

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA E FRAGILIDADE AMBIENTAL  
COMO INSTRUMENTOS VOLTADOS AO PLANEJAMENTO DA BACIA  
DO RIO PEQUENO – PARANÁ**

**CURITIBA**

**2008**

**MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES**

**POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA E FRAGILIDADE AMBIENTAL  
COMO INSTRUMENTOS VOLTADOS AO PLANEJAMENTO DA BACIA  
DO RIO PEQUENO – PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo,  
Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo,  
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal  
do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

**CURITIBA  
2008**



Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Setorial do SSA da UFPR

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

*A Deus, o Todo Poderoso, Criador dos Céus e da Terra.*

## AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais pelo apoio, pela dedicação e pelo exemplo de vida que transmitiram aos filhos. A eles devo muito, e serei eternamente grata.
- A UFPR/Setor de Ciências Agrárias/Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo por acolher-me como aluna de mestrado.
- Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza por aceitar-me como orientada, pela confiança, pelas sugestões e contribuições essenciais a esta pesquisa.
- Ao meu amigo, Prof. Dr. Uraci Castro Bomfim pela ajuda e incentivo em todo o andamento do mestrado.
- Aos membros da banca, professores: Dr. Naldy Emerson Canali e Dra. Nerilde Favaretto pelas correções e valorosas sugestões.
- À minha família, pela paciência e compreensão em todos os momentos.
- Enfim, a todos os que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
3.1 GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	5
3.1.1 A bacia hidrográfica como contexto de planejamento .....	7
3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA.....	8
3.3 POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DAS TERRAS.....	10
3.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	12
3.5 ANÁLISES UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS .....	15
3.6 ÁRVORE DE DECISÃO E ÁRVORE DE PROBABILIDADES .....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
4.1.1 Localização da bacia do rio Pequeno .....	19
4.1.2 Solos da bacia do rio Pequeno.....	21
4.1.3 Geologia da bacia do rio Pequeno .....	23
4.1.4 Clima na região da bacia do rio Pequeno .....	25
4.1.5 Hidrografia da bacia do rio Pequeno .....	25
4.1.6 Vegetação na região da bacia do rio Pequeno .....	26
4.1.7 Relevo.....	27
4.1.8 Determinação da Morfometria.....	28
4.2 MATERIAL UTILIZADO NO LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO DA BACIA DO RIO PEQUENO .....	31
4.3 ELABORAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS (Etapa 1).....	31
4.3.1 Modelos de dados utilizados .....	32
4.3.2 Mapeamento da declividade do terreno.....	33
4.3.3 Mapeamento do uso do solo .....	34
4.3.4 Mapa de Solos .....	34

4.3.5 Mapeamento das Classes de Aptidão Agrícola .....	34
4.3.6 Fundamentação legal das Áreas de Preservação Permanente (APPs).....	37
4.3.7 Determinação da fragilidade ambiental .....	38
4.4 ANÁLISE GEO-ESPACIAL DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO ELABORADOS (Etapa 2) .....	41
4.4.1 Potencial de uso agrícola das terras .....	41
4.4.2 Fragilidade ambiental e potencial de uso agrícola das terras .....	41
4.4.3 Carta de conflito de uso atual .....	41
4.5 ASSOCIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EMPREGANDO ÁRVORES DE PROBABILIDADE (Etapa 3) .....	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PEQUENO .....	44
5.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA .....	48
5.3 POTENCIAL AGRÍCOLA .....	55
5.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	60
5.5 ÁRVORE DE PROBABILIDADE .....	65
5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PEQUENO .....	80
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Mapas gerados e os planos de informação utilizados como base .....	32
Tabela 2. Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras segundo RAMALHO FILHO e BEEK (1994).....	35
Tabela 3. Matriz utilizada para a determinação da aptidão agrícola das terras.....	36
Tabela 4. Classes de fragilidade em função dos tipos de solos, proposta por ROSS (1994).....	38
Tabela 5. Classes de fragilidade do meio físico para estudos ambientais, em função da declividade, proposta por ROSS (1994). .....	39
Tabela 6. Matriz para a determinação da Fragilidade Potencial.....	39
Tabela 7. Graus de proteção dos solos em relação à cobertura vegetal.....	40
Tabela 8. Matriz para a determinação da Fragilidade Emergente*.....	40
Tabela 9. Matriz para a determinação do conflito de Uso e Ocupação <i>versus</i> APP.....	42
Tabela 10. Matriz para a determinação do conflito de Uso e Ocupação <i>versus</i> Aptidão Agrícola das Terras. ....	42
Tabela 11. Principais classes de uso e ocupação da bacia do rio Pequeno, nos anos de 2000 e 2006, em relação à área total da bacia.....	45
Tabela 12. Características físicas (areal, linear e hipsométrica) da bacia do rio Pequeno.....	49
Tabela 13. Dados morfométricos da bacia do rio Pequeno, segundo HORTON (1945).....	49
Tabela 14. Uso recomendado de acordo com o sistema de aptidão agrícola das terras.....	56
Tabela 15. Comparação entre Confronto Preliminar e Real da bacia do rio Pequeno.....	60
Tabela 16. Fragilidade ambiental (potencial e emergente da bacia do rio Pequeno).....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Venn mostrando a lógica booleana com os operadores: <NOT>, <AND>,<OR> e <XOR>.....	16
Figura 2 – Localização geográfica da Bacia do Rio Pequeno. ....	20
Figura 3 – Mapa da Bacia do Rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR. ....	21
Figura 4 – Percentual das classes de solos da bacia do rio Pequeno. ....	21
Figura 5 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno, reclassificado conforme o novo sistema brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA (1999). ....	22
Figura 6 – Mapa geológico da bacia do rio Pequeno contendo as principais ocorrências geológicas. ....	24
Figura 7 – Representação do relevo sombreado da bacia do Rio Pequeno.....	27
Figura 8 – Carta das classes de uso do solo da bacia do rio Pequeno.....	44
Figura 9 – Mapa das classes de altitude da bacia hidrográfica do rio Pequeno. ....	46
Figura 10 – Mapa das classes de declividade da bacia hidrográfica do Pequeno. ....	47
Figura 11 – Percentual das classes de declividade da bacia hidrográfica do Pequeno. ....	47
Figura 12 – Exemplo de classificação da hierarquia fluvial pelo método de Strahler no curso superior da bacia do rio Pequeno.....	50
Figura 13 – Perfil longitudinal da bacia do rio Pequeno. ....	52
Figura 14 – Perfis transversais da bacia do rio Pequeno: (a) Curso superior; (b) Curso médio; e (c) Curso inferior. ....	54
Figura 15 – Carta Legislação Ambiental (APP) da bacia do rio Pequeno. ....	55
Figura 16 – Carta de conflito entre uso e ocupação do solo <i>versus</i> Legislação (APP) da bacia do Rio Pequeno. ....	56
Figura 17 – Carta de aptidão agrícola da bacia do rio Pequeno.....	57
Figura 18 – Carta de conflito preliminar da bacia do rio Pequeno. ....	59
Figura 19 – Carta de Confronto Real da bacia do rio Pequeno. ....	59
Figura 20 – Carta de Fragilidade Potencial da bacia do rio Pequeno. ....	61
Figura 21 – Carta de Fragilidade Emergente da bacia do rio Pequeno.....	63

Figura 22 – Árvore da natureza estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo. ....	66
Figura 23 – Árvore do interessado estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo. ....	72
Figura 24 – Árvore de probabilidade estruturada a partir dos dados obtidos com a carta e proposição de legislação ambiental do rio Pequeno e mapa de uso e cobertura do solo: (a) Árvore da natureza; (b) Árvore do interessado. ....	76
Figura 25 – Árvore de probabilidade estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de aptidão agrícola (considerando a legislação) e uso e cobertura do solo: (a) Árvore da natureza; (b) Árvore do interessado. .	78

# **POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA E FRAGILIDADE AMBIENTAL COMO INSTRUMENTOS VOLTADOS AO PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PEQUENO – PARANÁ**

AUTORA: MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES  
ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

## **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo principal, elaborar para a bacia do Rio Pequeno, situada no município de São José dos Pinhais – Estado do Paraná, subsídios às diretrizes básicas de ação ambiental sustentáveis. O estudo foi fundamentado nas análises das condições de uso atual em contraste com as características naturais do meio físico (solo, vegetação, topografia e hidrografia) e do cruzamento desses dados com as limitações legais impostas pela legislação Ambiental. No desenvolvimento do trabalho foram utilizados o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto. Com o auxílio das imagens de satélite, compreendendo um período de multitemporalidade de seis anos, foi verificada a evolução do adensamento urbano. A integração dos dados obtidos, associada às geotecnologias, proporcionou como resultados conclusivos o levantamento da morfometria da bacia do Pequeno, a elaboração das cartas de Aptidão Agrícola das Terras em conjunto com a legislação ambiental, Fragilidade Ambiental e Conflitos do Uso e Ocupação Atual. Com a metodologia Árvore de Probabilidade, verificou-se também a associação das informações levantadas para a bacia. Das análises realizadas, verificou-se que: (a) A morfometria da bacia mostrou controle lito-estrutural, forma desfavorável à ocorrência de cheias momentâneas, alta densidade de drenagem e de rios, com baixa permeabilidade do solo; (b) As áreas de preservação permanente ocuparam 27% da área total da bacia, sendo necessário recuperar 41% da área para atender a legislação ambiental; (c) O sistema de aptidão agrícola classificou 59% da área como apta para a agricultura, devendo ocorrer preservação em 36% da área. No entanto, como os dados de área de preservação permanente (27% da área) devem sobrepor quaisquer classes de aptidão, as áreas que o sistema classificou inicialmente com potencial agrícola, pastagem e reflorestamento, ficaram reduzidas; (d) O confronto das classes de uso e cobertura *versus* legislação ambiental, mostrou que o uso adequado do solo obteve 59% de representatividade; (e) A fragilidade ambiental é bastante elevada, sendo que a fragilidade

potencial muito alta e alta representou 78% do total da área, devido à grande presença de solos orgânicos e pouco desenvolvido. Para a fragilidade emergente, as mesmas classes aumentaram para 87%; (f) As árvores de probabilidade mostraram que a bacia possui tendência de utilização inadequada. A maioria da ocupação com urbanização e atividades agrícolas ocorreu em solos de alta fragilidade ambiental e baixo potencial agrícola.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; aptidão agrícola; planejamento ambiental.

**AGRICULTURAL LAND USE POTENCIAL AND ENVIRONMENTAL  
FRAGILITY AS INSTRUMENT COME BACK TO THE PLANNING OF PEQUENO  
WATERSHED – PARANÁ**

AUTHOR: MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES  
SUPERVISER: Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

**ABSTRACT**

This work was the main objective, to prepare for the Pequeno watershed, located in the city of São José dos Pinhais - State of Paraná, subsidies for basic guidelines for sustainable environmental action. The study was based on analyses of the conditions of current usage in contrast with the natural characteristics of the physical (soil, vegetation, topography and hydrography) and the intersection of these data with the legal constraints imposed by environmental legislation. For development of the work were used to a Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing. Through satellite imagery including a period of six years, was verified the evolution of urban density. The integration of data, linked to geotechnologies, got itself as conclusive results lifting the morphometry of the Pequeno watershed, the compilation of the Qualification of Agricultural Lands maps in conjunction with environmental legislation, Fragility Environmental and Conflict of Current Use and Occupancy. With the Tree of Probability methodology, it also checked the combination of information for the watershed. By analyses has revealed that: (a) The morphometry of the Pequeno watershed showed structural lithology control, way unfavorable to the occurrence of momentary floods, high density of drainage and rivers, with low permeability soil; (b) The permanent preservation areas occupied 27% of the total area of the watershed being necessary recover 41% of the area, to meet environmental legislation; (c) The system of agricultural suitability classified 59% of the area as suitable for agriculture, the preservation must occur in 36% of the area. However, as the data for permanent preservation area (27% of the area) should override any classes of agricultural suitability, the areas that the system classified first with agricultural potential, pasture and reforestation, were reduced; (d) The confrontation of the classes of use and coverage versus environmental legislation, showed the use appropriate obtained 59% of representative ness; (e) Environmental fragility quite high, where the potential fragility very high and high represented 78% of the total area, owing to the large

presence of organic soil and underdeveloped and the same classes for the fragility emerging increased to 87%; (f) The trees of probability that the basin has shown tendency of inappropriate use. Most of the occupation with urbanization and agricultural activities occurred in land of high environmental fragility and low agricultural potential.

**Key-words:** Water resources; agricultural suitability; environmental planning.

## 1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Curitiba concentrará porções cada vez mais expressivas da população estadual. PARANÁ (2000) mostra que enquanto a população total do Paraná terá acréscimo de mais de um milhão e quinhentos mil habitantes entre 1996 e 2010, a população da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) terá acréscimo próximo a um milhão e trezentos mil habitantes no mesmo período. Além disso, a população cresce na RMC em um ritmo superior ao de Curitiba. Em 1980, 71% da população da Região Metropolitana concentrava-se em Curitiba, enquanto que em 1991, a população caiu para 64% e, em 2000, o índice foi de 58%. Para o ano de 2010 existe uma projeção de apenas 50% da população residindo em Curitiba.

Os dados apresentados apontam para uma preocupante perspectiva futura, cujos reflexos não se limitarão ao município de Curitiba, pois a maior parte da população não estará nela fixada, mas na RMC. A nova realidade exigirá alternativas de enfrentamento dos problemas de gestão, pois, à fragmentação político-administrativa existente na RMC contrapõe-se à necessidade de soluções conjuntas, que envolvem diversos municípios.

Diante deste contexto, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial não só com enfoque sócio econômico da região, mas também ambiental, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas (DONHA, 2003). No entanto, como a RMC abrange uma área muito grande, a escolha de uma bacia hidrográfica como unidade de estudo em uma pesquisa possibilita a análise e interpretação das alterações físicas ambientais que auxiliarão nos diagnósticos e prognósticos do uso do solo, para o planejamento e zoneamento da área (CHUEH, 2004). Assim, uma das formas de auxílio em análises para planejamento urbano é o estudo integrado do meio físico. E com este intuito, a bacia hidrográfica do Rio Pequeno foi escolhida para ser utilizada no presente trabalho, por ser considerada o meio de integração dos componentes naturais e humanos, que possibilita o estudo sistêmico, com enfoque na RMC.

A bacia do Rio Pequeno está estabelecida em uma área aproximada de 128 km<sup>2</sup>, inserida na Região Metropolitana de Curitiba. O Rio Pequeno é afluente da margem esquerda de um dos maiores complexos hidrográficos do Estado do Paraná – a bacia do Altíssimo Iguaçu – responsável por grande parte do abastecimento público de água tratada de Curitiba e parte significativa de sua região metropolitana. Além disso, os mananciais do Altíssimo Iguaçu apresentam elevados níveis de precipitação pluviométrica, por se localizarem na área de influência da Serra do Mar e, em consequência disso, altas vazões específicas, com grande potencial de oferta de água (ANDREOLI *et al.*, 2000).

A motivação do desenvolvimento deste trabalho baseou-se na forma pela qual vem sendo ocupada a bacia do Rio Pequeno, onde se verifica uma contraposição do uso do solo às características naturais da região, com super utilização de recursos naturais. A realização do diagnóstico do meio físico aliada às técnicas disponíveis como estatística e pesquisa operacional, bem como o contraste das informações com as condições de uso atual do solo, são fundamentais. Estas medidas podem servir como um referencial para o planejamento ambiental e proposta de reestruturação regional, com o intuito de auxiliar a tomada de decisão de projetos envolvendo o uso de recursos físicos na região.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral elaborar subsídios às diretrizes básicas de ação ambiental sustentável, fundamentando-se nas análises das condições de uso atual em contraste com as características naturais do meio físico (em especial do solo, da vegetação, da topografia e da hidrografia); e do cruzamento desses dados com as limitações legais impostas pela legislação que define a localização de áreas de proteção ambiental.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do presente trabalho consistiram em:

- Elaborar documentos cartográficos de legislação ambiental, aptidão agrícola, fragilidade, conflitos de uso e zoneamento ambiental, como instrumentos ao planejamento e gestão ambiental;
- Estabelecer informações adequadas para administradores e planejadores, através da análise integrada, utilizando como suporte as concepções da agronomia, associadas às geotecnologias;
- Quantificar e analisar as formas de uso e ocupação da bacia do Rio Pequeno visando gerar informações probabilísticas para o planejamento ambiental da região.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

O processo de urbanização e o crescimento populacional, associados ao desenvolvimento das atividades econômicas, quando não ocorrem de forma planejada, alcançam rapidamente os limites de suporte físico das áreas ocupadas, resultando na degradação dos recursos naturais e seu esgotamento. A falta de planejamento urbano adequado faz com que as cidades tenham crescimento descontrolado. Somando a este fato a falta de infra-estrutura básica à população e de empregos, o resultado é o surgimento de assentamentos ilegais de habitações precárias, geralmente à beira de rios e na periferia das cidades. A partir daí começa a intensificação dos problemas ambientais (JESUS, 2004).

