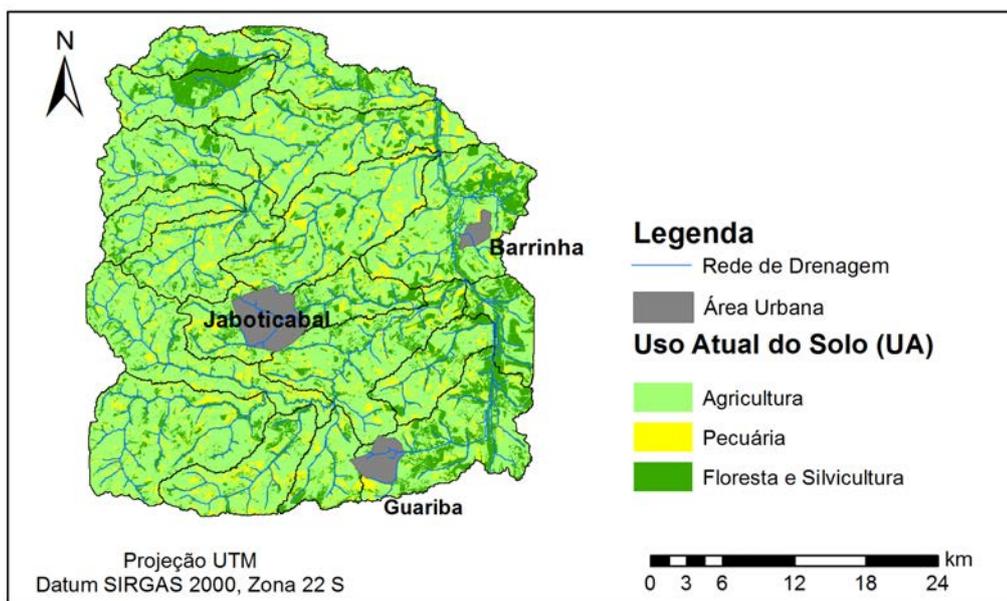


Figura 11. Mapa de Uso Atual do Solo.

O conflito de uso (Figura 12, Tabela 20) foi determinado por pesos dados para o uso potencial e uso atual. Nas classes do potencial de uso da terra subtraídas do uso atual, pode-se atribuir critérios para o ordenamento do território municipal. As classes de conflito indicam o grau de possível risco e limitação de uso para a área de estudo, corroborando com os trabalhos de Valle Junior (2008); Valle Junior et al. (2014a).

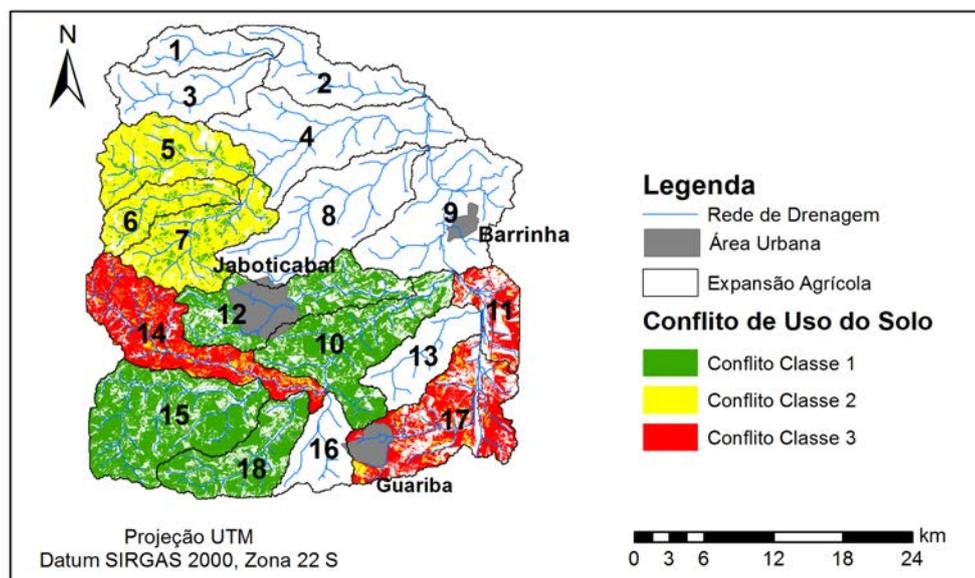


Figura 12. Mapa de Conflito de Uso.

A área possui a maior extensão classificada como expansão agrícola (710,73 km² - 55%) definindo as políticas de manejo no município. Nas áreas de expansão não existe conflito de uso do solo, pois o uso atual é de acordo com a aptidão de uso. Dentro das 3 classes de conflito de uso, o conflito classe 1 ocupa a maior área 20% - 250,32km², já os conflitos classes 2 e 3, ocupam 12 e 10 % sucessivamente (Figura 12).

A classe 1 prevê a implantação de medidas de conservação do solo e a classe 2 indica a ocupação de pastagem nativa e reflorestamentos comerciais (silvicultura e sistemas agroflorestais) ou recomposição da floresta natural.

Tabela 20. Conflito de Uso do Solo

Classe Conflito	Área (km²)	%
Expansão agrícola	710,73	55
Classe 1	250,32	20
Classe 2	149,24	12
Classe 3	133,18	10
Área Urbana	38,62	3
Total	1.629,496	100

As áreas de conflito de classe 3 são consideradas impróprias para cultivos intensivos e pastagem, devendo ser adaptadas para reflorestamento e preservação ambiental. São regiões que podem ser de interesse de políticas de construção de parques e reservas municipais (Figura 12, Tabela 20). Nas áreas com conflito ambiental ocorrem uma redução de reserva de água em até 40% do volume total (VALLE JUNIOR et al., 2014b). Para melhorar a qualidade da água e o volume de água produzido na bacia hidrográficas, seria necessário o retorno progressivo das zonas de conflito em uma situação de equilíbrio, readaptando as áreas-alvo. Aplicar práticas de manejo mais sustentáveis e implantar reflorestamentos nos chamados usos naturais do solo (VALLE JUNIOR et al., 2015).

Sendo assim, os parâmetros morfométricos e o conflito de uso do solo devem subsidiar os processos de formulação, planejamento e tomada de decisão, nas esferas públicas, no âmbito das políticas referentes à dimensão ambiental do desenvolvimento.

4.3. Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica

O mapa MCA é ilustrado na Figura 13. Os resultados analíticos e o processo hierárquico revelam uma prevalência de coeficiente de rugosidade e número de canais com 0,3492 e 0,1707 respectivamente (Tabela 5). O índice consistência (IC) foi de 0,12, ou 12%, o que confirma uma escolha correta para os valores acima e abaixo do diagonal principal da Tabela 5, que descrevem a importância relativa dos fatores para o diagnóstico da vulnerabilidade.

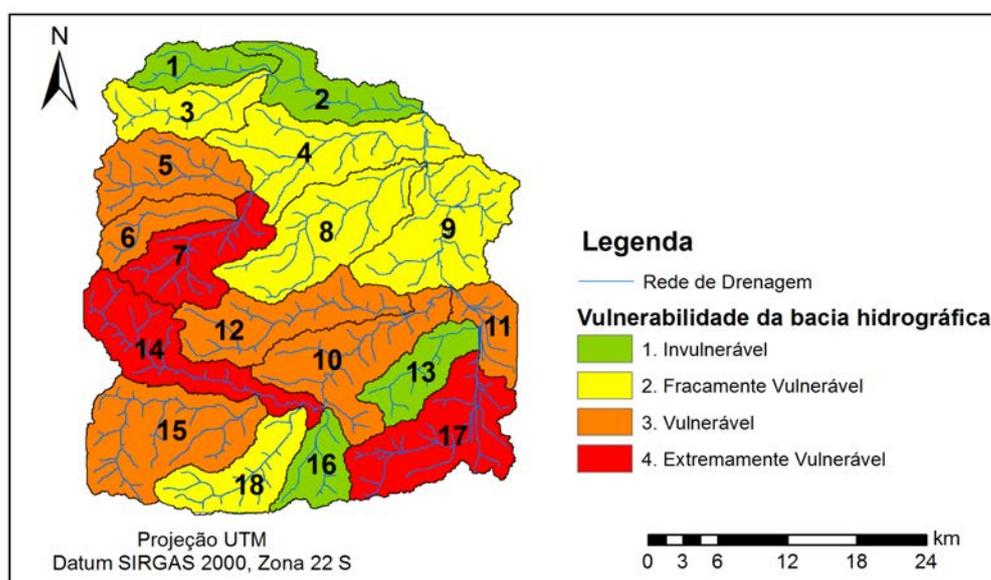


Figura 13. Espacialização da vulnerabilidade da bacia baseado no MCA.

Tabela 21. Classes de Vulnerabilidade MCA da Bacia hidrográfica, associados descrições e intervalos de escore padronizado.

Intervalo de Pontuação	Classes	Compartimentos	Área (km ²)	%
0 a 21	1 - Invulnerável	1, 2, 13, 16	170,22	13
21 a 42	2 -Fracamente Vulnerável	3, 4, 8, 9, 18	427,16	33
42 a 63	3. Vulnerável	5, 6, 10, 11, 12	314,75	25
63 a 84	4. Extremamente Vulnerável	7, 14, 15, 17	370,05	29

De acordo com a Figura 13, Tabela 21, 13% da área de estudo (170,22 km²) é invulnerável, 33% (427,16 km²) é fracamente vulnerável, 25% (314,75 km²) é vulnerável e 29% (370,05) é extremamente vulnerável. O valor mais alto de classificação de vulnerabilidade deve ser considerado em áreas susceptíveis à erosão, devendo ser alvo de intervenções de conservação de solo e água (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014; VALLE JUNIOR et al., 2014a).

Para verificar a correlação entre o conflito de uso (Figura 12) e a vulnerabilidade da bacia hidrográfica (Figura 13), os mapas foram sobrepostos e comparados pixel a pixel pelo software IDRISI. Apesar da ligeira discrepância entre os resultados do MCA e Conflito de Uso, deve-se observar que mais de 4% da bacia está nas classes de conflito de uso e nas classes de alta vulnerabilidade (Tabelas 22).

Tabela 22. Comparação da vulnerabilidade da bacia pelo método MCA com as classes de conflito de uso do solo. A distribuição espacial foi quantificada a partir das figuras 12 e 13.

Classes de Vulnerabilidade	Área Conflito (km ²)			
	Sem Conflito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
1 - Invulnerável	174,579	0,941	0,537	0,641
2 -Fracamente Vulnerável	381,612	42,518	0,117	0,046
3. Vulnerável	128,877	198,248	82,405	15,826
4. Extremamente Vulnerável	64,374	8,319	66,049	116,606
Total	749,441	250,026	149,109	133,119

Na área de estudo, a combinação de uma análise multicritério de vulnerabilidade da bacia com a avaliação dos conflitos de uso da terra ambiental demonstra que os solos estão 58% (749,441km²) da área sem conflito e sem vulnerabilidade. Cerca de 41,53% (532,254 km²) da área está sobre áreas de alta vulnerabilidade e conflito de uso. Na bacia do rio Sordo, a combinação de uma análise multicritério de vulnerabilidade do solo constatou que 10,4% da área de conflitos de uso da terra indica um potencial risco de degradação (VALLE JUNIOR et al., 2015).

A baixa vulnerabilidade e conflito de uso na maior área da bacia é consequência da baixa pressão de uso da terra ou conflitos estudados (VALLE JUNIOR et al., 2014a).

Com a análise multicritério dos parâmetros morfométricos foi possível elaborar a vulnerabilidade da bacia que consistiu para classe 1 em 96,30% da área total (250,026 km²), com predomínio em zonas fracamente vulnerável e vulnerável. Na classe de conflito 2 estão distribuídos 99,56% entre as zonas vulnerável e extremamente vulnerável, e o conflito de classe 3 está distribuído em 99,48% nas classes de vulnerabilidade vulnerável e extremamente vulnerável.

Quanto maior a classe de conflito, maior é a vulnerabilidade da bacia hidrográfica. Este é o forte indício de que a vulnerabilidade e o conflito ambiental são modelos comparáveis, ou em outras palavras, que o modelo de vulnerabilidade do solo pode ser classificado como análogo do modelo de conflito de uso.

O aumento do conflito de uso do solo, aumenta o risco de erosão (VALLE JUNIOR et al., 2013), desta forma as características morfométricas utilizadas para análise da vulnerabilidade da bacia hidrográfica identificou áreas mais sensíveis aos processos erosivos naturais, validando a tendência de que a análise morfométrica é um indicador para identificar áreas com erosão e são coincidentes com a metodologia do conflito de uso apresentada em Valle Junior et al. (2013, 2014).

Na comparação do mapa de vulnerabilidade com o mapa de conflito de uso do solo foi encontrado uma alta correlação. Desta forma as duas metodologias podem ser utilizadas para classificação de zonas para gestão de uso do solo sobre condições hidrogeomorfológicas fráguas. De acordo com a Lei nº 12.651 a reserva legal deve buscar os seguintes critérios de estudo, o plano da bacia hidrográfica as áreas de maior fragilidade ambiental (BRASIL, 2012). O mapa de vulnerabilidade da bacia hidrográfica pode ser utilizado nos estudos dentro das bacias para determinar o alocamento das reservas legais visando à proteção do solo e da água.