ROSS (1996) afirma que as diversas formas de intervenção humana no meio natural devem ser precedidas de diagnósticos que possibilitem o conhecimento prévio das características naturais do local. Práticas como a instalação de indústrias, agricultura, expansão urbana, entre outras, interferem significativamente no meio natural e, com isso, é importante que se tenha uma posição preventiva do mesmo, em que sejam estabelecidas diretrizes para uso racional dos recursos naturais.

O solo é um dos componentes vitais do meio ambiente e constitui o substrato natural para o desenvolvimento das plantas. A ciência da conservação do solo e da água preconiza um conjunto de medidas, objetivando a manutenção ou recuperação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, estabelecendo critérios para o uso e manejo das terras, de forma a não comprometer sua capacidade produtiva. Estas medidas visam proteger o solo, prevenindo-o dos efeitos danosos da erosão e aumentando a disponibilidade de água, nutrientes e da atividade biológica do solo, criando condições adequadas ao desenvolvimento da vegetação. Entre os recursos naturais do planeta Terra, os solos são de relevante importância, sobretudo devido ao fato de que a maior parte dos alimentos, direta ou indiretamente, provém dos campos de cultivo e pastagens nele implantados. Além disso, sustentam campos, cerrados, florestas e recebem a água das chuvas que posteriormente emerge nas nascentes e mananciais (LEPSCH, 2002).

### 3.1 GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A biosfera é a parte do planeta Terra ocupada pelos seres vivos. De modo geral esta expressão refere-se ao conjunto de todos os ecossistemas terrestres, que designa a união formada por todos os fatores bióticos e abióticos que atuam simultaneamente sobre uma região. Assim, os ecossistemas são caracterizados por serem sistemas altamente complexos e dinâmicos, com tendência para a auto-organização e auto-renovação, apresentando formato e equilíbrio garantidos pela interdependência e comportamento padronizado dos seres vivos entre si e com o ambiente (BRISKI, 2004).

Tendo em vista a atuação antrópica na energia do sistema, a humanidade criou um fato novo: desequilíbrio do ecossistema e da biosfera. Surgiram então os problemas provocados pelo homem, e que BRAGA *et al.* (2002) denominou de “crise ambiental”. Para enfrentar tais problemas uma série de ações coordenadas foram desenvolvidas. Recentemente, deu-se o nome de gestão do ambiente ao conjunto destas ações.

A gestão ambiental pode ser entendida como a forma sistemática da sociedade encaminhar a solução de conflitos de interesse no acesso e uso do ambiente pela humanidade. O crescimento populacional é responsável pelo aumento da demanda de recursos naturais e pela geração de resíduos lançados ao meio ambiente. De acordo com JESUS (2004), é fundamental desenvolver e implantar mecanismos de gerenciamento e controle dos ecossistemas terrestres, principalmente naqueles em que a ação humana se faz de maneira inadequada, degradando água, solo e ar.

No planejamento ambiental há a necessidade inicial de se fazer um diagnóstico dos recursos renováveis e não renováveis, envolvendo matéria-prima, ar, solo, flora e fauna em interação com os aspectos socioeconômicos e culturais. Este diagnóstico permitirá a elaboração de propostas envolvendo aspectos jurídicos e administrativos, ou seja, governo e sociedade (BRAGA *et al.*, 2002).

De maneira geral, para se fazer o planejamento é necessária à determinação de uma série de passos que constituem o processo. Em primeiro lugar é preciso especificar os objetivos e fixar metas com resultados sucessivos que deverão ser obtidos de acordo com o planejamento. Em seguida deve haver a seleção dos instrumentos que serão utilizados de acordo com os objetivos estabelecidos e, por fim, a aplicação dos mesmos na implementação do planejamento (BRISKI, 2004).

O termo ecossistema, da forma como é utilizado por ecologistas, é mais apropriado para um sistema local, ou seja, uma comunidade distinta e coerente de organismos e o ambiente físico com o qual ela possa interagir. Esforços no sentido de se entender o ecossistema como um todo, em termos de interação dos componentes biológicos e físicos modificados pelo homem, tem aumentado consideravelmente o conhecimento da estrutura, funcionamento e evolução do meio ambiente (ODUM, 1983).

A tendência natural de qualquer sistema, como um todo, é de aumento de sua entropia ou grau de desordem. O uso de energia implica, conforme a segunda lei da termodinâmica, na degradação de sua qualidade. Como consequência da lei da conservação da massa, os resíduos energéticos somados aos resíduos de matéria, alteram a qualidade do meio ambiente. Tendo em vista o progressivo aumento exponencial do número de habitantes na Terra e a degradação dos recursos naturais, pode-se vislumbrar, a médio e longo prazos, problemas sérios para a manutenção de sua população. A qualidade de vida no planeta dependerá do equilíbrio entre população, recursos naturais e poluição (BRAGA *et al*, 2002).

À medida que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que produzem no ar, no solo, na água e na vida, em seu interior e a sua volta, agravam os problemas ambientais que afetam o bem-estar de cada ser humano. Todas essas interações das atividades humanas com o ambiente natural produzem um ecossistema muito diferente daquele existente anteriormente à cidade. Este sistema é sustentado por uma importação maciça de energia e de matérias-primas, “um sistema no qual os processos culturais humanos criaram um lugar completamente diferente da natureza intocada, ainda que unida a esta através dos fluxos de processos naturais comuns” (ODUM, 1983).

O estudo espacial do ecossistema é fundamental, pois é nele que o conjunto de seres vivos interage entre si e com o meio ambiente de forma equilibrada, por meio da ciclagem de matéria e do uso eficiente da energia solar. Todo ecossistema procura um estado de equilíbrio dinâmico, por meio de mecanismos de autocontrole e auto-regulação, que entram em ação assim que ocorre qualquer mudança. No caso de modificações artificiais impostas pelo homem, por serem relativamente violentas e continuadas, o mecanismo não consegue absorver essas mudanças e ocorre o impacto ambiental (ROSS, 1994).

### 3.1.1 A bacia hidrográfica como contexto de planejamento

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico fechado, em que seus componentes estão diretamente relacionados e não podem ser analisados separadamente. Para SILVEIRA (1993<sup>1</sup>, *apud* SANTOS, 1997), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. FUGIMOTO (2001) acrescenta que a bacia hidrográfica é uma unidade natural que considera, além da água, elementos como relevo, solos, vegetação, e elementos sociais de produção e uso do espaço. BOTELHO (2005) considera a bacia hidrográfica como unidade natural de análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos das paisagens e os processos que atuam na sua esculturação. DINIZ (2003) complementa que a bacia hidrográfica é uma determinada área do terreno que drena água, partículas de solo e material dissolvido, cujos cursos se interligam para um ponto de saída comum, situado ao longo de um rio, riacho ou ribeirão. Em termos ambientais, é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, seja na ocupação de terras com atividades agrícolas ou na urbanização.

A formação da bacia hidrográfica ocorre através dos desníveis do terreno, que direcionam os cursos d'água sempre das áreas mais altas para as mais baixas, sendo essa a tendência que a água segue numa determinada direção dada pelo relevo e pelo efeito de gravidade. Assim, todos os componentes da bacia de um rio encontram-se interligados e os rios são os veículos dessa integração. Devido a essa interligação natural, as bacias hidrográficas são excelentes unidades de planejamento e gerenciamento (JESUS, 2004).

Como em um sistema natural, a bacia hidrográfica permite a análise e compreensão do comportamento dos elementos naturais que se inter-relacionam. A partir da escolha da bacia hidrográfica como categoria analítica é possível entender o funcionamento da dinâmica natural de determinado ambiente. Dentro dos estudos da geografia física, a bacia hidrográfica considerada um sistema, possibilita a compreensão da geomorfologia, geologia, hidrologia, clima e vegetação de determinada área, bem como verificar como esses elementos se comportam e se relacionam, dando origem a processos e formas da paisagem.

---

<sup>1</sup> SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. p. 35-51.

### 3.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Os estudos relacionados à rede hidrográfica sempre foram muito importantes para Geomorfologia, pois os cursos d'água constituem um dos processos mais ativos na formação da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A análise morfométrica possibilita uma análise quantitativa, usando valores exatos de um conjunto de parâmetros para obter as principais características de uma área de estudo. A morfometria, aplicada em estudos de bacias hidrográficas, apresenta uma abordagem quantitativa dessas bacias, com vista a uma análise areal, linear e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas, através das características geomorfológicas associadas ao relevo e à rede de drenagem, possibilita a identificação de suas características gerais. O processo de extração das variáveis numéricas podem ser obtidas diretamente de um mapa topográfico ou automaticamente, a partir de modelos numéricos de terrenos (MNTs), usufruindo das ferramentas disponíveis em grande parte do sistemas de informações geográficas (JESUS, 2004).

Segundo CHRISTOFOLETTI (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser dividida em quatro itens. O primeiro trata da ordenação ou hierarquização da rede de drenagem. No segundo item, a análise linear da rede de drenagem compreende as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento. A análise areal da bacia hidrográfica é o terceiro item, englobando vários índices que utilizam medições planimétricas, além das lineares. E, por fim (quarto item), a análise hipsométrica compreende a análise da distribuição altimétrica da bacia.

Toda análise morfométrica inicia-se pela hierarquização dos canais fluviais. Cada linha de drenagem pode ser categorizada de acordo com sua posição (ordem ou magnitude) dentro da bacia. Esta ordenação pode ser utilizada para descrever a linha de drenagem e dividir a rede em partes que podem ser quantificadas e comparadas. Por definição, as linhas de drenagem que não possuem nenhum tributário são designadas como linhas de primeira ordem ou primeira magnitude. A ordem ou magnitude das demais linhas de drenagem depende do método utilizado (BRISKI, 2004).

Vários índices podem ser definidos para descrever as propriedades lineares e de área de uma bacia hidrográfica. Alguns deles são medições diretas, como por exemplo, o

comprimento do rio principal e a área da bacia. Outros índices são relações entre medidas de alguns componentes da bacia, como por exemplo, a densidade de drenagem (relação entre comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia) e a densidade de canais (relação entre o número de canais e a área da bacia). Alguns índices guardam certa subjetividade, como o comprimento da bacia que pode ser definido de diversas maneiras. Por fim, alguns índices resultam de combinações de outros índices, como por exemplo, o índice de rugosidade, produto da amplitude altimétrica e da densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os parâmetros morfométricos referentes à análise linear da rede hidrográfica são obtidos a partir de medidas efetuadas ao longo das linhas de escoamento. A Relação de Bifurcação ( $Rb$ ) é um parâmetro definido por HORTON (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma determinada ordem e o número total dos segmentos da ordem imediatamente superior.

Para a hierarquização fluvial, os menores canais sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. Quando dois canais de primeira ordem se encontram, formam um canal de segunda ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Quando dois canais de segunda ordem se encontram, originam um canal de terceira ordem, que recebem afluentes de primeira e segunda ordens. Quando dois canais de terceira ordem se encontram, formam um canal de quarta ordem, que recebe afluentes de primeira, segunda e terceira ordens, e assim sucessivamente (STRAHLER, 1974).

STRAHLER (1974) e SCHUMM (1956) definiram o parâmetro denominado Relação Ponderada de Bifurcação ( $Rpb$ ) com o objetivo de encontrar um índice de bifurcação mais representativo. A Extensão do Percurso Superficial ( $Eps$ ) é um parâmetro que mostra a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. Para CHRISTOFOLETTI (1980) a  $Eps$  corresponde a uma das variáveis independentes mais importantes, pois afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a  $Eps$  está ajustada ao tamanho apropriado relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco do valor da densidade da drenagem.

O Gradiente dos Canais é um parâmetro que indica a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do canal fluvial.

O Índice de Sinuosidade (*Sin*) indica se há predomínio de transporte, sedimentação ou erosão, sendo um fator adimensional (JESUS, 2004).

Os parâmetros morfométricos referentes à análise areal da rede hidrográfica são constituídos pela área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade de drenagem e coeficiente de manutenção.

A área (projetada verticalmente) é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, pois seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada, define o volume de água recebido. Definidos os limites da bacia, a sua área pode ser calculada por planimetragem direta nos mapas, que já incorporam a projeção vertical, e também através de *softwares* característicos para digitalização. A Forma da Bacia é calculada através do fator forma (*Ff*), parâmetro adquirido pela relação entre a largura média e o comprimento da bacia. O resultado mostra se a forma da bacia é mais arredondada, o que causa maior probabilidade de enchentes, ou mais alongada, o que reduz a probabilidade de enchentes repentinas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A Densidade de Rios (*Dr*) representa o comportamento hidrográfico da bacia em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos d'água. A Densidade de Drenagem (*Dd*) é um parâmetro que correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica, representando o grau de dissecação topográfica. Baixo valor de *Dd* indica que a presença de rios é menor, pois os solos são mais permeáveis, ocorrendo assim o predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial. Alto valor de *Dd* indica maior número de rios, pois os solos são mais impermeáveis, ocorrendo o predomínio do escoamento superficial sobre a infiltração (JESUS, 2004).

### **3.3 POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DAS TERRAS**

A interferência antrópica relacionada ao processo de urbanização tem provocado inúmeros efeitos nocivos ao meio ambiente. Um dos grandes desafios atuais da ciência consiste na manutenção da produção agrícola em níveis que sustentem uma população mundial em crescimento, sem degradar o meio ambiente. De acordo com COELHO (2001), essa situação decorre, em parte, da insuficiência e da inadequação dos instrumentos de planejamento e gestão e uso do solo, que não tem conseguido acompanhar o ímpeto das transformações da realidade urbana, permitindo que grande contingente de população tenha apenas acesso a formas irregulares de habitação. A habitação resultante deste processo é em

geral não autorizada, de baixo custo e padrão de qualidade, situando-se em áreas restritivas a ocupação, as quais, em sua grande maioria, não são atendidas por serviços e infra-estrutura urbana. Para tanto, a aptidão agrícola das terras é uma ferramenta de grande importância, por permitir a adequação do uso do solo à sua capacidade de sustentação e evitar a possível degradação dos recursos naturais (BARNES e SOUZA, 2003).

A necessidade de estudos sobre a avaliação da aptidão agrícola das terras é um instrumento imprescindível para elaboração de zoneamento evitando-se a sub ou sobreutilização dos ecossistemas (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994). No entanto, a literatura apresenta vários métodos de avaliação do potencial de terras para diferentes formas de uso, cada um com suas características e peculiaridades.

Os estudos relacionados à decisão da melhor alternativa para o uso dos solos no Brasil são recentes. Na década de 1960, BENNEMA *et al.* (1964) apresentaram uma proposta para a avaliação da aptidão agrícola das terras. Esta proposta foi pioneira em se tratando de planejamento ambiental relacionado com o uso do solo, entretanto, abrangia apenas o ambiente das atividades agrícolas, atendendo às lavouras de ciclo curto e longo, juntamente com sistemas de manejo. A partir desta proposta, outros trabalhos similares foram desenvolvidos, visando aperfeiçoar o sistema de avaliação.

Para BARNES e SOUZA (2003), um mapa de aptidão agrícola revela interpretações realizadas no solo, classificando áreas para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento através de tecnologias. A classificação é um processo interpretativo e um guia para a obtenção do máximo de benefícios das terras. É uma orientação de como devem ser utilizados seus recursos.

A metodologia de RAMALHO e BEEK. (1994), intitulada Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola, é um exemplo de aperfeiçoamento da proposta de BENNEMA *et al.* (1964), que foi desenvolvida com o apoio da EMBRAPA e órgãos de governos estaduais das cinco regiões do país. Os autores citam que o desenvolvimento da metodologia fundamentou-se também nas orientações do “*Soil survey manual*”<sup>2</sup> e na metodologia da FAO (1976), que recomendavam a avaliação da aptidão agrícola das terras baseando-se em resultados de levantamentos sistemáticos, realizados com o suporte de atributos como o solo, clima,

---

<sup>2</sup> ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil survey manual. Washington, 1951. 503 p (USDA Agriculture Handbook, 18).

vegetação, geomorfologia, entre outros. O termo terra é considerado em sentido amplo, incluindo todas as suas relações ambientais.

Com a finalidade de localizar as áreas distintas com os diferentes graus de limitação e obter a classificação da aptidão agrícola do terreno, a metodologia de RAMALHO FILHO e BEEK (1994) considera três níveis de manejo (A, B e C), seis grupos que indicam condição de utilização (1 a 6) e quatro classes (boa, regular, restrita e inapta):

- O nível de manejo A representa uma atividade primitiva de utilização, onde envolve trabalhos braçais e baixo nível técnico cultural. O nível de manejo B é pouco desenvolvido, podendo ser braçal com envolvimento de tração animal. Pode ser utilizada tração motorizada quando se almeja desbravar e preparar o solo. O nível C é o que representa o elevado nível tecnológico e qualificado;
- Os grupos 1, 2 e 3 têm indicação de utilização para lavoura. O grupo 4, aptos para pastagem plantada. O grupo 5 refere-se às terras que possuem indicação de utilização apta para silvicultura e pastagem natural. O grupo 6, terras sem aptidão.
- A classe boa refere-se às terras sem limitações significativas. Há um mínimo de restrições que não comprometem a produtividade. O seu símbolo gráfico é em maiúsculo. A classe regular refere-se às terras que apresentam limitações moderadas. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios. A simbologia gráfica é em minúsculo. A Classe Restrita caracteriza as terras com fortes limitações à produção. Seu símbolo gráfico é em minúsculo e entre parênteses. As terras exclusas à produção são pertencentes à classe inapta. Não é representada por símbolo.