O aumento do conflito de uso também pode estar correlacionado com a diminuição da qualidade de águas subterrâneas (VALLE JUNIOR et al., 2014), sendo assim possivelmente as bacias com maior índice de vulnerabilidade podem diagnosticar áreas com menor qualidade da água. Nas áreas com maior conflito e consequentemente com maior vulnerabilidade, as mudanças do padrão do uso da terra podem causar impactos sobre a qualidade dos ecossistemas aquáticos (biológico, físico-químicas e hidromorfológicas) e contribuir para a diminuição da sustentabilidade das microbacias. (VALLE JUNIOR et al., 2015).

A caracterização morfométrica pode ser considerada um artifício para priorização de unidades hidrológicas (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014) o que indica potenciais áreas consideradas de prestação preferencial de conservação do solo e da água para o trabalho de planejamento eficiente gestão de bacias hidrográficas.

De acordo com Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014), a priorização de sub-bacias hidrográficas auxilia no planejamento e gestão de medidas de conservação no micronível, objetivando conservar os recursos naturais, além de ser útil para gestores de recursos hídricos, planejadores e formuladores de políticas de decisão, visando a tomada de decisão mais criteriosa de áreas com menor número de dados.

4.4. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

Para a avaliação do impacto ambiental foi selecionada a microbacia hidrográfica do Córrego do Jaboticabal, que é o compartimento hidrológico número 12 da área de estudo, tendo em vista que contém a área urbana do município de Jaboticabal.

De acordo as seções acima, esta bacia é naturalmente considerada com uso potencial para pecuária, o que conferiu um conflito de classe 1 (Figura 12). Entretanto, nesta área predomina o uso agricultura (Figura 14).

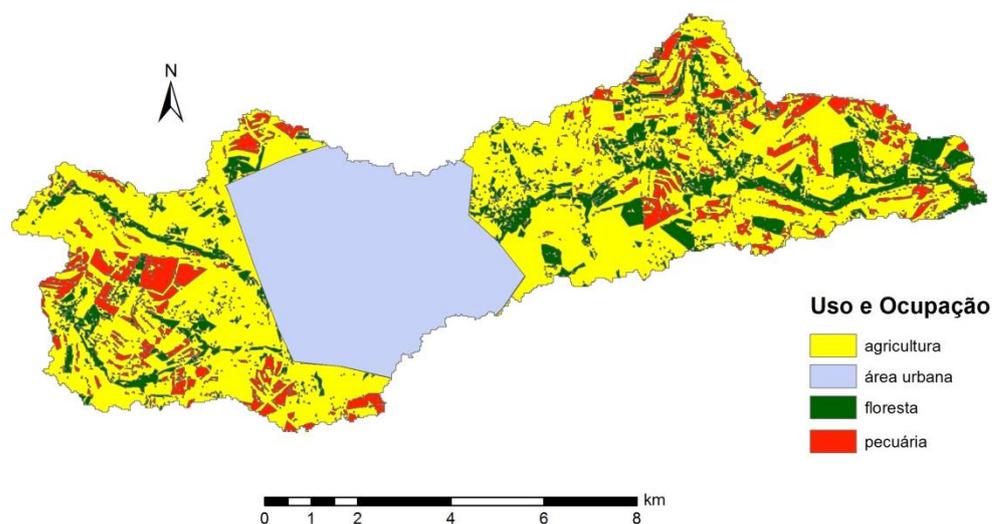


Figura 14. Mapa Temático de Uso e Ocupação da Microbacia do Córrego do Jaboticabal (Compartimento hidrológico 12).

De acordo com o mapa de vulnerabilidade (Figura 13), esta região se encontra na classe 3, sendo considerada vulnerável mediante as características morfométricas do padrão de drenagem e relevo.

Para compreender melhor o impacto ambiental desta bacia hidrográfica, foi utilizada a metodologia (ROCHA, 1997), que utiliza a matriz de interações de Leopold- Rocha para a avaliação do impacto ambiental.

Os impactos cumulativos das ações antrópicas foram determinados sobre cada uso e ocupação do solo (agricultura, área urbana, floresta e pecuária). Na Tabela 23, pode-se observar que a agricultura ocorre em 54% da área, e a cultura predominante é a cana de açúcar. A área urbana da cidade de Jaboticabal concentra a maior diversidade de ações antrópicas (Anexo A).

Tabela 23. Uso e Ocupação do Solo da Microbacia do Córrego Jaboticabal.

Uso e Ocupação	Área (km²)	%
Agricultura	45,2	54
Área urbana	20,8	25
Floresta	10,1	12
Pecuária	8,0	10

Os cruzamentos das ações antrópicas com os fatores ambientais foram determinados a partir da sua representatividade dentro de cada uso e ocupação (agricultura, área urbana, floresta, pastagem), conforme podemos observar no ANEXO B. Dos 117 cruzamentos possíveis, a área de estudo apresentou 108 cruzamentos. A matriz de interações apresenta dois atributos principais: a magnitude e a importância do impacto ambiental (Figura 3).

Cruzando-se as Ações Antrópicas: modificação do regime, transformação do território e construções, extração de recursos, processos, alteração do terreno, recursos naturais, trêfegos variáveis, situação e tratamento de resíduos e outros, com os Fatores Ambientais: características físicas e químicas da terra, da água, da atmosfera e dos processos, condições biológicas da flora e da fauna, fatores culturais usos do território, serviços e infraestrutura, relações ecológicas e outros, com relação aos valores pesquisados, o impacto da microbacia está conforme os dados do Quadro 1.

Quadro 1. Matriz Leopold adaptada por Rocha – Ações Antrópicas X Fatores Ambientais

AT I Z D L L D LAB ADA 1971 AA " IT D STAT S G L G I A L S V Y "																								
ADAPTADA POR ROCHA		AÇÕES ANTRÓPICAS																						
		Modifica- ção do Re- gime		Transfor- mação do Território e Construções		Extração de Recursos		Processos		Alteração do Terreno		Recursos Renováveis		Tráfegos Variáveis		Situação e Tratamento de Resíduos		Outros		Médias		Totais Reais		
		1 a 13	1 a 19	1 a 7	1 a 15	1 a 6	1 a 5	1 a 11	1 a 14	1 a 7														
FATORES AMBIENTAIS	Características Físicas e Químicas	Terra 1 a 6	2,64	5,63	2,02	4,48	0,08	0,17	0,99	6,32	1,4	5,1	2,72	6,4	2,4	5,73	0,21	0,21	3,35	7,62	1,76	4,63	15,81	41,66
	Características Físicas e Químicas	Água 1 a 7	3,91	7,8	1,44	3,88	0,25	0,5	0,99	6,32	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,6	0,6	3,35	7,62	1,86	4,83	16,73	43,45
	Características Físicas e Químicas	Atmosfera 1 a 3	4,16	7,69	0,83	2,19	0,25	0,5	0,99	6,32	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,63	1,83	3,35	7,62	1,82	4,76	16,40	42,88
	Características Físicas e Químicas	Processos 1 a 9	3,97	7,68	2,05	4,99	0,25	0,5	0,64	3,92	1,32	4,98	2,72	6,4	2,4	5,73	0	0	3,35	7,62	1,86	4,65	16,70	41,82
	Condições Biológicas	Flora 1 a 9	3,99	8,04	1,4	3,22	0,25	0,5	0,36	2,58	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0	0	2,85	6,42	1,67	4,17	15,03	37,50
	Condições Biológicas	Fauna 1 a 9	4,25	8,54	1,12	2,74	0,25	0,5	0,4	3,76	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,24	0,84	2,85	6,42	1,7	4,39	15,30	39,53
	Fatores Culturais	Usos do Território 1 a 9	3,69	7,68	2,11	4,64	0,09	0,19	0,43	2,92	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,16	0,61	3,35	7,62	1,78	4,49	16,02	40,39
	Fatores Culturais	Recreativos 1 a 7	2,83	5,52	0,26	0,75	0,08	0,17	0,71	3,66	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0	0	3,35	7,62	1,49	3,83	13,42	34,46
	Fatores Culturais	Estéticos e de Interesse Humano 1 a 10	2,13	4,21	0,5	1,19	0,25	0,5	0,81	4,12	1,07	4,6	2,72	6,4	2,07	5,4	0	0	2,85	6,42	1,38	3,65	12,40	32,83
	Fatores Culturais	Nível Cultural 1 a 4	1,44	2,82	1,39	3,31	0	0	0,81	4,12	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,11	0,11	3,35	7,62	1,48	3,86	13,29	34,72
	Fatores Culturais	Serviços e Infra-estrutura 1 a 6	2,4	4,55	2,39	5,5	0	0	0,81	4,12	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,21	0,21	3,35	7,22	1,71	4,26	15,35	38,33
	Relações Ecológicas 1 a 7		3,28	6,03	0,93	2,02	0,19	0,38	0,89	4,7	1,07	4,6	2,72	6,4	2,4	5,73	0,49	0,49	3,35	7,22	1,7	4,17	15,31	37,56
Outros 1 a 2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAIS MÉDIOS DE TODA A MICROBACIA HIDROGRÁFICA ⇒																				1,68	4,31	15,15	38,76	

Os valores totais médios da microbacia hidrográfica estão abaixo de 5, magnitude 1,68 e importância 4,31, indicando que a microbacia se encontra com baixo impacto ambiental, não necessitando de medidas urgentes de mitigação e compensação (Quadro 1). Os maiores valores médios de magnitude e importância são encontrados sobre as características físicas e químicas da água, com magnitude de 1,86 e importância de 4,83, o que pode indicar que esse recurso ambiental está sofrendo maior impacto cumulativo dentro da microbacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica apresentou o valor médio de magnitude e importância de 3 (média ≤ 5), que indica que o impacto foi pequeno e de pouca significância, corroborado com trabalhos de Rocha (1997). No estudo de Gracioli e Rocha (2008), o valor médio de 3,5 possibilita a construção em área urbana.

Os resultados finais dos cruzamentos da Matriz de Leopold, tendo com base os valores encontrados nas médias dos 108 cruzamentos permitem a determinação de variáveis que formam a equação da reta de deterioração real.

De acordo com a metodologia de Rocha (1997), do resultado dos cruzamentos das Ações Antrópicas com os Fatores Ambientais tem-se 9 ações antrópicas no presente estudo. A equação geral do Grau de Deterioração foi determinada pela equação da reta (regressão simples), descrita na Tabela 24.

Tabela 24. Equação do Grau de Deterioração da Microbacia do Jaboticabal.

Fatores Ambientais	Equação
Todos (que cruzarem)	$y = 1,1234568 - 11,11111$

Onde:

x é o valor significativo encontrado;

y é a unidade crítica de deterioração real.

Aplicando a fórmula acima deduzida aos demais cruzamentos, obteve-se a Tabela de Resultados finais dos cruzamentos. (Tabela 25). Os totais reais da matriz de Leopold Rocha foram transportados do Quadro 1 (ultima coluna) para a coluna 2 e 3 Tabela 25.

Os resultados percentuais do grau de deterioração real (y) do local de estudo são obtidos depois de aplicado os totais reais (x) de magnitude e importância na Equação de Deterioração Real (Tabela 24), em relação ao percentual dos totais virtuais máximos, os quais, neste estudo, atingiram a marca de 90%.

O grau de deterioração causado pelas ações antrópicas sobre o Fator Ambiental das características físicas e químicas da terra teve sua magnitude local e regional avaliada em 6,66 %, com uma magnitude ambiental de 35,69 % (Tabela 25). As médias foram, respectivamente, 1,76 e 4,63 (Quadro 1).

Tabela 25. Resultados finais dos cruzamentos com respectivos totais virtuais e grau de deterioração

Fator Ambiental	Totais reais (x)		Totais virtuais máximas		Grau de deterioração real (%) (y)	
	Mag-nitude	Impor-tância	Mag-nitude	Impor-tância	Magni-tude	Importân-cia
Características físicas químicas da Terra	15,81	41,66	90	90	6,66	35,69
Características físicas químicas da Água	16,73	43,45	90	90	7,68	37,70
Características físicas químicas da Atmosfera	16,40	42,88	90	90	7,31	37,06
Características físicas químicas dos Processos	16,70	41,82	90	90	7,65	35,87
Condições biológicas: Flora	15,03	37,50	90	90	5,77	31,02
Condições biológicas: Fauna	15,30	39,53	90	90	6,07	33,30
Fatores culturais: Usos do território	16,02	40,39	90	90	6,89	34,26
Fatores culturais: Recreativos	13,42	34,46	90	90	3,97	27,60
Fatores culturais: Estéticos e de Interesse Humano	12,40	32,83	90	90	2,82	25,77
Fatores culturais: Nível cultural	13,29	34,72	90	90	3,82	27,89
Fatores culturais: Serviços e infra-estrutura	15,35	38,33	90	90	6,13	31,96
Relações ecológicas	15,31	37,56	90	90	6,09	31,09
Médias Totais	15,15	38,76	90	90	5,90	32,43

A magnitude das ações antrópicas sobre as características físicas e químicas da água foi de 7,68 %, enquanto a importância foi de 37,7 %. As médias para magnitude e importância foram, respectivamente 1,86 e 4,83.

Com relação às características físicas e químicas da atmosfera, que causam a deterioração de magnitude de 7,31 % e importância de 37,06 %, as médias para magnitude e importância foram, respectivamente 1,82 e 4,76.

As ações antrópicas sobre as características físicas e químicas dos processos causaram deterioração de magnitude 7,65 % e importância de 35,87 %. As médias para magnitude e importância foram, respectivamente 1,86 e 4,65.