### **3.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL**

Para estudar a relação entre o espaço geográfico em conjunto com a análise espacial, ROSS (1994) propôs uma metodologia para a análise empírica da fragilidade ambiental. Esta metodologia foi desenvolvida para estudar tanto ambientes em condição naturais quanto sob ação antrópica. As avaliações são realizadas integrando os setores do estrato geográfico (solos, relevo, rochas, clima, flora, fauna, entre outros) que dão suporte à vida animal e humana. A idéia central consiste em avaliar os efeitos da intervenção humana ao longo do tempo sobre os sistemas ambientais, relacionados com o desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas. Para a avaliação dos efeitos da intervenção humana sobre os sistemas ambientais é necessário o conhecimento das potencialidades dos

recursos naturais, que se relacionam com as condições gerais do solo, relevo, clima e regime hídrico. Esta metodologia baseia-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas de TRICART<sup>3</sup>, que avalia a fragilidade partindo de aspectos ambientais potenciais e emergentes. A Fragilidade Potencial compreende as integrações dos elementos físicos naturais, como a geomorfologia, tipos de solo, declividade, geologia entre outros. A Fragilidade Emergente compreende a análise integrada da fragilidade potencial do meio natural com o tipo de uso do solo.

ROSS (1996) propôs o levantamento dos elementos do meio físico como solo, geologia, vegetação e relevo, avaliando-os de forma integrada com o uso e ocupação do solo. O autor estabeleceu níveis diferenciados de fragilidade dos elementos citados para relacionar e caracterizar as unidades ecodinâmicas.

Em relação à pedologia, ROSS (1996) comenta que os solos apresentam diferentes níveis de fragilidade, em função de suas características morfológicas. Esses níveis quando associados com o relevo, clima, litologia, elementos da pedogênese e fatores que determinam as características físicas e químicas dos solos, permitem estabelecer classes de fragilidade e erodibilidade para os solos, levando em consideração o escoamento superficial e a concentração das águas pluviais.

Para a análise da proteção dos solos em relação à cobertura vegetal, ROSS (1996) organizou os graus de proteção do solo pela cobertura vegetal natural e cultivada em ordem decrescente, conforme a capacidade de proteção.

Autores como REIS NAKASHIMA (2001), PACHECHENIK (2004), DONHA *et al.* (2006), VASHCHENKO *et al.* (2007) e OLIVEIRA *et al.* (2008), adotaram a metodologia da análise empírica da fragilidade ambiental proposta por ROSS (1994) e conseguiram gerar boas informações para um planejamento adequado de uso do solo.

REIS NAKASHIMA (2001) aplicou no rio Keller a metodologia de ROSS (1994) para estudar a fragilidade ambiental da relação relevo-solo e dos graus de proteção pertinentes ao uso da terra/vegetação, evidenciando e localizando as classes de solo com maior potencial erosivo e as menos susceptíveis ao desencadeamento destes processos. Os resultados alcançados com a pesquisa demonstraram: (a) baixa fragilidade ambiental inerente aos altos topos esculpidos no basalto que abrigam Latossolo Vermelho; (b) fragilidade média nas

---

<sup>3</sup> TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

vertentes com declividades até 20%, detentoras de basalto com Nitossolo Vermelho ou de basalto com estrutura maciça com Neossolo Litólico; e, (c) alta fragilidade ambiental nas vertentes com declividades fortes, acima de 20% e no fundo de vales e planícies aluviais.

Visando delimitar a potencialidade do uso do solo na bacia do rio das Pedras-PR, PACHECHENIK (2004) utilizou a metodologia de análise empírica de fragilidade ambiental, digitalizando a área e rede de drenagem da bacia com o *software CartaLinx* e gerando um modelo numérico de terreno com o *software Idrisi 3.2*. O autor concluiu que: a área da bacia apresenta fragilidade ambiental potencial entre as classes média e alta; os usos do solo classificaram a bacia na fragilidade ambiental emergente muito baixa e baixa; e, os limites da potencialidade de uso do solo indicaram que a bacia está protegida da erosão.

Na região de Curitiba, Centro de Estações Experimentais do Cangüiri da Universidade Federal do Paraná, que se encontra na APA do Rio Irai, DONHA *et al.* (2006) determinou a fragilidade ambiental através do conhecimento do espaço geográfico e das potencialidades dos recursos naturais aplicando a classificação de ROSS (1994) com múltiplos critérios. Após a digitalização da carta planialtimétrica, a autora determinou para o local a declividade, a rede de drenagem, o tipo e uso dos solos com o auxílio do *software Idrisi 3.2*. O programa utilizado mostrou-se eficiente na análise e geração das imagens de fragilidade e possibilitou identificar que a área estudada possui baixa fragilidade potencial e emergente.

Para caracterizar e avaliar os picos Camacuã, Camapuã e Tucum, situados na Serra do Mar paranaense, no município de Campina Grande do Sul, VASHCHENKO *et al.* (2007) aplicaram a metodologia de fragilidade ambiental baseada em dados de declividade, solo e vegetação. A área estudada é potencialmente muito frágil devido à declividade acentuada e aos solos pouco desenvolvidos. No entanto os autores verificaram que a cobertura vegetal exerceu papel fundamental na proteção contra a degradação, amenizando a fragilidade potencial.

Com o objetivo de identificar e mapear a fragilidade ambiental existente na bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, OLIVEIRA *et al.* (2008) também estudaram a fragilidade ambiental por meio da análise das interações dos componentes naturais e antrópicos existentes na área. Ao utilizarem a metodologia de ROSS (1994), os autores atribuíram valores às variáveis do meio ambiente de acordo com suas potencialidades. Os resultados indicaram que devem ser feitas alterações no uso da terra, adequando-se os tipos de cultura à morfologia da

área, levando-se em consideração não só os recursos naturais, mas também as necessidades de seus moradores.

### 3.5 ANÁLISES UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS

O espaço físico ocupado pelo ser humano cresce constantemente e esse fato traz a necessidade constante da busca de novas técnicas e ferramentas que possibilitem seu estudo e mapeamento. Novas tecnologias desenvolvidas possibilitaram ao homem a ampliação de sua capacidade de ver o meio ambiente. Entre as mais importantes técnicas neste campo encontram-se a fotografia e o desenvolvimento de aviões e posteriormente os satélites. É neste contexto que surgiu o sensoriamento remoto (CENTENO, 2004).

O sensoriamento remoto consiste na aquisição, registro e coleta de informações da superfície terrestre sem a necessidade de entrar em contato com a mesma. Sua aplicação é o objetivo de estudo de várias atividades como a cartografia, o monitoramento dos recursos naturais e a previsão e modelagem do meio ambiente. Dentro do sensoriamento remoto existe a necessidade de conhecimentos sobre processamento digital de imagens, tendo em vista que as mesmas vêm em formato digital e é processada em computadores (CENTENO, 2004).

O Geoprocessamento, área do conhecimento que utiliza dados matemáticos e computacionais para o tratamento da informação geográfica, tem obtido considerável expansão devido ao acelerado desenvolvimento da tecnologia de informática.

SILVA (1999) considera que o geoprocessamento consiste desde a coleta de informações até a obtenção do produto gráfico final. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Para SOUZA *et al.*, (2005) o objetivo principal do geoprocessamento consiste em fornecer suporte computacional para a determinação das evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interações entre os diferentes fenômenos.

Os instrumentos computacionais de geoprocessamento, conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas (SIG/GIS - *Geographical Information Systems*) permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados (SILVA, 1999). Os SIG's compõem um conjunto integrado e organizado de equipamentos e programas computacionais, dados geográfico e pessoal, destinados a obter,

armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciada (CÂMARA e DAVIS, 2007).

Segundo SILVA (1999), os SIG's têm em comum a capacidade de desempenhar eficazmente operações de superposição, que praticamente regem a funcionalidade dos mesmos. As funções dos SIG's podem ser divididas, basicamente, em consulta, reclassificação, análises de proximidade e contigüidade, modelos digitais de elevação, operações algébricas cumulativas e operações algébricas não cumulativas. Modelos lógicos, mapas observacionais (mapa de aptidão agrícola, uso e ocupação) e mapas analíticos (mapa de uso e cobertura proveniente da classificação da imagem de satélite), também podem ser cruzados, resultando num produto integrado denominado de mapa de adequação. Esta função, pertencente a uma análise algébrica não cumulativa ou análise lógica, compreende o uso da simultaneidade booleana.

A lógica booleana baseia-se em estabelecer limites determinados a partir de informações consideradas falsas, atributo 0 (zero), e verdadeiras, atributo 1 (um). A análise utiliza os seguintes operadores: <NOT>, <AND>, <OR> e <XOR>, como pode ser visto na Figura 1, em que o preenchimento hachurado (sólido cinza escuro) refere-se ao atributo verdadeiro.

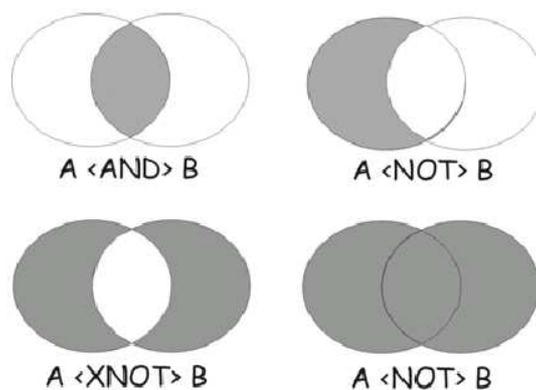


Figura 1 – Diagrama de Venn mostrando a lógica booleana com os operadores: <NOT>, <AND>, <OR> e <XOR>.

O geoprocessamento não deve ser entendido apenas como uma técnica de produção de mapas temáticos, mas como uma base metodológica para análise ambiental e instrumentos geradores da informação ambiental tão necessária ao apoio à decisão (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO FILHO, 1995).

### 3.6 ÁRVORE DE DECISÃO E ÁRVORE DE PROBABILIDADES

Um problema de decisão existe somente quando se sente que as possíveis conseqüências daquela decisão são importantes e, mesmo assim, existe incerteza quanto à melhor atitude a ser tomada. Quando se está incerto quanto às conseqüências de uma decisão, enfrenta-se uma escolha que envolve risco. Teoricamente, a terminologia “modelos de decisão” contempla os tipos e exemplos de modelos de decisão apresentados na literatura (CAIXETA-FILHO, 2001). Assim, a análise de decisão envolve o uso de processos racionais para selecionar a melhor alternativa dentre um conjunto de alternativas possíveis.

A árvore de decisão é uma técnica da Pesquisa Operacional que auxilia a análise de decisão por meio da identificação do melhor caminho ou estratégia a serem seguidos (CAIXETA-FILHO, 2001). É também uma maneira gráfica de visualizar as conseqüências de decisões atuais e futuras bem como os eventos aleatórios relacionados.

A partir dos possíveis caminhos abertos ao tomador de decisão, as árvores podem ser construídas, assumindo-se que os eventos ocorrerão como resultado da interação entre as escolhas realizadas pelo tomador de decisão e fenômenos probabilísticos. Segundo MARTINS *et al.* (2007), a árvore de decisão é um método bastante utilizado para determinar o padrão de comportamento de conjuntos de dados em diferentes formas de representações.

Uma outra maneira de se calcular a probabilidade requerida também pode ser realizada por meio de árvore de probabilidade. Assim, com lógica bastante similar à dos nós de chance de uma árvore de decisão trivial, as árvores de probabilidade podem ser apresentadas em duas variações: árvore da natureza e árvore do interessado. A árvore da natureza representa a cronologia real dos acontecimentos. Em alguns casos, a probabilidade pela qual se tem interesse pode ser obtida diretamente da árvore da natureza. Caso isso não seja possível, torna-se interessante a elaboração da árvore do interessado, que possui cronologia inversa dos acontecimentos (CAIXETA-FILHO, 2001).

Inúmeros são os algoritmos de classificação que constroem árvores de decisão e árvores de probabilidade. Não há uma forma de determinar qual o melhor algoritmo, pois um pode ter melhor desempenho em determinada situação e outro em outros tipos de situações (CHAGAS *et al.*, 2006; GIASSON *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2007; LEDUC *et al.*, 2007). Dependendo da dimensão e complexidade do problema, a análise pode ser realizada até em uma planilha eletrônica.

A literatura não é muito rica em exemplos de estudos envolvendo a ciência do solo e a implementação de algum tipo de árvore de decisão ou probabilidade para auxiliar nas análises dos dados obtidos na área. Os estudos citados a seguir são exemplos recentes de trabalhos que utilizaram de alguma forma este tipo de metodologia.

GIASSON *et al.* (2006), estimando o benefício econômico potencial de dois levantamentos de solos, descreveram que as árvores de decisão permitiram mostrar a estrutura do processo de decisão em diversas situações de disponibilidade de informações sobre solos, além de permitir a quantificação do valor monetário estimado de cada situação, no Estado do Rio Grande do Sul. No intuito de melhorar o mapa da cobertura e uso do solo de uma Reserva Extrativista do Baixo – Juruá-AM, LEDUC *et al.* (2007) também estruturou os dados obtidos em uma árvore de decisão, juntamente com o Modelo Digital de Elevação gerado a partir de imagens do Radar SRTM e imagens fração solo, sombra e vegetação, obtidas por meio do método do modelo linear de mistura espectral. CHAGAS *et al.* (2006) visando avaliar a aplicação de um sistema automatizado na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, oeste catarinense, para o cultivo de grãos, implementaram e utilizaram árvores de decisão para fazer o enquadramento das terras em classes de adequação definidas, baseando-se na qualidade dos requerimentos de acordo com o tipo de uso. MARTINS *et al.* (2007), aplicando a técnica árvore de decisão para estimar a prevalência da esquistossomose no Estado de Minas Gerais, a partir de dados do sensoriamento remoto, climáticos e sócio-econômicos, verificou que a técnica: (a) permite lidar com dados dispostos em diferentes escalas de medidas; (b) não necessita de suposição sobre as distribuições de frequência dos dados em cada uma das classes; (c) permite a flexibilidade e a capacidade de lidar com relações não lineares entre variáveis e classes.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em etapas, que foram realizadas e executadas simultaneamente ao longo das atividades.

**Primeira etapa:** Elaboração dos documentos cartográficos de uso e cobertura do solo, legislação ambiental, aptidão agrícola, fragilidade e conflitos de uso, como instrumento ao planejamento e gestão ambiental;

**Segundo etapa:** Estabelecimento de informações adequadas para administradores, planejadores e técnicos, através da análise integrada, utilizando como suporte as concepções da agronomia, associadas às geotecnologias;

**Terceira etapa:** Quantificação e análise das formas de uso e ocupação da bacia do rio Pequeno em associação com os dados de solo, declividade, aptidão agrícola e legislação, visando à geração de informações probabilísticas para o planejamento ambiental da região, a partir de árvores de probabilidades.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1 Localização da bacia do rio Pequeno

A área de estudo do presente trabalho compreende a bacia do rio Pequeno, que está localizada no município de São José dos Pinhais, Paraná, com área aproximada de 128 km<sup>2</sup>. A bacia ocupa 14% da área total do município. A Figura 2 apresenta a localização da área de estudo.

A bacia hidrográfica do Rio Pequeno (Figura 3) pertence à bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, tendo suas nascentes na região conhecida como mananciais da serra (porção ocidental do início da serra do mar), atravessando o norte do município de São José dos Pinhais, sudeste de Curitiba, Estado do Paraná. Está delimitada ao norte pela bacia do rio Itaqui, ao sul a bacia do rio Miringuava, a leste o relevo montanhoso da Serra do Mar e a oeste com o Rio Iguaçu. A orientação principal da drenagem se dá no sentido leste-oeste. Em sua porção sudoeste próxima a sede do município de São José dos Pinhais, apresenta um dos principais focos de expansão urbana da RMC (SANTOS, 2006).

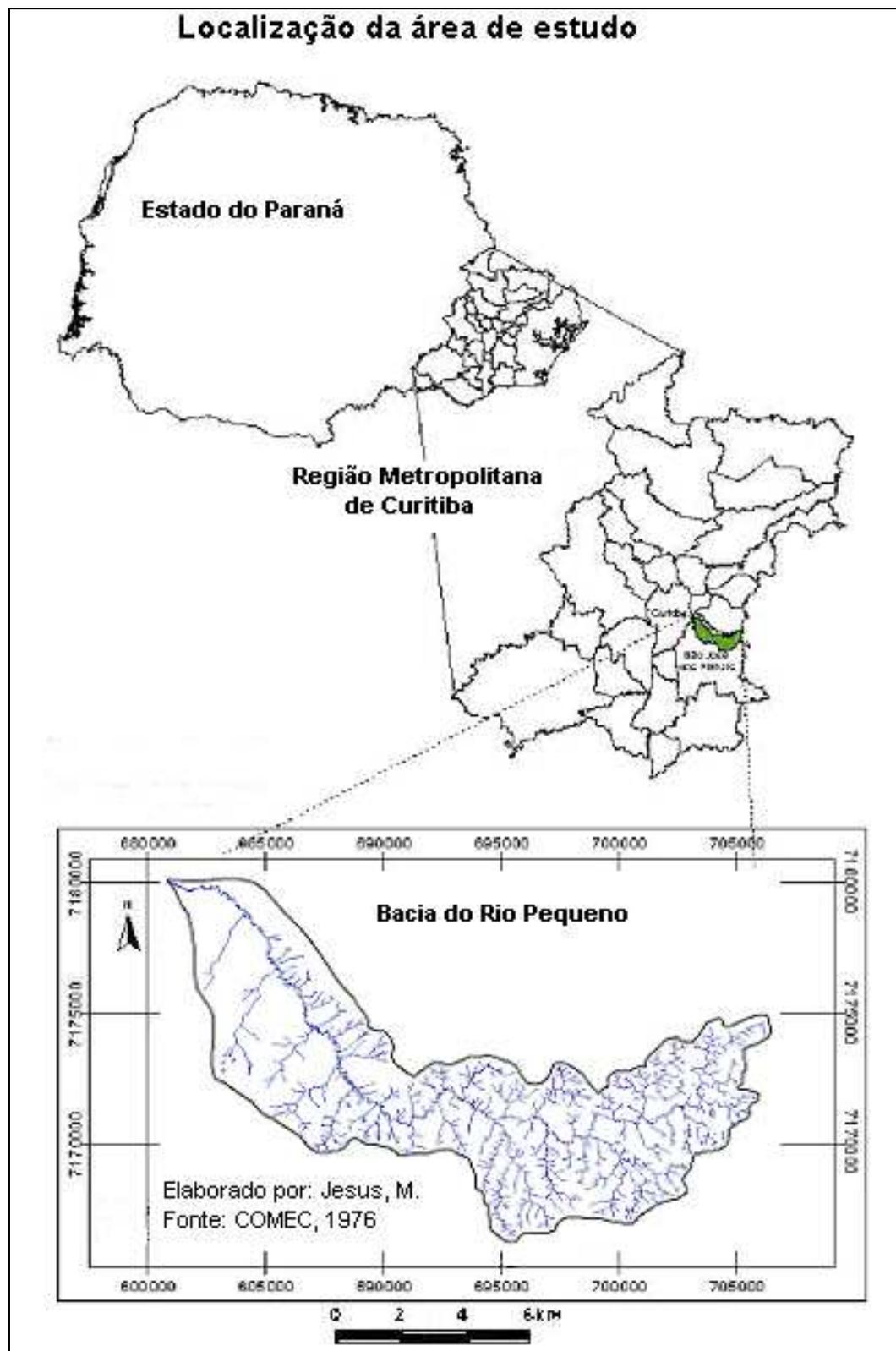


Figura 2 – Localização geográfica da Bacia do Rio Pequeno.

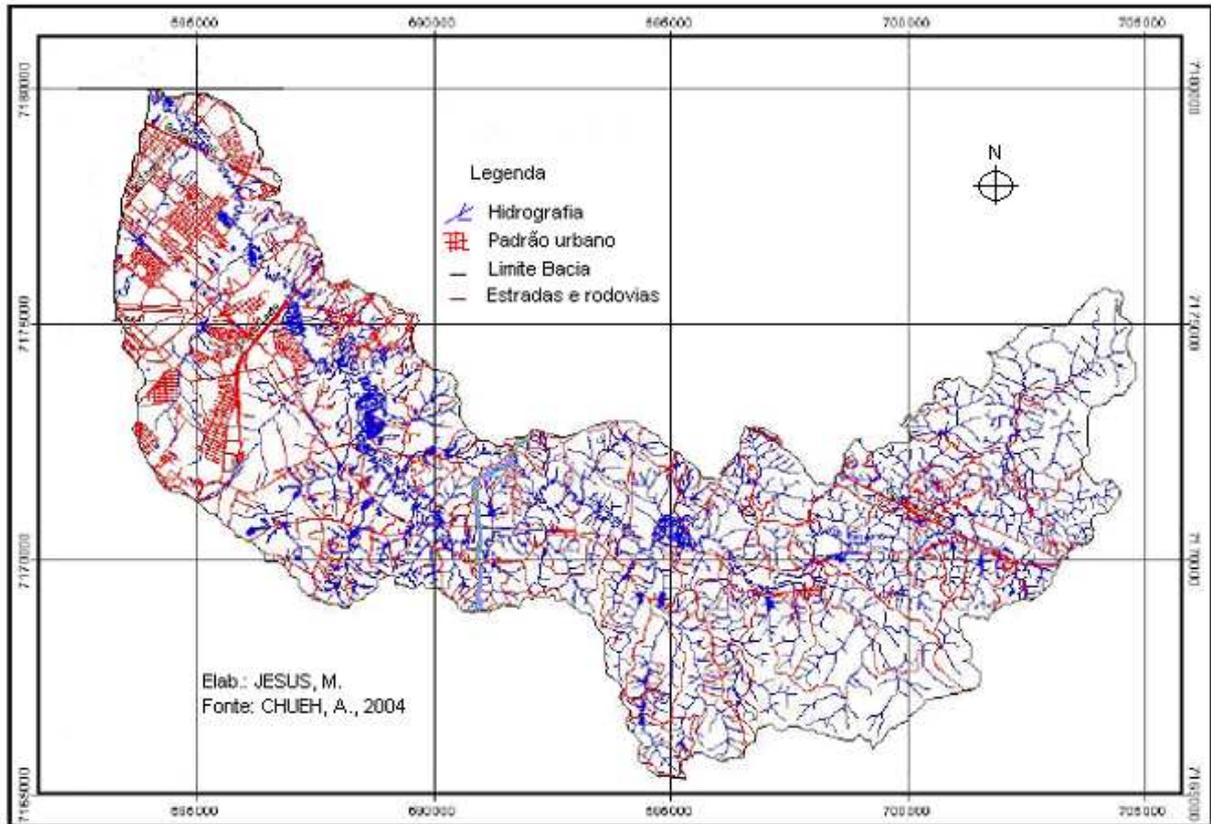


Figura 3 – Mapa da Bacia do Rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR.

#### 4.1.2 Solos da bacia do rio Pequeno

De acordo com classificação da EMBRAPA (1999), as classes e proporções dos solos encontrados na bacia do rio Pequeno são: **(a) C** – Cambissolo (17%); **(b) LVA** – Latossolo Vermelho-amarelo (23%); **(c) PVA** – Argissolo Vermelho-amarelo (27%); **(d) O** – Organossolo (32%); **(e) L** – Neossolo Litólico (1%). As proporções dos solos podem ser visualizadas na Figura 4.

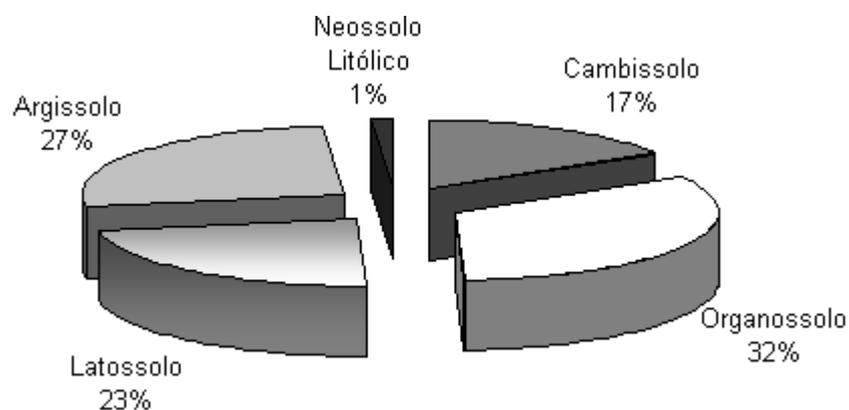


Figura 4 – Percentual das classes de solos da bacia do rio Pequeno.

O mapa disposto na Figura 5 mostra a distribuição espacial dos solos na bacia do rio Pequeno.

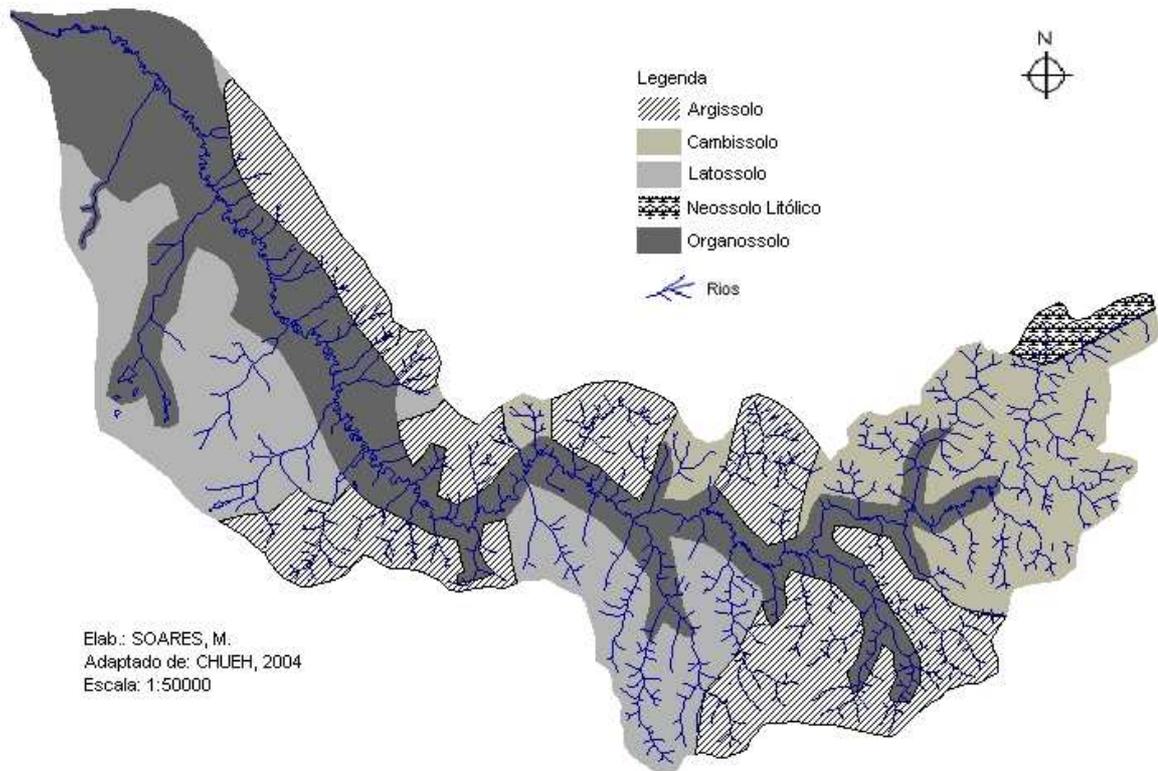


Figura 5 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno, reclassificado conforme o novo sistema brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA (1999).

De acordo com as considerações dispostas pela EMBRAPA (1999) e os dados levantados para os solos na bacia do rio Pequeno, pode-se verificar que: **(a)** Os cambissolos são pouco profundos e evoluídos, possuindo características morfológicas muito variadas de um local para outro, devido aos vários tipos de material de origem, relevo e clima. Estes solos ocorreram predominantemente em áreas de morros, montanhas e serras, em encostas com declividade acima de 20%. Encontram-se na parte central para leste da bacia, ocorrendo principalmente à presença de matas. Segundo SANTOS (2006), a atividade que mais se desenvolve na área é a criação de gado, que se explica pelo fato das declividades fortes não permitirem a utilização de maquinários na área rural. Desta forma o agricultor acaba utilizando as áreas contendo cambissolo apenas com atividades esparsas; **(b)** Os latossolos são solos em estágio avançado de intemperização, muito evoluídos, profundos e de boa drenagem, o que facilita na recarga gradativa do lençol freático e na manutenção da regularidade das vazões dos corpos d'água. Este tipo de solo dominou a parte central a oeste da bacia do rio

Pequeno em sua margem direita. Os latossolos geralmente são fortemente ácidos, e sua disposição no terreno está associada a áreas de relevo suave. Em função da boa drenagem que possuem e da fertilidade natural, este tipo de solo vem sendo utilizado no setor agrícola da bacia do Pequeno para o plantio de várias culturas agrícolas como o milho, trigo e soja (IBGE, 2006); **(c)** O argissolo compreende solos constituídos por material mineral, menos desenvolvidos, apresentando um gradiente textural acentuado e cerosidade suficientemente desenvolvida para caracterizar-se como B textural. Estes solos foram encontrados principalmente na parte central da bacia, com ocorrência bem significativa em sua classe (27%); **(d)** Os organossolos são solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico proveniente de acumulação de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambiente mal a muito mal drenados e saturados com água nas áreas alagadiças, devido à elevação do lençol freático. Foram encontrados margeando os rios da bacia do rio Pequeno; **(e)** O neossolo litólico é o solo com horizonte A ou O hístico, com menos de 40 cm de espessura, assentado diretamente sobre a rocha, horizonte C, Cr ou sobre material com mais de 90% (por volume) de sua massa constituída por fragmentos de rochas em diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), apresentando contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B, em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (CHUEH, 2004).

#### 4.1.3 Geologia da bacia do rio Pequeno

Segundo CHUEH (2004), as principais ocorrências geológicas da bacia hidrográfica do Pequeno, são (Figura 6): **(a) Formação Guabirotuba** – 18% do total da bacia, o que corresponde a 24 km<sup>2</sup> de área; **(b) Complexo Gnáissico Migmatítico** – 56% do total da bacia, correspondendo a 72 km<sup>2</sup> da área de estudo; **(c) Complexo Granítico Gnáissico** – 2% do total da área, correspondendo a 3 km<sup>2</sup> da área da bacia; **(d) Aluviões Atuais** – ocupa 23% do total da área da bacia, o que corresponde a uma área de 29 km<sup>2</sup>; **(e) Terraços Aluvionares** – ocupa apenas 1% do total da área da bacia, correspondendo a 1 km<sup>2</sup>.

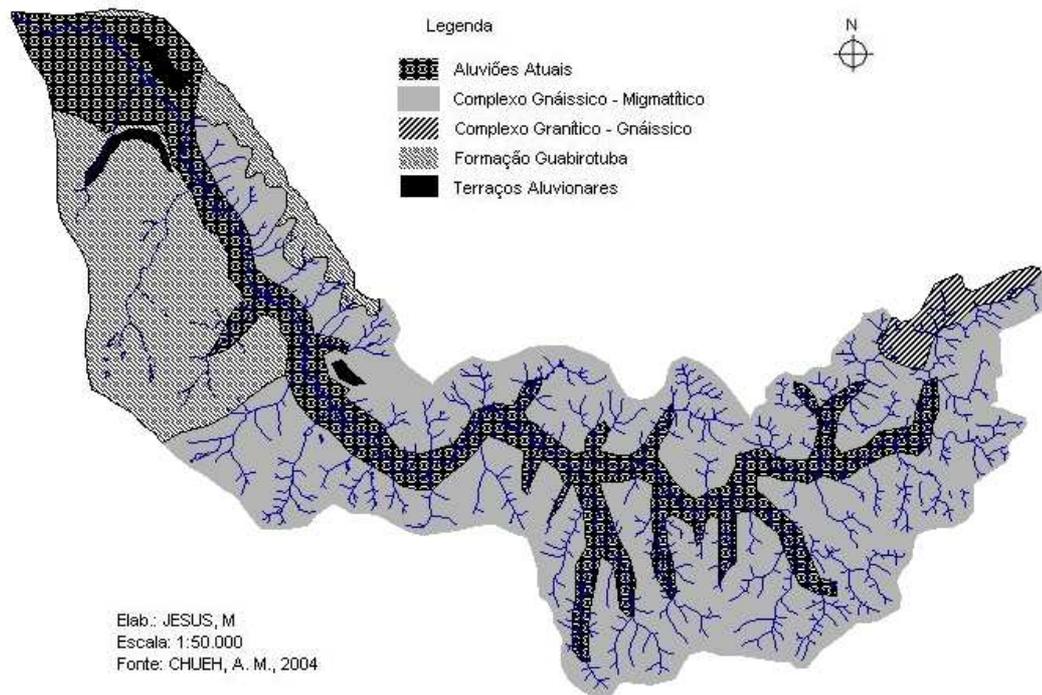


Figura 6 – Mapa geológico da bacia do rio Pequeno contendo as principais ocorrências geológicas.

A Formação Guabirotuba é predominante em todo baixo curso da bacia, sendo depositada em um ambiente propício ao surgimento de extensos leques aluvionais, marcados por canais meandantes de dimensões variadas, com circulação periódica de água, composta por sedimentos argilosos, intercalados com arenitos feldspáticos de granulação média a grossa, com seixos de quartzo, blocos e até matacões confinados entre as camadas argilosas do período pleistocênico ou pliopleistocênico, depositados em discordância sobre o cristalino (BIGARELLA e SALAMUNI, 1962<sup>4</sup> *apud* CHUEH, 2004).