Nas condições biológicas – na flora a magnitude foi de 5,77 %, com valor médio 1,67, e a importância foi de 31,02 %, com valor médio 4,17, enquanto que na fauna, a magnitude foi de 6,07 %, tendo também como valor médio 1,7 e a importância foi de 33,3 %, com 4,39 de valor médio.

Os fatores culturais de usos do território causaram deterioração de 6,89 % para magnitude e 34,26 % para importância tendo como valores médios, 1,78 e 4,49.

As ações antrópicas sobre os fatores culturais: recreativos causaram deterioração de 3,97 % para magnitude e 27,6 % para importância, tendo como valores médios, 1,49 e 3,83, respectivamente para magnitude e para importância.

Já os fatores estéticos e de interesse humano registraram uma magnitude de 2,82 % e uma importância de 25,77 %. Quanto aos valores médios, 1,38 para magnitude e 3,65 para importância.

O fatores culturais de serviços e infra-estrutura obtiveram 6,13 % e 31,96 % de grau de deterioração para magnitude e importância, sendo os valores médios de 1,7 e 4,17.

A deterioração das ações antrópicas sobre as relações ecológicas, para a magnitude foi de 6,09 %, enquanto que a importância foi de 31,09 %. As médias para magnitude e importância, respectivamente 1,7 e 4,17. Com relação aos fatores ambientais: outros, as ações propostas não causaram deterioração.

O comportamento do gráfico da equação de deterioração real (Tabela 24) está evidenciado na Figura 14 mostra o compartimento analítico do estudo dos impac-

tos negativos, o grau de deterioração médio da bacia de estudo e o limite máximo de deterioração real da bacia.

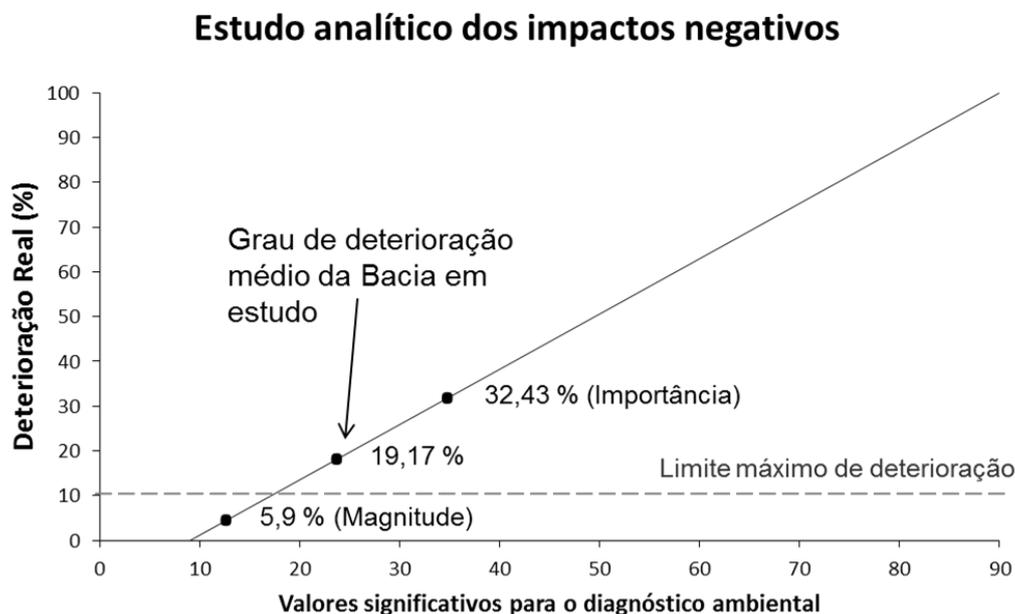


Figura 14. Comportamento gráfico da equação do grau de deterioração real. (caso em estudo)

O grau de deterioração médio da microbacia considerando os cruzamentos das ações antrópicas com os fatores ambientais foi, respectivamente, 5,9 % e 37,43 % para magnitude e para a importância dos impactos. O grau de deterioração médio total da bacia ficou em 19,17% (Figura 14). O ambiente encontra-se deteriorado na ambiência de 9,17%, considerado acima do limite mínimo tolerável de 10% pelas organizações ambientais. Valores estes que permitem a auto-recuperação, conforme preceituado pela Sinecologia (ROCHA, 2001). Nestes casos, devem ser realizadas medidas mitigatórias e compensatórias, para recuperar os recursos naturais na microbacia hidrográfica, de acordo com as exigências ambientais. (GRACIOLI; ROCHA, 2008).

De forma conjunta, as características morfométricas podem ser utilizadas por meio do coeficiente de rugosidade e uso potencial.

Como indicadores de resposta, as características morfométricas podem auxiliar nas ações de planejamento de políticas públicas para resolver problemas ambi-

entais, tendo como exemplo o financiamento destinado à implantação de práticas conservacionistas do solo, conforme o estado de erosão natural da área.

Enquanto os parâmetros morfométricos são compreendidos por pesquisadores, o conflito de uso pode ser um conceito mais familiar para os não especialistas. Assim, apresentando os mapas de conflito de uso, expresso em graus de vulnerabilidade do solo, para as partes interessadas e tomadores de decisão, as medidas mitigadoras e novos projetos podem ser desenvolvidos.

O acoplamento de ferramentas geoespaciais com a análise multicritério resultou em uma técnica viável e significativa para a análise da vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica. A técnica pode ser utilizada como ferramenta para tomada de decisão e priorização de áreas para estabelecimento de medidas de conservação do solo e da água.

A aplicação da morfometria resultou em um conjunto de dados consistentes que permitiram avaliar o comportamento hidrogeomorfológico da micro bacia para fins de planejamento ambiental.

A associação das propriedades morfométricas com a dinâmica de uso da terra permitiu a identificação dos principais vetores que atuam na transformação das paisagens local, indicando a deterioração da ambiência da micro bacia hidrográfica.

5. CONCLUSÃO

As características morfométricas formam um conjunto de indicadores ambientais para áreas frágeis.

A característica - número de canais é a que melhor demonstra as zonas ambientalmente fráguas.

Os elevados graus do número de canais, comprimento da rede de drenagem, área e coeficiente de rugosidade indicam áreas prioritárias de manejo conservacionista.

A espacialização das classes dos parâmetros morfométricos indica áreas fisicamente homogêneas.

As bases metodológicas realizadas para a determinação dos mapas de uso atual; uso potencial; conflito de uso e vulnerabilidade, resultaram em uma técnica viável e significativa para análise ambiental de uma bacia hidrográfica.

A associação das propriedades morfométricas com a dinâmica de uso da terra permite a identificação dos principais vetores que atuam na transformação das paisagens local, indicando a deterioração da ambiência da microbacia hidrográfica.

A vulnerabilidade foi eficaz para diagnosticar as áreas de conflito ambiental.