O grupo formado pelo embasamento cristalino do Complexo Gnáissico Migmatítico do Proterozóico Inferior apresenta uma granulação variando entre média até muito fina, com migmatitos bandados com paleossoma de gnáisses anfibiólíticos e metamáficos e meta-ultramáficos; neossoma de composição quartzo-feldspática em injeções pegmatíticas, milonitos e blastomilonitos. Este grupo é predominante em todo alto e médio curso da bacia hidrográfica, com exceção de uma pequena área no alto curso, nas nascentes do rio Purgatório, onde ocorre a formação Complexo Granítico Gnáissico do Proterozóico Inferior com gnáisses graníticos ou granodioritos (CHUEH, 2004).

<sup>4</sup> BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba. Boletim da Universidade do Paraná, Curitiba, Inst. De Geologia, n.7, 1962.

Os aluviões são áreas de depósitos recentes de várzea, ocorridos no Holoceno. Os sedimentos depositados apresentam-se totalmente inconsolidados, originados e retrabalhados pela ação fluvial do rio Iguaçu e seus principais afluentes, entre eles o rio Pequeno, ocupando atualmente as áreas planas que configuram as várzeas dos mesmos e depositados em terraços, barras e ilhas junto à calha do rio principal e de seus afluentes maiores. Formados por argilas, argilas turfosas, siltes e areias que variam de finas a grosseiras, estão sobre os sedimentos do pleistoceno, são encontrados ao longo dos leitos dos cursos de água e ainda estão sofrendo processos de deposições de sedimentos (BIGARELLA e SALAMUNI, 1962 *apud* CHUEH, 2004).

Os terraços se acham presentes nos sedimentos holocênicos, que podem ser considerados típicos, que na realidade, são os baixos terraços fluviais dos afluentes de cabeceira do rio Iguaçu e compreendem os Terraços aluvionares, presentes no baixo curso da bacia, e que estão depositados sobre a Formação Guabirota (CHUEH, 2004).

#### **4.1.4 Clima na região da bacia do rio Pequeno**

De forma geral, segundo a classificação de Wladimir Köppen, o clima do Município de São José dos Pinhais classifica-se como Cfb – Clima subtropical úmido mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C (AGM, 2001). Chove o ano todo, com precipitações mensais superiores aos 60 mm, mesmo nos meses mais secos. De maneira geral, a umidade aumenta com a proximidade da Serra do Mar (IAPAR, 1994).

#### **4.1.5 Hidrografia da bacia do rio Pequeno**

Segundo a proposta de classificação da hierarquia fluvial de Strahler, o rio Pequeno apresenta hidrografia de 5º ordem e possui densidade de drenagem e de rios significativamente alta (BRISKI, 2004). As nascentes do canal principal encontram-se a uma altitude de aproximadamente 1.100 metros, enquanto que o encontro com o canal do qual é tributário está a aproximadamente 940 metros, proporcionando desnível de 160 metros, cujo gradiente de declive gira em torno de 6%. Trata-se de uma bacia assimétrica, onde as vertentes da margem esquerda possuem gradientes de inclinação mais fortes, predominando o relevo ondulado, enquanto na margem direita predominam áreas com relevo suave ondulado.

A diferença de declividade entre margens esquerda e direita pressupõe escoamento superficial diferenciado para cada margem da bacia do rio Pequeno.

#### **4.1.6 Vegetação na região da bacia do rio Pequeno**

Utilizando uma classificação generalizada, a área de estudo é compreendida por dois grandes agrupamentos vegetacionais, conforme dados da IBGE (1992): a oeste a Floresta Ombrófila Mista (FOM); e a leste a Floresta Ombrófila Densa (FOD). Também há grande ocorrência de campos e capões.

A FOM constitui-se de uma vegetação que está associada à altitude e que é caracterizada pela presença do Pinheiro Paraná. Dentro do Estado do Paraná esta vegetação ocorre em altitudes superiores a 500 metros, originando-se nas encostas do oeste da Serra do Mar, avançando pelo Primeiro Planalto e estendendo-se até o terceiro. No entanto esta vegetação foi praticamente toda devastada, existindo atualmente pequenos resquícios dos quais muitos já alterados pela exploração de seus recursos, por madeiras ou pela sua substituição por atividades agropecuárias (IBGE, 1992).

A FOD é uma vegetação ocorrente entre as divisas de São Paulo e Santa Catarina, nos contra-fortes orientais e ocidentais da Serra do Mar. Representa ainda grande diversidade e encontra-se em bom estado de conservação e preservação, em relação às demais áreas de formação vegetal do Estado do Paraná. Em suas encostas, as quais são denominadas de mata pluvial da vertente atlântica, varia imensamente em função de fatores como altitude e solo. Na parte litorânea, até cerca de 500 metros de altitude, são encontradas entre as espécies mais típicas das árvores, o guapuruvú, canela-nhutinga e o angico, uma das espécies com maior porte da região, além de inúmeras outras espécies (IBGE, 1992).

À medida que se aproxima da foz, do terço inferior do médio curso em diante, as características originais da floresta ombrófila mista estão totalmente alteradas, prevalecendo as variações das fases de sucessão vegetal mencionadas anteriormente. Normalmente ladeados por campos, os capões apresentam composições distintas, variando em conformidade com o estágio de desenvolvimento e as condições edáficas. As várzeas ou Formações Pioneiras com influência Fluvial em torno das florestas aluviais ao largo dos rios, são áreas planas e permanentemente alagadas, que funcionam como reguladoras do fluxo das águas dos rios para as terras contíguas no período das cheias. Desta forma, as várzeas são como reservatórios de contenção, sendo muito importantes à manutenção do equilíbrio hidrológico. Esta formação

ocorre no baixo e médio curso, no alto curso abrange pequenas áreas dos fundos de vales em que a declividade a favorece (CHUEH, 2004).

#### 4.1.7 Relevo

A bacia do rio Pequeno apresenta-se sob os domínios do Primeiro Planalto e da borda ocidental e oriental da Serra do Mar, Estado do Paraná. Segundo MAACK (1968) o recorte espacial localizado no Primeiro Planalto apresenta predominantemente relevo suave a suave ondulado, com topos de morros arredondados, vertentes com vales assimétricos, em forma de “U”, no curso médio dos rios e vales em “V”, aberto na grande maioria de suas nascentes. Tratando-se dos domínios estabelecidos no setor representado pela Serra do Mar, o relevo torna-se mais acidentado passando a ondulado e forte ondulado, com altitudes médias variando entre 900 e 1100 m acima no nível do mar. Apresenta picos e cristas significativas, em que se observa a ocorrência de vertentes retilíneas expressivas com vales em “V” fechado, com a maioria das nascentes dos rios ocorrendo nas maiores elevações, caracterizando drenagem energética que atua na modelagem das vertentes e vales (Figura 7).

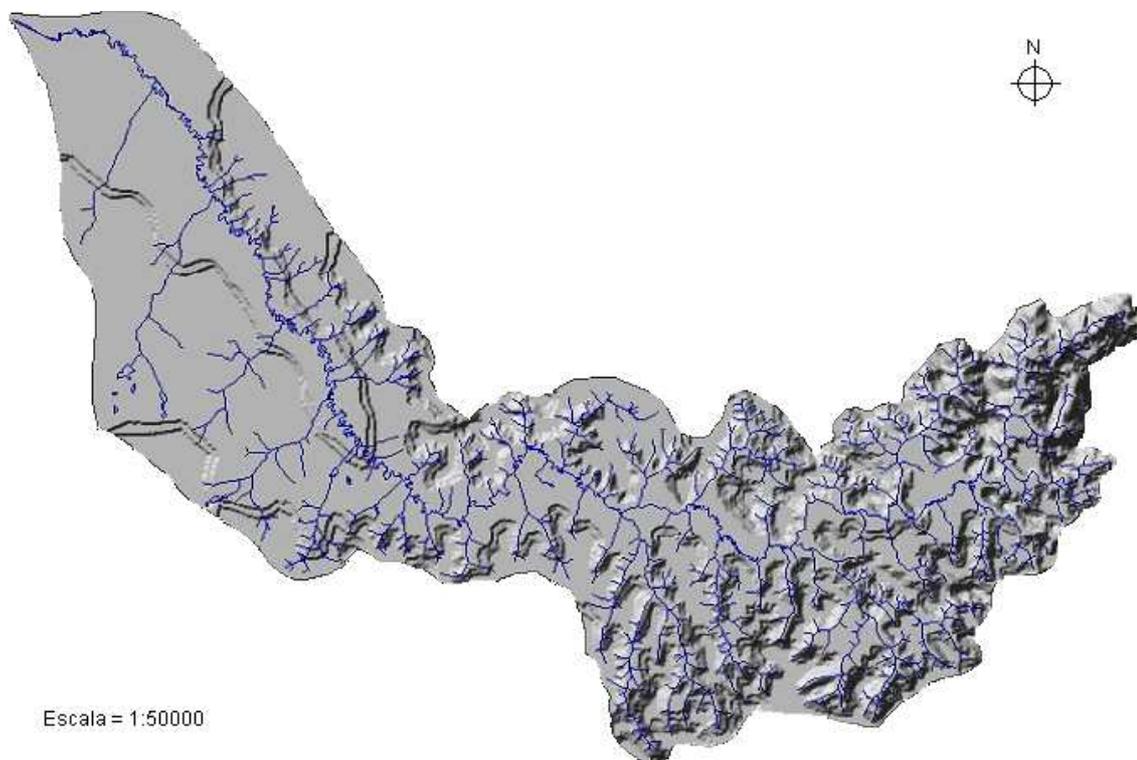


Figura 7 – Representação do relevo sombreado da bacia do Rio Pequeno.

#### 4.1.8 Determinação da Morfometria

Para a determinação da morfometria da bacia do rio Pequeno, foram levantados dados como: ordem de canais, de acordo com o esquema de ordenação de Strahler; número de canais; perímetro total da bacia; altitudes máxima, média e mínima; dimensão do perfil longitudinal total; diferença entre altitudes máxima e mínima da área drenada; diferença em metros ao longo do perfil longitudinal; e, área total da bacia. Estes dados foram utilizados para o cálculo de parâmetros morfométricos tais como: densidade hidrográfica; densidade de drenagem; gradiente de canais; relação de relevo; coeficiente de manutenção; índice de circularidade; e, índice de sinuosidade.

Neste estudo utilizou-se o método de Strahler para a determinação da hierarquia fluvial, sendo os segmentos de canais de 2ª ordem formados pela junção de dois segmentos de canais de 1ª ordem. Os segmentos de canais de 3ª ordem são formados pela junção de dois segmentos de canais de 2ª ordem e assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O processo de extração das variáveis numéricas para a bacia foram obtidas automaticamente, a partir de modelos numéricos de terrenos (MNTs), por meio de ferramentas disponíveis em grande parte do sistemas de informações geográficas (JESUS, 2004). Assim, utilizou-se o software SPRING para o levantamento das informações cartográficas digitais. Os parâmetros morfométricos referentes à análise linear da rede hidrográfica foram calculados com as seguintes fórmulas específicas recomendadas por CHRISTOFOLOTTI (1980):

– Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem ( $Rlm$ ),

$$Rlm = \frac{Lm_w}{Lm_{w-1}}$$

Sendo:  $Rlm$  – a relação entre os comprimentos médios dos canais (adimensional);  $Lm_w$  – o comprimento médio dos canais de determinada ordem (km);  $Lm_{w-1}$  – o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (km).

– Comprimento do rio principal: Distância da nascente mais distante até a foz (km).

– Extensão do percurso superficial ( $Eps$ ),

$$Eps = \frac{1}{2 \cdot Dd}$$

Sendo:  $Eps$  – a extensão do percurso superficial (km);  $Dd$  – a densidade de drenagem ( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ ).

– Gradiente dos canais  $G$ ,

$$G = \left(H - \frac{h}{L}\right) \cdot 100$$

Sendo:  $G$  – o gradiente dos canais (%);  $H$  – a altitude da nascente (m);  $h$  – a altitude da foz (m);  $L$  – a extensão do curso (km).

– Índice de sinuosidade ( $I_{sin}$ ),

$$I_{sin} = \frac{L}{Lt}$$

Sendo:  $I_{sin}$  – o índice de sinuosidade (adimensional);  $L$  – o comprimento do rio principal (km);  $Lt$  – o comprimento do eixo da bacia (km).

– Comprimento médio dos canais ( $Lm$ ),

$$Lm = \frac{Lu}{Nu}$$

Sendo:  $Lm$  – o comprimento médio dos rios (km);  $Lu$  – a extensão total dos rios (km);  $Nu$  – o número total de rios (quantidade).

As equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros morfométricos referentes à análise areal da rede hidrográfica foram:

– Área da bacia ( $A$ ): refere-se a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, fornecida em  $m^2$  ou  $km^2$ , principalmente.

– Forma da bacia ( $Ff$ ),

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Sendo:  $Ff$  – o fator forma (adimensional);  $A$  – a área da bacia ( $km^2$ );  $L$  – o comprimento do eixo (km).

– Índice de compacidade ( $K_c$ ),

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$$

Sendo:  $K_c$  – o índice de compacidade (adimensional);  $P$  – o perímetro da bacia (km);  $A$  – a área da bacia ( $km^2$ ).

– Densidade de rios ( $Dr$ ),

$$Dr = \frac{N}{A}$$

Sendo:  $Dr$  – a densidade de rios (rios·km<sup>-2</sup>);  $N$  – é o número de nascentes (quantidade);  $A$  – a área da bacia (km<sup>2</sup>).

– Densidade de drenagem ( $Dd$ ): correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica,

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

Sendo:  $Dd$  – a densidade de drenagem (km·km<sup>-2</sup>);  $Lt$  – o comprimento total dos canais (km);  $A$  – a área da bacia (km<sup>2</sup>).

– Coeficiente de manutenção ( $Cm$ ),

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$$

Sendo:  $Cm$  – o coeficiente de manutenção (m<sup>2</sup>·m<sup>-1</sup>);  $Dd$  – a densidade de drenagem (km·km<sup>-2</sup>).

As equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros morfométricos referentes à análise hipsométrica da rede hidrográfica foram:

– Amplitude altimétrica máxima da bacia ( $Hm$ ),

$$Hm = AN - AF$$

Sendo:  $Hm$  – a amplitude altimétrica máxima da bacia (m);  $AF$  – altitude da foz (m);  $NA$  – altitude do ponto mais alto do divisor topográfico (m).

– Relação de relevo ( $Rr$ ),

$$Rr = \frac{Hm}{Lb}$$

Sendo:  $Rr$  – a relação de relevo (m·m<sup>-1</sup>);  $Hm$  – a amplitude topográfica máxima (m);  $Lb$  – o comprimento da bacia (m).

– Índice de rugosidade ( $Ir$ ),

$$Ir = H \cdot Dd$$

Sendo:  $Ir$  – o índice de rugosidade (adimensional);  $H$  – a amplitude altimétrica (km);  $Dd$  – a densidade de drenagem (km·km<sup>-2</sup>).

– Textura topográfica ( $Tt$ ),

$$Tt = \frac{1,6582462}{Dd^{1,115}}$$

Sendo:  $Tt$  – a textura topográfica (adimensional);  $Dd$  – a densidade de drenagem ( $\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$ ).

## 4.2 MATERIAL UTILIZADO NO LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO DA BACIA DO RIO PEQUENO

Para realizar o levantamento das principais características do meio físico da Bacia do Rio Pequeno foram utilizados os seguintes materiais:

- Levantamento planialtimétrico em formato vetorial (DWG) com curvas de nível equidistantes de 5,0 metros, baseando-se em cartas na escala de 1:10.000 da COMEC, ano 1976;
- Informações geológicas de São José dos Pinhais, na escala 1:100.000 (CHUEH, 2004);
- Fotografias aéreas coloridas da SUDERHSA-PR, na escala aproximada de 1:30.000, do dia 20 de junho de 2000;
- Levantamento de Solos da Bacia do Rio Pequeno, na escala 1:100.000 (CHUEH, 2004);
- Duas imagens do satélite LANDSAT TM5, dos anos 2000 e 2006);
- Software SPRING versão 4.2 desenvolvido pelo INPE;
- Um computador Pentium IV, 500 mHz, 128 mHz de RAM, 20Gb
- Uma mesa digitalizadora Digigraf, modelo Van Gogh, tamanho A1;
- Um scanner de mesa tamanho A4.

## 4.3 ELABORAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS (ETAPA 1)

A Tabela 1 apresenta os planos de informações que foram cruzados para a elaboração dos mapas: APP – Legislação Ambiental; Conflito de Uso *versus* APP; Aptidão Agrícola das Terras; Conflito Preliminar de Aptidão Agrícola das Terras; Conflito Real de Aptidão Agrícola das Terras; Fragilidade potencial; e, Fragilidade Emergente.

Tabela 1. Mapas gerados e os planos de informação utilizados como base

Mapas Gerados	Planos de informação	
APP	Hidrográfico	Planialtimétrico
Conflito de Uso versus APP	APP	Uso e Cobertura do Solo
Aptidão Agrícola	Solos	Declividade
Conflito Preliminar de Aptidão Agrícola	Aptidão Agrícola	Uso e Cobertura do Solo
Conflito Real de Aptidão Agrícola	Conflito de Uso vs Aptidão Agrícola	Conflito de Uso versus APP
Fragilidade Potencial	Solos	Declividade
Fragilidade Emergente	Fragilidade Potencial	Uso e Cobertura do Solo

Para a execução das análises geo-espaciais dos dados, coletados na Bacia do Rio Pequeno e compilados de outras fontes, criou-se um banco de dados georreferenciados em ambiente SIG e utilizou-se de técnicas de Sensoriamento Remoto, para fazer a verificação da adequabilidade do uso da terra em relação às classes de aptidão agrícola de RAMALHO FILHO e BEEK (1994). O SPRING, um SIG que possui várias ferramentas que possibilita a entrada, integração, manipulação e cruzamento dos dados, além da saída dos resultados em formato digital e analógico, foi utilizado por permitir a composição de produtos temáticos cartografados, como base para análise e formulação de novos conceitos direcionados ao planejamento espacial (INPE, 2007).

A entrada dos dados georreferenciados no banco de dados da Bacia do Rio Pequeno se deu pela criação de um projeto delimitado pelas coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator):  $X_1 = 670000$ ;  $X_2 = 720000$ ;  $Y_1 = 7135000$ ;  $Y_2 = 7190000$ . Estas coordenadas compreendem o município de São José dos Pinhais-PR, pois se considerou o aspecto de vizinhança em relação à topografia e a drenagem da área de estudo. O modelo da terra de referência é o Datum Horizontal Córrego Alegre-MG.

#### 4.3.1 Modelos de dados utilizados

##### a) Modelo numérico do terreno (MNT)

A partir do levantamento planialtimétrico contendo as curvas de nível com equidistância de 5 metros gerou-se o modelo numérico do terreno (MNT). Esse modelo matemático contém a distribuição espacial e as características vinculadas à superfície real, destinando-se a representar a morfologia do relevo e servir de base na geração dos mapas de altitude e declividade, para determinar as análises da vulnerabilidade do solo em relação às inclinações do terreno. O modelo serviu também de apoio para a elaboração dos mapas de

aptidão agrícola e fragilidade ambiental. No SPRING um MNT foi criado na forma de uma grade de pontos regulares e irregulares, permitindo calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, e gerar: imagens sombreadas ou em níveis de cinza; mapas de declividade e aspecto; fatiamento nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

O processo de geração do modelo numérico do terreno (MNT) foi constituído a partir de três fases, seguindo as recomendações do INPE (2007):

- Aquisição dos dados pela digitalização da carta da COMEC (1976);
- Geração de grades retangular e triangular, que são modelos digitais que aproximam a superfície através destas representações, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno e preservar as feições geomórficas da superfície;
- Elaboração de produtos.

#### **b) Modelo Raster ou Matricial**

O modelo Raster ou Matricial foi utilizado para a extração de informações de uso de solo, a partir do conjunto de cenas aerofotogramétricas e do cruzamento dos dados matriciais advindos do mapeamento do uso do solo, mapeamento de classes de solo e mapa de declividade; este último a partir do MNT.

#### **c) Modelo vetorial**

Com o modelo Vetorial efetuou-se os delineamentos das feições estudadas, através da edição de pontos e linhas, por vezes transformados em polígonos a serem convertidos em dados raster.

### **4.3.2 Mapeamento da declividade do terreno**

O mapeamento da declividade do terreno destina-se a representar as inclinações do terreno, que contribui na determinação das áreas sensíveis, susceptíveis à erosão. Este mapa foi confeccionado utilizando as seguintes classes temáticas de passos variáveis: 0 a 6%, 6% a 12%, 12% a 20%, 20% a 30% e maior que 30%, para as cartas de aptidão agrícola das terras e fragilidade potencial.

### 4.3.3 Mapeamento do uso do solo

Para a elaboração da carta de uso e cobertura do solo foi realizada a classificação supervisionada, ferramenta do *software* SPRING, realizada sobre as imagens de satélite dos anos de 2000 e 2006. O procedimento para esta classificação consistiu-se no levantamento de informações sobre as formas de utilização atual, por visitas a campo, e na transferência destas informações para o *software* através da distribuição de retângulos que representam os temas específicos da cobertura sobre as imagens. Por meio do comportamento espectral, a leitura deste pixel foi extrapolada para toda a imagem ficando a imagem classificada com os temas que foram anteriormente interpretados e que foram identificados a campo.

O interpolador utilizado na elaboração da carta de uso e cobertura do solo foi o “máxima verossimilhança (maxver)” que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Os temas obtidos nas cartas de uso e cobertura do solo foram: Agricultura; Área urbana; Água ou banhado; Florestas ou áreas seminaturais; Silvicultura; Campo ou pastagem; e, Solo exposto.

### 4.3.4 Mapa de Solos

A Carta de Solos foi digitalizada utilizando o *software* AutoCad 2002, versão 15.3, e mesa digitalizadora, baseado no levantamento de CHUEH (2004), adaptado à escala 1:50.000. Neste processo foram apresentadas as classes pedológicas, sendo possível relacionar ao modelo de terreno (altimetria e declividade), juntamente com o tipo de uso e cobertura do solo.

### 4.3.5 Mapeamento das Classes de Aptidão Agrícola

No presente estudo, seguiu-se os princípios e fundamentos do sistema de interpretação desenvolvido pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, do Ministério da Agricultura, atualmente Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS), da EMBRAPA, na qual baseou-se a metodologia de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994). Este sistema de avaliação fundamenta-se nas condições agrícolas das terras, visando à identificação do uso mais intensivo possível de práticas agrícolas sob diferentes níveis tecnológicos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras segundo RAMALHO FILHO e BEEK (1994).

Classe de aptidão agrícola	Tipo de utilização					
	Lavoura		Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural	
	----- Nível de manejo -----					
	A	B	C	B	B	A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)

Assim, a fim de apresentar as alternativas de uso, as terras foram posicionadas dentro de seis grupos, em função da viabilidade de melhoramento de quatro das cinco qualidades básicas apresentadas na metodologia, sendo: excesso de água, deficiência de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. A fertilidade natural não foi levada em consideração neste estudo, tendo em vista que os dados dispostos pela Embrapa foram insuficientes ao nível de especificidade da bacia do rio Pequeno.

Os indicadores excesso e deficiência de água foram levantados com base nos dados de solos da EMBRAPA (1984) para o município de São José dos Pinhais, com características semelhantes aos solos pertencentes à bacia do rio Pequeno. A susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização foram determinados com base principalmente na inclinação e pedregosidade do terreno, nas características dos solos da bacia bem como suas classes de declividade. Foi levada em consideração também a intensidade de limitação que persistir após a utilização de práticas agrícolas inerentes ao baixo nível tecnológico (A), médio nível tecnológico (B) e alto nível tecnológico (C). Foi realizada uma adaptação na metodologia em relação ao fatiamento das classes de declividades, sendo: (a) 0 a 6% – relevo plano a suave ondulado; (b) 6% a 12% – relevo suave ondulado a moderadamente ondulado; (c) 12% a 20% – relevo moderadamente ondulado a ondulado; (d) 20% a 30% – relevo ondulado a forte ondulado; (d) Acima de 30% – relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado. A adaptação disposta foi necessária a fim de permitir a associação entre as metodologias aptidão agrícola das terras e fragilidade ambiental, principalmente na geração das árvores de probabilidades, conforme será visto posteriormente.

Para a elaboração da carta de Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Pequeno, elaborou-se uma matriz, que se encontra apresentada na Tabela 3. Levou-se em consideração os fatores limitantes ao uso agrícola e as possíveis viabilidades de melhoramento destas condições.

Tabela 3. Matriz utilizada para a determinação da aptidão agrícola das terras.

Tipos de solos	Declividade	Classificação Final**
C – Cambissolo	0 a 6%	2(ab)c
	6 a 12%	2(ab)c
	12 a 20%	3(abc)
	20 a 30%	4P
	>30%	6
LVA – Latossolo Vermelho-amarelo	0 a 6%	1(a)bC
	6 a 12%	1(a)bC
	12 a 20%	2(a)bc
	20 a 30%	3(abc)
	>30%	6
O – Organossolo	0 a 6%	
	6 a 12%	6
	12 a 20%	
	20 a 30%	
	>30%	
L – Neossolo Litólico	0 a 6%	
	6 a 12%	6
	12 a 20%	
	20 a 30%	
	>30%	
PVA – Argissolo Vermelho-amarelo	0 a 6%	1aBC
	6 a 12%	2abc
	12 a 20%	3(abc)
	20 a 30%	5s
	>30%	6

## \*\* Legenda:

- 1aBC – Terras pertencentes à classe de aptidão regular para lavouras no nível de manejo A e boa nos níveis B e C;
- 1(a)bC – Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras no nível de manejo A, regular no nível B e boa no nível C;
- 2abc – Terras pertencentes à classe de aptidão regular para lavouras nos níveis de manejo A, B e C;
- 2(ab)c – Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras nos níveis de manejo A e B e regular no nível C;
- 2(a)bc – Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras no nível de manejo A e regular nos níveis B e C;
- 3(abc) – Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras nos níveis de manejo A, B e C;
- 4P – Terras pertencentes à classe de aptidão boa para pastagem plantada;
- 5s – Terras pertencentes à classe de aptidão regular para silvicultura;
- 6 – Terras sem aptidão para o uso agrícola.

#### **4.3.6 Fundamentação legal das Áreas de Preservação Permanente (APPs)**

A metodologia utilizada para a execução do mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APPs) se baseou na Lei Federal nº 4.771, de 1965, que institui o Código Florestal Brasileiro e Resoluções CONAMA Nº 04/1985 e Nºs 302 e 303/2002 (BRASIL, 2007). Em acordo com os critérios estabelecidos na legislação, as áreas protegidas foram mapeadas seguindo metodologia específica para cada uma das classes descritas na Resolução CONAMA 303/2002, que se caracteriza em preservar a vegetação do entorno dos rios e nascentes.

##### **a) Tratamento prévio dos dados de base**

A partir do tratamento prévio das camadas de informações geográficas contendo os dados topográficos de altimetria, declividade, rede de drenagem, corpos d'água e divisores topográficos da bacia hidrográfica, efetuou-se o mapeamento das áreas protegidas, com a utilização de SIG. Essas informações foram inseridas no banco de dados através da vetorização de curvas de nível com equidistância de cinco metros, a partir da rede de drenagem. Os dados foram processados e gerou-se uma grade triangular com base na rede de drenagem como linhas de quebra. A partir daí gerou-se uma grade regular, com resolução espacial de dois metros, que corresponde ao Modelo Digital do Terreno (MDT). Com a rede de drenagem servindo de base, foram gerados mapas de distância, em metros, com valor zero, partindo da linha vetorial de drenagem e dos pontos correspondentes às nascentes, inseridos no ponto inicial de cada vertente. Com a utilização da grade MDT gerou-se grades de declividade, da qual foram extraídas uma classe de APP. Todo o tratamento foi realizado seguindo as recomendações de DIAS *et al.* (2005).

##### **b) Mapeamento de APPs de margens de rios**

Para a obtenção do mapa de APPs de margens de rios utilizou-se o mapa de distâncias da rede de drenagem, com faixas de distâncias de 50 metros (*Buffer*), em ambos os lados da drenagem, quando o rio apresentou largura superior a 50 metros (DIAS *et al.*, 2005).

##### **c) Mapeamento de APPs de nascentes**

O mapeamento das APPs de nascente foi obtido de forma semelhante ao mapeamento das APPs de margens de rios, porém utilizando-se como dado de entrada um plano de informação contendo somente os pontos correspondentes às nascentes. A partir daí foi gerado um mapa de distância com faixas de um metro a partir de cada ponto correspondente às

nascentes. Esse mapa foi fatiado com valor correspondente a 50 metros de raio a partir do ponto, resultando assim no mapa de APP Nascentes (DIAS *et al.*, 2005).

#### **d) Mapa de áreas protegidas**

Os dados obtidos individualmente no mapeamento de cada classe de APP foram posteriormente agrupados em um único plano de informação, obtendo-se assim, o Mapa de Áreas de Preservação Permanente sem que haja a sobreposição das áreas.

### **4.3.7 Determinação da fragilidade ambiental**

Para a determinação da Fragilidade Ambiental, representada pela Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente, seguiu-se a metodologia proposta por ROSS (1994), em que cinco classes foram estabelecidas e representadas por números de 1 a 5, sendo um para a classe Muito Baixa, e cinco, para a classe Muito Alta. Para as variáveis declividade e solo, a fragilidade é maior com o aumento do número-código.

#### **a) Fragilidade potencial**

A carta de Fragilidade Potencial foi obtida fazendo-se o cruzamento entre as classes de solos encontrados na bacia do rio Pequeno com as classes de inclinação do terreno, conforme apresentado nas Tabelas 4 e 5. Cinco classes de fragilidade variando de Muito Fraca (1) a Muito Forte (5) foram estabelecidas. O aumento do valor associado à classe indica o aumento da fragilidade (ROSS, 1994).

Tabela 4. Classes de fragilidade em função dos tipos de solos, proposta por ROSS (1994).

<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Tipos de Solos</b>
1. Muito Fraca	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo textura argilosa.
2. Fraca	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo textura média/argilosa
3. Média	Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa.
4. Forte	Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.
5. Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas.

Fonte: ROSS (1996)

Tabela 5. Classes de fragilidade do meio físico para estudos ambientais, em função da declividade, proposta por ROSS (1994).

Classes de Fragilidade	Classes de Declividade
1. Muito Baixa	Até 6%
2. Baixa	De 6% a 12%
3. Média	De 12% a 20%
4. Alta	De 20% a 30%
5. Muito Alta	Acima de 30%

Fonte: ROSS (1996)

Utilizou-se também a operação *A and B* da lógica *booleana*, relacionada a uma matriz (Tabela 6) bidimensional, indicando qual o grau de estabilidade ou instabilidade que pode apresentar o relevo.

Tabela 6. Matriz para a determinação da Fragilidade Potencial.

Solos	Declividade				
	0 a 6% (1)	6% a 12% (2)	12% a 20% (3)	20% a 30% (4)	> 30% (5)
Cambissolo (4)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Latossolo (1)	1 (Muito Baixa)	2 (Baixa)	3 (Média)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Organossolo (5)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)
Neossolo Litólico (5)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)
Argissolo (4)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)

Adaptado de ROSS (1994).

### b) Fragilidade emergente

A carta de Fragilidade Emergente foi obtida utilizando as classes de Fragilidade Potencial (Item 4.3.7a), que apontam as áreas com maior ou menor probabilidade de desencadear processos de instabilização natural. Procedeu-se assim o cruzamento com as informações atuais das principais classes de uso e cobertura do solo da bacia do rio Pequeno (Tabela 7). Para as variáveis uso e cobertura, os códigos mais altos expressam os menores graus de proteção.

Tabela 7. Graus de proteção dos solos em relação à cobertura vegetal.

<b>Graus de Proteção</b>	<b>Tipos de Cobertura Vegetal</b>
1. Muito Alta	Florestas/Matas Naturais, Florestas Cultivadas com Biodiversidade.
2. Alta	Formações Arbustivas Naturais com Estrato Herbáceo Denso. Formações Arbustivas Densas (Mata Secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata Homogênea de Pinus Densa. Pastagens Cultivadas sem Pisoteio de Gado. Cultivos de Ciclos Longos como o Cacau.
3. Média	Cultivos em Ciclos Longos com Curvas de Nível/Terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagem com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4. Baixa	Cultura de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
5. Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: ROSS (1994)

As informações obtidas foram programadas utilizando-se a operação *A and B* do LEGAL, resultando nas classes de fragilidade, variando de Muito Baixa (1) a Muito Alta (5) (INPE, 2007), conforme exposto na matriz de correlação da Tabela 8.

Tabela 8. Matriz para a determinação da Fragilidade Emergente\*.

<b>Usos (Graus de Proteção)</b>	<b>----- Fragilidade Potencial -----</b>				
	<b>Muito Baixa (1)</b>	<b>Baixa (2)</b>	<b>Média (3)</b>	<b>Alta (4)</b>	<b>Muito Alta (5)</b>
Agricultura (4 – Baixo)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Campo/Pastagem (3 – Médio)	3 (Média)	3 (Média)	3 (Média)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Água/banhado (1 – M. Alto)	1 (Muito Baixa)	2 (Baixa)	3 (Média)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Área Urbana (5 – M. Baixo)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)
Floresta natural (2 – Alta)	2 (Baixa)	2 (Baixa)	3 (Média)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Silvicultura (3 – Médio)	3 (Média)	3 (Média)	3 (Média)	4 (Alta)	5 (Muito Alta)
Solo Exposto (5 – M. Baixo)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)	5 (Muito Alta)

\*Adaptado de ROSS (1994).

## **4.4 ANÁLISE GEO-ESPACIAL DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO ELABORADOS (ETAPA 2)**

### **4.4.1 Potencial de uso agrícola das terras**

O potencial de uso das terras foi determinado a partir das informações de áreas de APPs e de aptidão agrícola. As classes de aptidão agrícola das terras devem ser acrescidas das áreas de preservação permanente, correspondentes à classe 6, destinada à preservação ambiental, ou seja, sem aptidão agrícola. Neste sentido as áreas de APPs previstas na legislação ambiental supra citada devem sobrepor quaisquer classes de aptidão agrícola. O procedimento para esta determinação consistiu na sobreposição do plano de informação contendo as APPs ao plano de informação de aptidão agrícola das terras.