O impacto na microbacia do córrego do Jabuticabal é pequeno e de pouca significância, porém o grau de deterioração médio total ultrapassa o limiar de recuperação natural preconizado pelas organizações ambientais, exigindo assim medidas mitigatórias e compensatórias de visem a recuperação dos recursos naturais.

6. REFERÊNCIAS

AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850-860, 2014.

ARRAES, C. L.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M., ZANATA, M.; CAMPOS, S. Morfometria dos compartimentos hidrológicos do município de Jaboticabal, SP. **Revista UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 9, n. 1, 2010.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. Da UFSC. 1994.

BEZERRA, I. S.; SILVA, T. C. Análise de riscos à perda de solo para diferentes cenários de uso e ocupação na bacia hidrográfica do rio Abiaí-Papocas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p.195-204, 2014.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 maio 2012.

BRASIL, Lei nº 9.433, de 8 Janeiro 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 set. 1981.

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. Análise multicriterial aplicado na definição de áreas prioritárias ao uso agrícola da terra da bacia do Rio Capivara, Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 66, 2015.

CAPORUSSO, N. B.; ROLIM, G. de S. Reference evapotranspiration models using different time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.37, n. 1, p. 1-9, 2015.

CAREY, R. O.; MIGLIACCIO, K. W.; LI, Y.; SCHAFFER, B.; KIKER, G. A.; BROWN, M. T. Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 5, p. 1093-1104, 2011.

CASTRO, L. I. S.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C. R.; KAISER, M. Sistema de Informações geográficas na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu. v. 19, n. 4, p. 655-674, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974, p. 149.

COLLIN, M. L.; MELLOUL, A. J. Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development. **Journal Cleaner Production**, v. 11, n. 7, p. 727–736, 2003.

CRUZ, L.S.B. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - MG**. 2003. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Selva Manual**. Worcester: Clark University, Clark Labs, 2012. 354 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil em Relevô**: Imagem SRTM, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. 1 fotografia aérea. Escala 1 : 250.000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio Janeiro. **Súmula...Rio Janeiro**, 1979, 83 p, (EMBRAPA – SNLCS, Micelânea, 1).

FERREIRA, P. J. G.; BEZERRA, I. S. Bacia hidrográfica do riacho Engenho Velho: morfometria, uso potencial da terra e conflito do uso da terra. **Revista Ambiental**, Paraíba, v.1, n. 1, p. 59-70, 2015.

FIGUEIREDO, M. A. G. D. O uso de indicadores ambientais no acompanhamento nos sistemas de gerenciamento ambiental. **Produção**, Belo Horizonte, v. 6, p. 33-34, 1996.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; FREITAS ROSA, M.; ARAGÃO, F. A. S. de, VIEIRA, V. D. P. P. B.; MOTA, F. S. B. Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations – Part 2: methodological approach for performing vulnerability analysis of watersheds. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 14, p. 1376-1385, 2010.

GRACIOLI, C. R.; ROCHA, J. S. M. Impactos ambientais na microbacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim em Santa Maria, RS. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 2. p. 251-263. 2008.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v.56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HOTT, M. C.; FURTADO, A. L. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; ARRUDA, A. D. J. S. de Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas. Sao Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial- INPE, 2007 p. 3381-3388.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Cartas topográficas. 1971. Escala: 1: 50.000, equidistância vertical entre curvas de nível de 20 m.

IPCC. **Climate Change and Water**. In: BATES, B. C., KUNDZEWICZ, Z. W.; WU AND, S. PALUTIKOF, J.P. (Eds). Climate Change and Water Geneva: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. 2008. 210 p.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUE, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 277-290, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.786>>.

KUNDZEWICZ, Z.; MATA, L.; DOLL, P.; KABAT, P.; JIMÉNEZ, B.; MILLER, K.; OKI, T.; SEN, Z.; SHIKLOMANOV, I. Fresh water resources and theirs management. In: PARRY, M., CANZIANI, O., PALUTIKOF, J., VAN DER LINDEN, P., HANSON, C. (Eds.), **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, p. 173-210.

LANDSAT TM 8. Imagem Satélite. Sioux Falls: USGS Earth Resources Observation and Science, 2014. Disponível em:< <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. S.; HANSHAW, B. BALSLEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. **Geological Survey**, Washington, 13p, 1971. (circular 645).

LISETSKII, F.; STOLBA, V. F.; MARININA, O. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea. **Geoderma**, v. 239, p. 304-316, 2015.

LU, Z.; ZOU, S.; XIAO, H.; ZHENG, C.; YIN, Z.; WANG, W. Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 79-82, p. 76-85, 2015.

MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. D. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15. 2011. Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011, p.144.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1999, p. 392.

MANCINELLI, R.; DI FELICE, V.; RADICETTI, E.; CAMPIGLIA, E. Impact of land ownership and altitude on biodiversity evaluated by indicators at the landscape level in Central Italy. **Land Use Policy**, v. 45, p. 43-51, 2015.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.

MARTINS, F. B.; ROCHA, J. S. M.; ROBAINA, A. D.; KURTZ, S. M. J. M.; KURTZ, F. C.; GARCIA, S. M.; SANTOS, A. H. J. M.; DILL, P. R.; NOAL, T. N. Zoneamento ambiental da subbacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS)(estudo de caso). **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 315-322, 2005.

MELTON, M. A. **An analysis of the relations among climate, surface properties and geomorphology**. New York: Columbia University, Department of Geology. Technical Report no. 11. 1957. 69 p.

MERTEN, G.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Emater, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

NASCIMENTO, P. S.; GARCIA, G. J. Compartimentação fisiográfica para análise ambiental do potencial erosivo a partir das propriedades da rede de drenagem, **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 231-241. 2005.

NURDIANA, A.; RISDIYANTO, I. Indicator determination of forest and land fires vulnerability using Landsat-5 TM data (case study: Jambi Province). **Procedia Environmental Sciences**, n. 24, p.141-151. 2015.

OLIVEIRA, F. C.; MOURA, H. J. T. de. Uso das Metodologias de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. **Pretexto**, Belo Horizonte, v. 10, n. 4, p. 79-98, 2009.

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, 2007.

PACHECO, F. A. L.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. S.; JUNIOR VALLE, R. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of the Total Environment**, v. 485, p. 110-120, 2014.

PANQUESTOR, E. K.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E.; PANQUESTOR, E. Aplicação de indicadores quantitativos na definição de unidades de paisagem e uso da terra na bacia do rio Corrente–BA. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2. Indaiatuba, SP. **Anais...** Indaiatuba, SP, 2004. v. 2, p. 1-16.

PAROISSIEN, J. B.; DARBOUX, F.; COUTURIER, A.; DEVILLERS, B., MOUILLOT, F.; RACLOT, D.; LE BISSONNAIS, Y. A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). **Journal of environmental management**, v. 150, p. 57-68, 2015.