### **4.4.2 Fragilidade ambiental e potencial de uso agrícola das terras**

As informações de fragilidade ambiental foram confrontadas com as informações de potencial agrícola das terras para a determinação do zoneamento de uso final. As áreas com fragilidade ambiental alta e muito alta devem ser preservadas, não exploradas economicamente e nem urbanizadas para evitar a sobre exploração de áreas sensíveis. Para a determinação deste zoneamento utilizou-se o mapa de potencial agrícola das terras e suas recomendações confrontadas com as classes de fragilidade ambiental emergente. O procedimento foi realizado em ambiente SIG utilizando-se a ferramenta LEGAL do SPRING.

### **4.4.3 Carta de conflito de uso atual**

As classes de conflito de uso atual ocorrem pela análise da adequabilidade do uso das terras, constituindo no cruzamento de planos de informação específicos que visam gerar resultados numéricos e espaciais. A carta de conflito do uso atual foi gerada a partir da determinação das seguintes classes de mapeamento para identificar a forma de utilização da área de estudo, dispostas nas Tabelas 9 e 10: (a) acordo (máxima utilização) e desacordo (sobre utilização) quando do confronto com APP; e, (b) acordo (máxima utilização), desacordo (sobre utilização) e aceitável (sub-utilização) quando do confronto com aptidão agrícola.

Tabela 9. Matriz para a determinação do conflito de Uso e Ocupação *versus* APP.

Uso	Legislação Ambiental – APP
	50 metros ao redor dos rios e nascentes
Agricultura	DESACORDO
Campo ou Pastagem	DESACORDO
Água ou Banhado (várzea)	ACORDO
Área urbana	DESACORDO
Floresta natural	ACORDO
Silvicultura	DESACORDO
Solo exposto	DESACORDO

Os resultados desta classificação foram decorrentes do cruzamento entre as classes de uso do solo, em confronto com as classes de APPs e aptidão agrícola das terras por meio da operação *booleana* lógica do tipo *A and B*.

Tabela 10. Matriz para a determinação do conflito de Uso e Ocupação *versus* Aptidão Agrícola das Terras.

Usos	----- Aptidão Agrícola -----			
	Agricultura	Pastagem	Silvicultura	Preservação
Agricultura	ACORDO	DESACORDO	DESACORDO	DESACORDO
Campo ou Pastagem	ACEITÁVEL	ACORDO	DESACORDO	DESACORDO
Floresta natural	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACORDO
Reflorestamento	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACORDO	DESACORDO
Área urbana	DESACORDO	DESACORDO	DESACORDO	DESACORDO
Solo exposto	DESACORDO	DESACORDO	DESACORDO	DESACORDO
Água ou Banhado (várzea)	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACORDO

Em relação à fragilidade ambiental, o confronto é realizado automaticamente quando se determina a fragilidade emergente, por esta levar em consideração o uso atual (Tabela 8).

#### 4.5 ASSOCIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EMPREGANDO ÁRVORES DE PROBABILIDADE (ETAPA 3)

As análises empregando árvores de probabilidade foram realizadas fazendo a associação entre:

- Classes de declividade, Classes de solo e Uso e Ocupação do solo;
- Legislação Ambiental (APP) e Uso e Ocupação do solo;
- Aptidão agrícola com APP e Uso e ocupação do solo.

O levantamento dos percentuais de ocorrência de cada associação foi realizado fazendo-se o cruzamento dos planos de informação, utilizando-se o *software* SPRING –

ferramenta LEGAL. As árvores de probabilidade da natureza e interessado, das associações mencionadas acima, foram construídas e calculadas com o auxílio de uma planilha eletrônica, seguindo as recomendações de CAIXETA-FILHO (2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PEQUENO

A Figura 8 apresenta as diferentes formas de uso e ocupação do solo da bacia do rio Pequeno, que possui área aproximada de 128 km<sup>2</sup>. Verificou-se que o padrão urbano se concentra próximo à foz, no encontro das águas do Rio Pequeno com o rio Iguazu, margeando as rodovias BR 277 e Contorno Leste, e áreas próximas ao aeroporto internacional Afonso Pena.

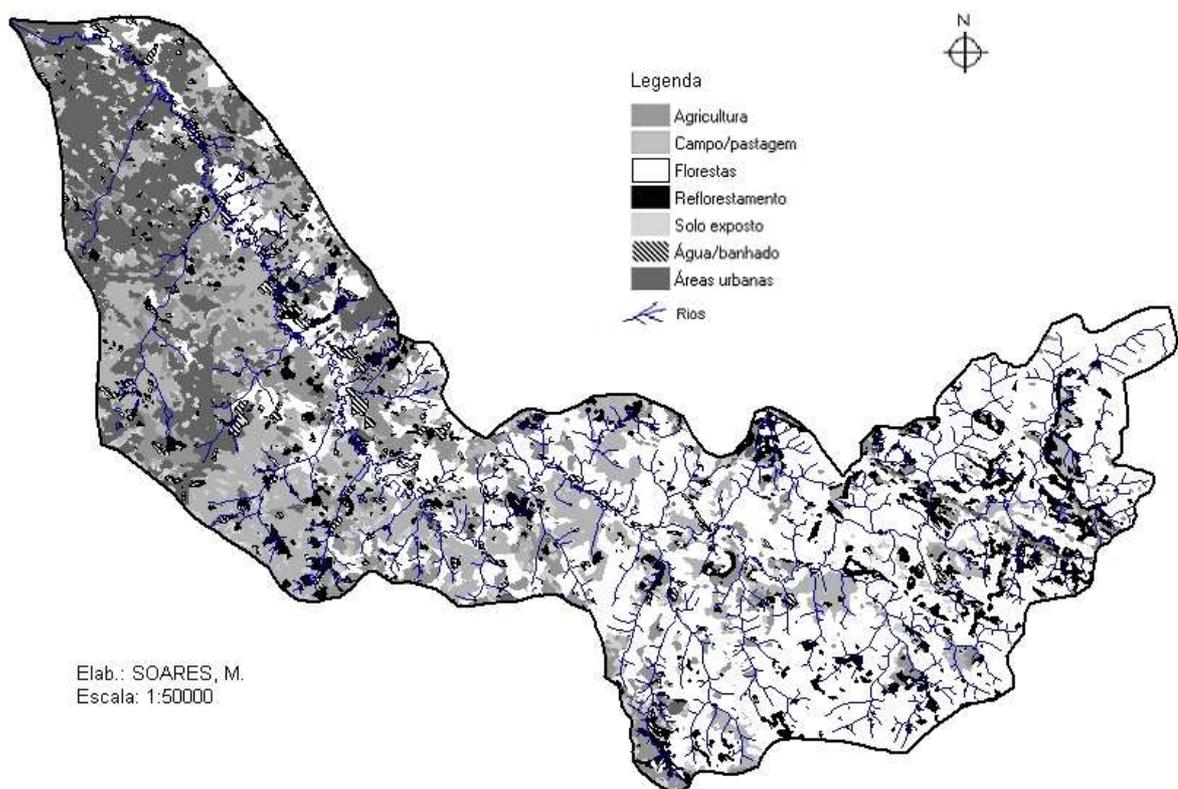


Figura 8 – Carta das classes de uso do solo da bacia do rio Pequeno.

A Tabela 11 apresenta a evolução ocorrida no período compreendido entre os anos 2000 a 2006.

Tabela 11. Principais classes de uso e ocupação da bacia do rio Pequeno, nos anos de 2000 e 2006, em relação à área total da bacia.

Usos	Ocupação da bacia (%)		Variação entre 2000 e 2006 (%)
	2000	2006	
Agricultura	11	15	+ 4
Campo ou pastagem	18	16	- 2
Florestas ou Áreas seminaturais	54	43	- 11
Silvicultura	1	6	+ 5
Áreas urbanas	10	12	+ 2
Solo exposto	4	5	+ 1
Água ou Banhado (várzea)	2	3	+ 1
Total	100	100	0

Em relação à Agricultura e Silvicultura da área praticada no ano de 2000 (Tabela 11), pode-se notar que houve aumento de uso das classes em +4% e +5%, respectivamente. Assim, parte da área que em 2000 era ocupada com Florestas ou Áreas seminaturais, apresentou em 2006 redução de 11%, fato que torna a área sensível pela sua exposição aos processos erosivos. As áreas de uso agrícola ou atividades agropecuárias estão espalhadas por toda a bacia, mas se concentram nas ocorrências de declividade entre 0 e 6%, associadas à Organossolo (5%) e Latossolo (4%). Desta forma, as atividades agrícolas predominam no baixo curso do rio Pequeno e, embora a área apresente densidade de drenagem menor que em outros setores, o predomínio do cultivo de lavouras e roçados pode trazer impactos negativos significativos ao ambiente, dada à intensidade da produção agrícola em solo frágil (Organossolo). A maioria da produção Agrícola está voltada a culturas anuais, com ciclos curtos, em que se destacam as produções de hortaliças, além de milho, trigo e soja. Já na Silvicultura o cultivo é voltado para a produção de lenha e madeira destinada à indústria de papel e celulose (IBGE, 2008).

A Urbanização aumentou 2% no período, e a porção de Solo exposto, decorrente dos processos de construções civis e instalações industriais, obteve aumento de 1% em sua classe. A concentração de Solo exposto, assim como de padrões Urbanos, ocorreu no terço médio a inferior da bacia do rio Pequeno, junto à foz e nas proximidades das áreas ribeirinhas sobre Organossolo (55%) e Latossolo (33%) associados à baixa declividade, ou seja, até 6% de inclinação. O primeiro solo é considerado de alta fragilidade, mal drenado, de coloração

escura e pouco evoluído, mas o segundo é considerado um solo bem desenvolvido e de fragilidade baixa. O Organossolo exige maior proteção e conservação. Esta evolução é preocupante, devido aos riscos à ocupação humana, principalmente pela vulnerabilidade a enchentes e deslizamentos de terra. Além disso, o percentual de áreas com florestas diminuiu significativamente no período considerado (-11%), que deu lugar aos cultivos Agrícolas e Silvicultura, que juntos obtiveram aumento de +8%, tornando a área ainda mais sensível aos processos de instabilidade ambiental.

As áreas Alagadiças somaram 3% do total da área da bacia e estão presentes ao longo do curso do rio principal da bacia, na maioria das vezes associada à vegetação de pequeno porte ou arbustiva, e à vegetação herbácea.

As classes de altitude da bacia do rio Pequeno encontram-se compreendidas entre 800 e 1.100 metros de altitude e podem ser visualizadas no mapa de altimetria da bacia, apresentado na Figura 9.

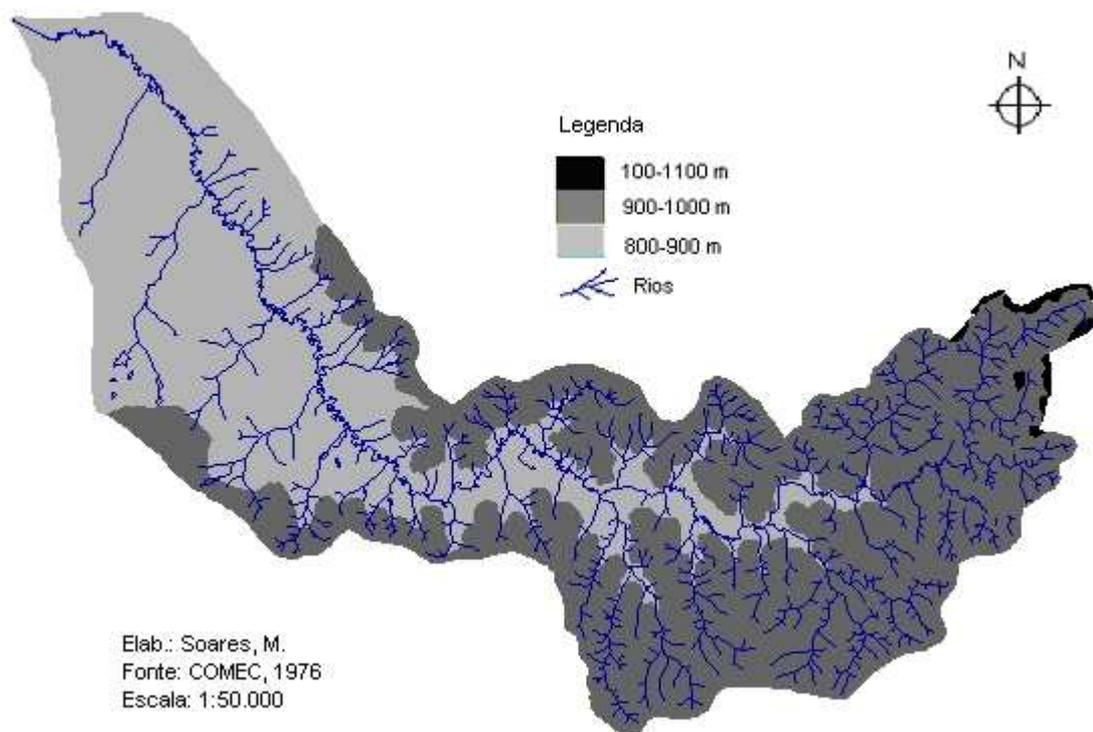


Figura 9 – Mapa das classes de altitude da bacia hidrográfica do rio Pequeno.

A classe de altitude de maior ocorrência na bacia hidrográfica do Pequeno está compreendida entre 900 e 1.000 metros, com 53% da área, seguida da classe entre 800 e 900 metros, com 46,05%. A classe compreendida entre 1000 e 1.100 metros é pouquíssima

representada, contendo menos de 0,05% do total, estando compreendida no terço superior da área da bacia (Figura 9).

As informações referentes à inclinação do terreno serviram de base para a elaboração das cartas de aptidão agrícola das terras, fragilidade ambiental e árvores de probabilidade. Com base nisso, elaborou-se o mapa de declividade da bacia do rio Pequeno, apresentado na Figura 10.

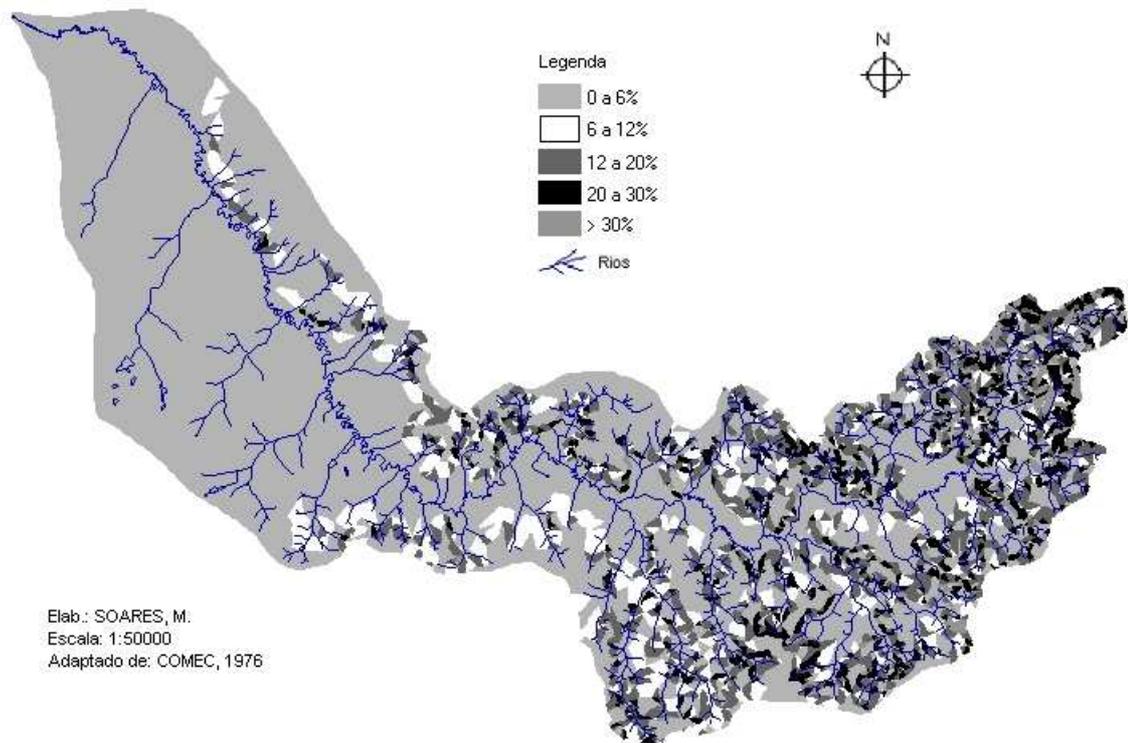


Figura 10 – Mapa das classes de declividade da bacia hidrográfica do Pequeno.

As proporções das cinco classes de declividade constituídas para a bacia do rio Pequeno podem ser visualizadas na Figura 11.