PETRINI, M. A.; ARRAES, C. L.; ROCHA, J. V. Utilização de classificadores automáticos no mapeamento temático de uso da terra, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15. 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011, p. 0459.

PISSARRA, T. C. T. **Análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e Fotografias aéreas verticais.** 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T. **Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1º ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem.** 1998. 124p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 669-676, 2010.

PNIA. **Painel Nacional de Indicadores Ambientais:** referencial teórico, composição e síntese dos indicadores da versão-piloto. Brasília: Ministério Do Meio Ambiente. Secretaria Executiva – SECEX, Departamento de Gestão Estratégica – DGE, 2014, p. 96.

PORTO, M. F.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

QUEIROZ, P. H.; SILVA, J. M. O.; SALES, M. C. L. Indicadores Morfométricos Como Subsídio ao Planejamento Ambiental em um Setor do Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pacoti-CE. **Revista Equador**, Teresinha, v. 3, n. 1, p. 3-24, 2014.

ROBINSON, L. W., ERICKSEN, P. J., CHESTERMAN, S., WORDEN, J. S. What resilience and vulnerability can tell us. **Agricultural Systems**, v. 135, p. 133-140, 2015.

ROCHA, J. S. M. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas.** 2. ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, UFSM-RS, 1991. 181p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de avaliações de impactos ambientais.** In: ROCHA, J. S. M., CARPES, C. M. (rev. e ampl.) **Manual de avaliações de impactos ambientais** 2. ed. - Santa Maria: Ed. da UFSM, 2008. 268 p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. In: ROCHA, J. S. M, KURTZ, S. M. J. M. (Org.) **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas** 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 2001. 302 p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. 423p.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. USA: Mc Graw-Hill, 1980. 287p.

SAMPAIO, M. V.; SANTOS, M. S.; SALBEGO, A. G.; ROCHA, J. S. M.; SAMPAIO, F. M. A. S.; MENDES, A. V.; BARROS, H. M. M. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, RS. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.4, n. 2, p.25-28, 2010.

SANTOS, R. F. Indicadores ambientais e planejamento. In: _____ (Ed.) **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina do texto, 2004. p. 57-70.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems & slopes in Badlands at Perth Anboy, New Jersey. **Bulletin of Geolofical Society of America**, v. 67, p. 597 – 646, 1956.

SICCO SMIT, G. SLAR for forest type-classification in a semi-deciduous tropical region. **ITC Journal**, n. 3, p. 385- 401, 1978.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal Science**, New Haven, v. 248, p. 655-68, 1950.

SODRÉ, R. V. R.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MACHADO, W. P., OLIVEIRA, S. N. de, GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; SOUZA MARTINS, É. Classificação de Bacias de Drenagem do Alto Jequitai (Minas Gerais) a partir a análise de principais componentes e análise de grupos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2007.

STRAHLER, A, N, Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v, 63, n, 9, p, 923-938, 1952,

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions - American Geophysical Union**, New Haven, v. 38, p. 913 - 920, 1957.

TAGLIARINI, F. S. N.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S. Geoprocessamento de variáveis morfométricas para caracterização da microbacia córrego do petiço. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, 2014.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TORO, J.; REQUENA, I.; DUARTE, O.; ZAMORANO, M. A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 43, p. 9 - 20, 2013.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G.; PACHECO, F. A.; PEREIRA, V. R.; SANTOS, C. F.; CORTES, R. M.; FERNANDES, L. F. S. Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. **Land Use Policy**, v. 43, p. 48-62, 2015.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. S.; PACHECO, F. A. L. Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation, **Land Use Policy**, v. 41, p. 172-185, 2014a.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; SANCHES FERNANDES, L. F.; PACHECO, F. A. L. Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of Total Environment**, v. 493, p. 812-827, 2014b.

VALLE JUNIOR, R. F. Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. S.; PACHECO, F. A. L. Multi criteria analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: a scientific tool in environmental policy. **Environmental Science & Policy**, v. 48, p. 250-264, 2015.

VALLE JUNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V. M. Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Uberaba. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 06, n. 01, p. 40-52, 2013.

WALKER, B. Global change extensive strategy agriculture options in the regions of the world. **Climatic Change**, v. 27, p. 39-47, 1994.

ANEXO A

Para a determinação dos impactos cumulativos em bacias hidrográficas as ações propostas são substituídas por ações antrópicas que ocorrem na área de estudo. Já os fatores ambientais são utilizados somente os que ocorrem na área, para a determinação da magnitude e da importância.

AÇÕES ANTRÓPICAS

(1) Modificação do Regime

a - Introdução de flora ou fauna exótica ; b - Controles biológicos; c - Modificação do “habitat” ; d - Alteração da cobertura do solo; e - Alteração da hidrologia; f - Alteração da drenagem; g - Controle do rio e modificação da vazão; h – Canalização; i – Irrigação; j - Modificação do clima; l – Incêndios; m - Pavimentação, modificações na superfície; n - Ruídos e vibrações.

(2) Transformação do Território e Construções

a - Construções industriais e edifícios; b – Aeroportos; c - Auto-estradas e pontes; d – Urbanização; e - Estradas e caminhos; f - Vias férreas; g - Linhas de transmissão; h – Oleodutos; i - Barreiras e vales; j – Dragagem; l - Revestimento de canais; m - Construção de canais; n - Represas e depósitos; o - Diques, portos e terminais marítimos; p - Construções no mar (em alto mar); q - Obras para recreação; r - Explosões e perfurações; s - Cortes e aterros; t - Túneis e estruturas subterrâneas.

(3) Extração de Recursos

a - Escavações e perfurações profundas; b - Escavações superficiais; c - Escavações subterrâneas; d - Perfuração de poços; e – Dragagem; f - Exploração florestal; g - Pesca comercial e caça

(4) Processos

a – Granjas; b - Criação de gado e pastoreio; c - Armazéns de feno; d – Laticínios; e - Geração de energia elétrica; f – Mineração; g – Metalurgia; h - Indústria química; i - Indústria têxtil; j - Fábricas/mecânicas de automóveis/aviões; l – Refinarias; m - Fábricas de produtos alimentícios; n – Serrarias; o - Fábricas de celulose e papel; p - Armazenagem de produtos (vários).

(5) Alteração do Terreno

a - Controle da erosão – terraceamentos; b - Minerações encerradas - vertedouros controlados; c - Minerações abertas; d – Paisagismo; e - Dragagens em portos; f - Aterros e drenos

(6) Recursos Naturais Renováveis

a – Repovoamento florestal; b – Manejo e preservação da vida silvestre; c – Infiltração de águas para o subsolo; d – Aplicação de fertilizantes; e – Reciclagem de resíduos

(7) Tráfegos Variáveis

a - Estradas de ferro; b – Rodovias; c - Rodovias para tráfego pesado; d - Hidrovias marítimas/portos; e – Aeroportos; f - Tráfego fluvial; g - Esportes aquáticos; h – Caminhos; i – Teleféricos; j - Outras comunicações; l – Oleodutos

(8) Situação e Tratamento de Resíduos

a - Lançados ao mar; b – Aterros; c - Depósitos de rejeitos e resíduos de minerações; d - Armazenamento subterrâneo; e - Sucatas (veículos); f - Descarga de poços de petróleo; g - Situação de sondagens profundas; h - Descargas de água quente; i – Lixão; j – Esgotos; l - Tanques de estabilização e oxidação; m - Tanques e fossas sépticas comerciais e domésticas; n - Emissões de gases residuais; o - Lubrificantes usados.

(9) Outros

a - Parques e reservas; b - Regulamentação ambiental; c - Monitoramento da qualidade ambiental; d - Medição de parâmetros meteorológicos; e - Educação ambiental; f - Elementos de informação ambiental; g - Reforço institucional.

FATORES AMBIENTAIS

(1) Características Físicas e Químicas: Terra

a - Recursos minerais; b - Material de construção; c - Solos; d - Geomorfologia; e - Campos magnéticos/radioatividade; f - Fatores físicos singulares.

(2) Características Físicas e Químicas: Água

a - Continentais; b - Marinhas; c - Subterrâneas; d - Qualidade; e - Temperatura; f - Abastecimento (local de); g - Neve - gelo

(3) Características Físicas e Químicas: Atmosfera

a - Qualidade - gases - partículas; b - Clima - micro - macro; c - Temperatura

(4) Características Físicas e Químicas: Processos

a - Inundações; b - Erosões; c - Deposições (sedimentos e precipitações); d - Soluções; e - Intercâmbio complexo de íons; f - Compactação e assentamento; g - Estabilizações; h - Movimentos sismológicos; i - Movimentos de ar.

(5) Condições Biológicas: Flora

a - Árvores; b - Arbustos; c - Ervas; d - Colheitas; e - Microflora; f - Plantas aquáticas; g - Espécies em perigo de extinção; h - Barreiras e obstáculos à vegetação; i - Corredores (ligações florestais, aceiros etc.).

(6) Condições Biológicas: Fauna

a - Aves; b - Animais terrestres (todos); c - Peixes e mariscos; d - Organismos bentônicos; e - Insetos; f - Microfauna; g - Espécies em perigo de extinção; h - Barreiras e obstáculos à fauna; i - Corredores (para animais). j - Fatores Culturais: Usos do Território; k - Espaços abertos e selvagens; l - Zonas úmidas; m - Silvicultura; n - Pastagens; o - Agricultura; p - Zona residencial; q - Zona comercial; r - Zona industrial; s - Minerações e locais de despejos.

(7) Fatores Culturais: Usos do Território

a - Espaços abertos e selvagens; b - Zonas úmidas; c – Silvicultura; d – Pastagens; e – Agricultura; f - Zona residencial; g - Zona comercial; h - Zona industrial; i - Minerações e locais de despejos.

(8) Fatores Culturais: Recreativos

a – Caça; b – Pesca; c – Navegação; d - Natação (Banho); e - “ am ping”; f – Excursão; g - Zonas de recreação.

(9) Fatores Culturais: Estéticos e de Interesse Humano

a - Vistas panorâmicas e paisagens; b – Natureza; c - Espaço aberto; d – Paisagens; e - Agentes físicos singulares; f - Parques e reservas; g – Monumentos; h - Espécies e ecossistemas especiais; i - Lugares de objetos históricos e arqueológicos; j – Desarmonias; g – Monumentos; h - Espécies e ecossistemas especiais; i - Lugares de objetos históricos e arqueológicos; j - Desarmonias.

(10) Fatores Culturais: Nível Cultural

a - Estilo de vida (padrões culturais); b - Saúde e seguro; c – Emprego; d - Densidade de população.

(11) Fatores Culturais: Serviços e Infra-estrutura

a – Estruturas; b - Rede de transportes; c - Rede de serviços; d - Eliminação de resíduos sólidos; e – Barreiras; f - Corredores (aceiros).

(12) Relações Ecológicas

a - Salinização de recursos hídricos; b – Eutrofização; c - Vetores transmissores de doenças – insetos; d - Cadeias alimentares; e - Salinização de materiais superficiais; f- Doenças endêmicas; g - Outros.

(13) Outros

a –Parques e reservas; b – Regulamentação ambiental

ANEXO B

Foram selecionadas as ações antrópicas de acordo com o uso e ocupação da microbacia.

Ações antrópicas sobre os usos e ocupação da Microbacia.

Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Modificação do regime	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
a - Introdução de flora ou fauna exótica	X	X		X
b - Controles biológicos	X			
c - Modificação do "habitat"	X	X	X	X
d - Alteração da cobertura do solo	X	X		X
e - Alteração da hidrologia	X	X		
f - Alteração da drenagem	X	X		X
g - Controle do rio e modificação da vazão	X	X		
h - Canalização		X		
i - Irrigação	X			
j - Modificação do clima		X		
l - Incêndios	X			
m - Pavimentação, modificações na superfície		X		
n - Ruídos e vibrações.		X		
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Transformação do Território e Construções	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
a - Construções industriais e edifício		X		
c - Auto-estradas e pontes	X	X		X
d - Urbanização		X		
e - Estradas e caminhos	X	X		X
g - Linhas de transmissão	X	X		X
l - Revestimento de canais		X		
n - Represas e depósitos	X	X		
s - Cortes e aterros	X	X		
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Extração de Recursos	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
f - Exploração florestal	X			

Ações antrópicas sobre os usos e ocupação da Microbacia cont.

Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Processos	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
a - Granjas	X			
b - Criação de gado e pastoreio				X
e - geração de energia elétrica	X			
h - Indústria química		X		
m - Fábricas de produtos alimentícios		X		
n - Serrarias		X		
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Alteração do Terreno	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
a - Controle da erosão – terraceamentos	X	X		
f - Aterros e drenos	X	X		
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Recursos Renováveis	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
a – Repovoamento florestal			X	
b – Manejo e preservação da vida silvestre			x	
d – Aplicação de fertilizantes	X			X
e – Reciclagem de resíduos		X		
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Tráfegos Variáveis	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
b - Rodovias	X	X	X	X
c- Rodovia tráfego pesado	X	X	X	X
Ações Antrópicas	Agricultura	Área Urbana	Floresta	Pecuária
Situação e Tratamento de Resíduos	Ocorre	Ocorre	Ocorre	Ocorre
b - Aterros		X		
i - Lixão		X		
j - Esgotos		X		
n - Emissões de gases residuais		X		
Outros				
a - Parques e reservas		X		
d - Medição de parâmetros meteorológicos	X	X		
e - Educação ambiental	X	X	X	X
f - Elementos de informação ambiental	X	X	X	X
g - Reforço institucional.	X	X	X	X