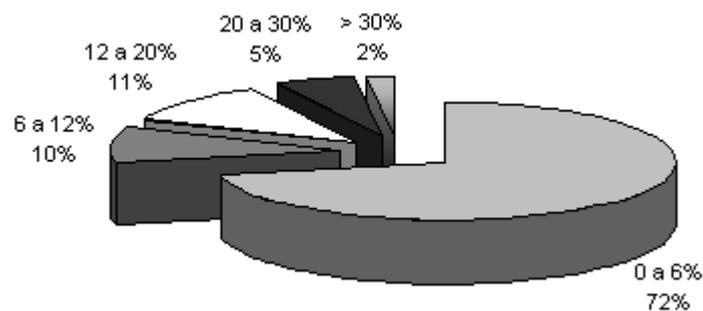


Figura 11 – Percentual das classes de declividade da bacia hidrográfica do Pequeno.

A classe de declividade de maior representatividade na bacia hidrográfica do Pequeno ficou compreendida entre 0 e 6%, com 72% do total da área, seguida da classe 12% a 20%, com 11%, e classe 6% a 12%, com 10% (Figura 11). As classes compreendidas entre 20% e 30% e maior do que 30%, representaram apenas 5% e 2%, respectivamente. O relevo mais suave foi verificado na parte central da bacia, com depósitos aluvionares e colinas amplas arredondadas e vertentes côncavo-convexas. Os maiores depósitos aluvionares foram verificados a sudoeste da bacia, com várzeas de inundação, vertentes longas de baixa declividade, na confluência com o Rio Iguaçu. À oeste, margeando as planícies de inundação, ocorrem colinas aplainadas com vertentes longas de baixa declividade. Segundo SANTOS (2006), as regiões de planície aluvionares ao longo das margens do rio apresentaram baixa declividade (menor que 3%), drenabilidade deficiente, com grandes superfícies permanentemente encharcadas, propensas a inundações freqüentes e de longa duração.

## 5.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Morfometria de drenagem é um tipo de avaliação quantitativa que privilegia, como objeto de análise, as informações físico-naturais presentes na estrutura morfológica de uma bacia hidrográfica. Nesta lógica, o arranjo estabelecido entre a área da bacia ou setores que a compõem, o número de canais existentes e o gradiente altimétrico, são alguns dos elementos que a metodologia leva em consideração (RINCO e MENEZES, 2007).

Com o intuito de calcular os índices para a caracterização da bacia do rio Pequeno, foram obtidos os dados relacionados nas Tabelas 12 e 13 e Figura 12.

A bacia do rio Pequeno possui 128 km<sup>2</sup> de área de drenagem, 23,2 km de eixo e 72,7 km de perímetro (Tabela 12). A altitude da bacia variou de 800 m a 1.100 m. Verificou-se uma hierarquia fluvial de 5ª ordem pela classificação de Strahler (Figura 12). A bacia apresentou 758 segmentos com extensão total de 337 km, sendo: 157 km de extensão para os 580 segmentos de primeira ordem; 79 km para 136 segmentos de segunda ordem; 39 km para 33 segmentos de terceira ordem; 13 km de extensão para oito segmentos de quarta ordem; e 49 km de extensão para o segmento de quinta ordem (Tabela 13).

Tabela 12. Características físicas (areal, linear e hipsométrica) da bacia do rio Pequeno.

<b>Dados Obtidos</b>	<b>Bacia</b>
Ordem da bacia	5 <sup>a</sup>
Perímetro	72,72 km
Área de drenagem	128,68 km <sup>2</sup>
Eixo da bacia	23,2 km
Comprimento do canal principal	56,4 km
Comprimento médio dos canais	0,44 km
Densidade de drenagem	2,61 km · km <sup>-2</sup>
Densidade de rios	4,51 rios · km <sup>-2</sup>
Extensão percurso superficial	0,19 km
Índice de sinuosidade	2,43
Relação de relevo	10,32 km · km <sup>-1</sup>
Índice de rugosidade	783
Coefficiente de manutenção	383,14 m <sup>2</sup> · m <sup>-1</sup>
Textura topográfica	0,5689
Fator forma	0,24
Índice de compacidade	1,8
Altitude máxima	1100 m
Altitude mínima	800 m
Amplitude altimétrica	300 m
Comprimento total dos canais	337 km
Número de canais	758
Gradiente canal principal	0,53%
Gradiente canais margem direita	0,16%
Gradiente canais margem esquerda	0,30%

Tabela 13. Dados morfométricos da bacia do rio Pequeno, segundo HORTON (1945)

<b>Ordem</b>	<b>Número de segmentos</b>	<b>Relação de bifurcação</b>	<b>Comprimento médio dos canais de cada ordem</b>	<b>Relação entre comprimento médio dos canais</b>
1 <sup>a</sup>	580	—	0,27 km	—
2 <sup>a</sup>	136	4,26	0,58 km	2,15
3 <sup>a</sup>	33	4,12	1,17 km	2,02
4 <sup>a</sup>	8	4,13	1,61 km	1,38
5 <sup>a</sup>	1	8	49,01 km	30,44
Total	758		52,37 km	

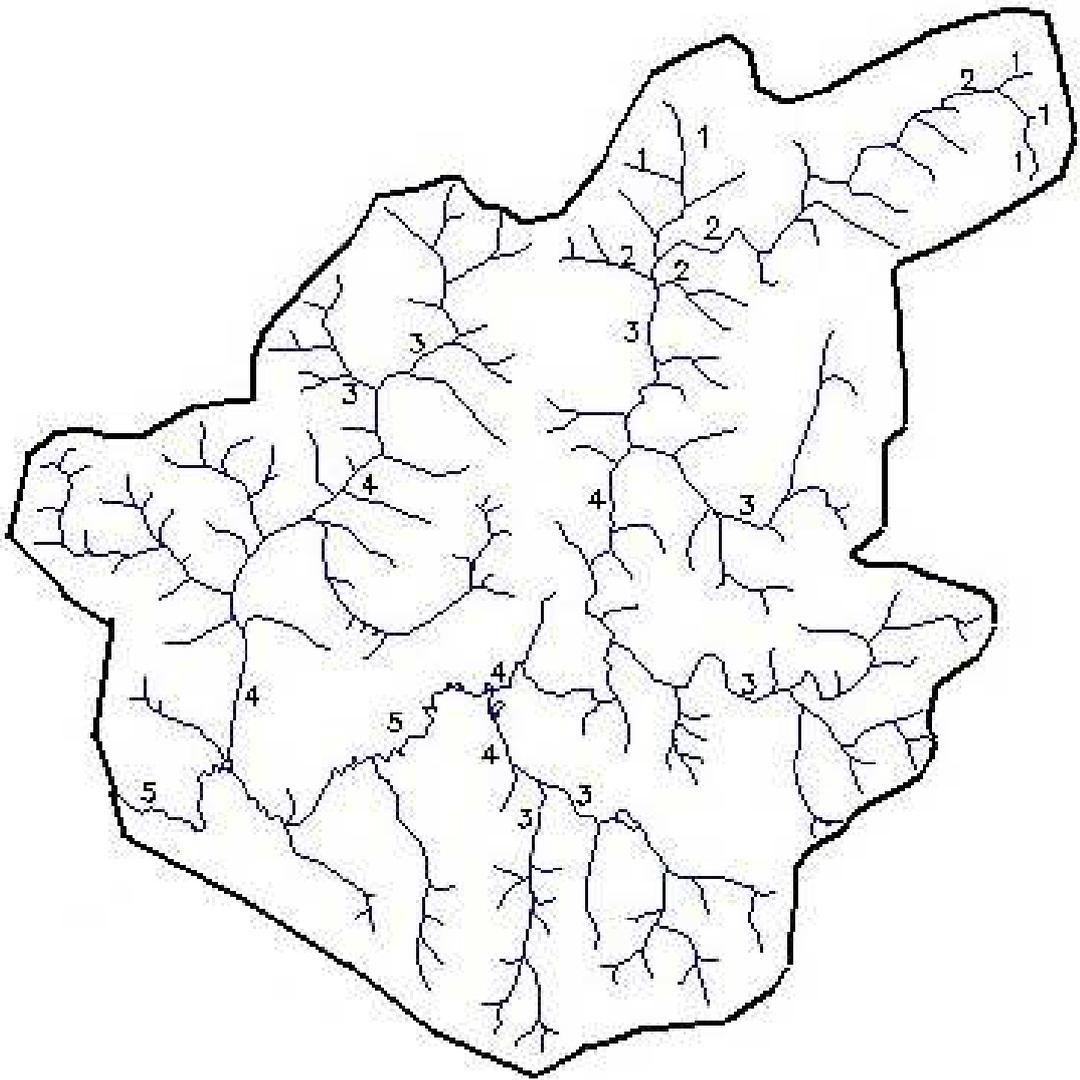


Figura 12 – Exemplo de classificação da hierarquia fluvial pelo método de Strahler no curso superior da bacia do rio Pequeno.

Os parâmetros calculados para a análise morfométrica da bacia do rio Pequeno indicaram controle geológico, pois ocorreram distorções significativas na composição das séries geométricas, em função de controle lito-estrutural (GARBOSSA, 2003). Este fato se confirma na rede hidrográfica em estudo pelos resultados obtidos, em que o controle do substrato geológico foi bastante evidenciado no desenvolvimento do comprimento médio do canal de 5ª ordem ( $Rm = 49,01$  km), bem como na relação de bifurcação, onde ocorreu um distúrbio muito significativo ( $Rb = 8$ ). Em relação aos demais canais, os resultados obtidos indicaram que a rede de drenagem da bacia do rio Pequeno é controlada principalmente pelo canal de 5ª ordem (JESUS, 2004). O comprimento médio dos canais de 1ª ordem, em relação

às demais ordens, confirma o pressuposto de que existe uma progressão geométrica direta com o aumento da ordem, seguindo a segunda lei hortoniana, evidenciando a tendência natural dos canais de primeira ordem serem mais curtos (MILANI e CANALI, 2000).

O rio Pequeno apresenta padrão de drenagem predominantemente dendrítico e vales abertos, relacionado às características geológicas e geotectônicas da área, sendo, portanto, importante elemento diagnóstico e interpretativo. Constitui um padrão em que os talwegues possuem variados comprimentos e não têm nenhuma orientação preferencial, ou uma organização sistemática (MELLO *et al.*, 2005).

A Extensão do Percurso Superficial (*Eps*) representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. A bacia do rio Pequeno apresentou a Extensão Percurso Superficial (*Eps*) de 190 metros, que relacionada ao índice de Textura Topográfica ( $Tt = 0,5689$ ) é considerada baixa, por apresentar espaçamento estreito entre os cursos d'água, o que confirma o escoamento rápido das águas pluviais para os canais (POLITANO e PISSARRA, 2003).

O grau de inclinação do rio Pequeno, representado pelo resultado do gradiente do canal principal ( $G = 0,53\%$ ), indicou, de forma generalizada, caimento suave e baixa declividade da bacia. Sem considerar outros fatores, o gradiente mais suave permite que a velocidade da água seja menor, contribuindo para que a erosão também seja menor na bacia. No entanto, ao se levar em consideração os setores do rio Pequeno (superior, médio e inferior), pode-se notar que a maior concentração da inclinação do relevo ocorreu no terço superior a médio da área de estudo, onde a fragilidade natural se torna mais evidente devido aos processos erosivos serem mais acentuados devido a concentração de alta declividade neste setor. Esta situação pode ser visualizada no perfil longitudinal da bacia apresentado na Figura 13, que permite verificar como ocorre o caimento do terreno da nascente até foz do rio principal. Para SANTOS (2005), a baixa velocidade da água em função da declividade pode agir como agravante na ocorrência de enchentes da bacia hidrográfica. Por outro lado, o escoamento rápido, também implica na aceleração do processo de retirada do solo, ocasionado pela erosão. Portanto, verifica-se que é imprescindível o equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial, bem como a preservação da vegetação, para que as áreas não impermeabilizadas tornem-se passíveis dos processos erosivos.

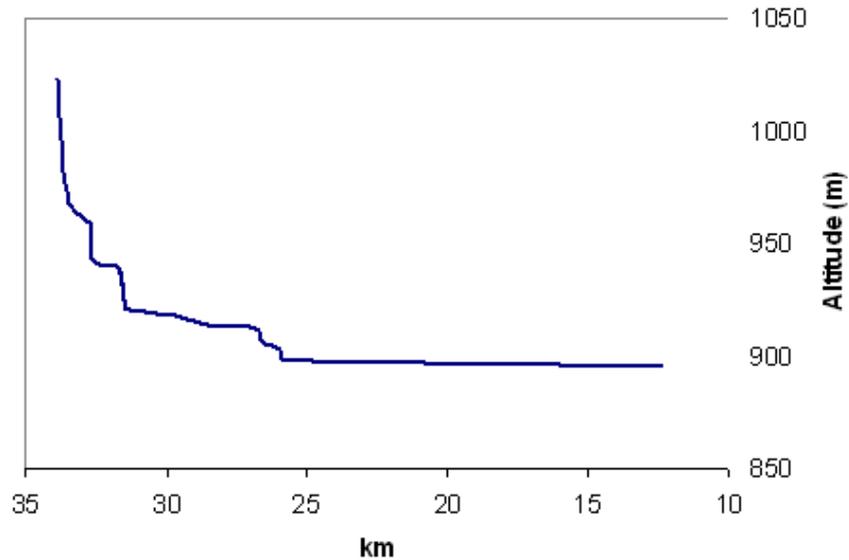


Figura 13 – Perfil longitudinal da bacia do rio Pequeno.

Analisando o relevo através dos graus de inclinação das margens esquerda (0,30%) e direita (0,16%) da bacia do rio Pequeno, verificou-se a existência de setores mais íngremes na margem esquerda. Em função desse fato, a bacia caracterizou-se por ser assimétrica, ou seja, as vertentes da margem esquerda predominantemente possuem gradientes de inclinação mais fortes, quando comparado aos gradientes das vertentes da margem direita. Na margem esquerda há o predomínio de relevo ondulado, enquanto na margem direita predominam áreas com relevo suave ondulado. A diferença de declividade entre margens esquerda e direita pressupõe escoamento superficial diferenciado para cada margem da bacia hidrográfica.

O resultado para o índice de sinuosidade ( $I_{sin} = 2,43$ ) indicou para os rios da bacia, principalmente o rio principal, que eles possuem tendência a serem sinuosos. Valores inferiores a 2,0 indicam a presença de canais retilíneos, com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos (JESUS, 2004). O rio Pequeno apresenta, em vários trechos, acúmulo de sedimentos e processos erosivos em função da sinuosidade, intensificados pela ação antrópica, principalmente no curso inferior do rio, próximo à foz.

Os valores dos parâmetros calculados para a análise morfométrica, referentes à análise areal da bacia do rio Pequeno, permitiram verificar que:

(a) O fator forma ( $Ff = 0,24$ ), que apresentou valor próximo à zero, e o índice de compacidade ( $Ic = 1,8$ ) indicaram que a bacia possui forma alongada, com baixa propensão à ocorrência de cheias momentâneas (BRISKI, 2004; GARBOSSA, 2003; JESUS, 2004);

(b) A densidade de drenagem ( $Dd$ ) confirma o alto grau de dissecação topográfica, sendo um bom indicador da impermeabilidade do solo. Este resultado é coerente com os solos das nascentes da bacia (cambissolo), que apresentam maior impermeabilidade em relação aos demais solos da área estudada, principalmente pela associação à alta declividade, dominando assim o escoamento superficial em relação à infiltração. Já os solos arenosos, são mais permeáveis e com isso apresentam densidade de drenagem menor. Segundo ALCÂNTARA e AMORIM (2005), os parâmetros para a interpretação da  $Dd$  podem variar de  $0,5 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ , para bacias com drenagem pobre, a  $3,5 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ , para bacias excepcionalmente bem drenadas. Baseando-se nestas informações, e relacionando a  $Dd$  com a  $Dr$ , que apresentaram valores altos,  $2,61 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$  e  $4,51 \text{ rios}\cdot\text{km}^{-2}$ , respectivamente, verifica-se realmente a existência de desequilíbrio entre infiltração e escoamento superficial. Na região do curso superior da bacia do Pequeno, o número de canais de 1ª ordem é maior. Este fato se deve principalmente a predominância dos cambissolos – solos em formação, muito frágeis devido à sua capacidade de se desprender pelo impacto das gotas de chuva. Também pelo fato de ser um solo que, associado à alta declividade, produz selamento superficial, dificultando a infiltração de água e propiciando o aumento do escoamento superficial. Em consequência ao escoamento, a erosão (MELLO *et al.*, 2005) também contribui para que a densidade de rios seja alta na área. Nos locais com predominância do latossolo, por exemplo, o número de canais diminuiu. Mesmo possuindo teor elevado de argila, este fato ocorre porque se trata de um solo mais poroso, e, conseqüentemente, mais propenso à infiltração. Vale ressaltar também que a declividade dos canais da bacia do rio Pequeno é baixa, do curso médio a inferior, principalmente nas áreas de planície, fator este que pode facilitar a infiltração;

(c) O coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) estabelece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento para que a qualidade hídrica seja mantida em seus valores físicos, químicos e biológicos (SCHUMM, 1956). É considerado um dos índices mais importantes do sistema de drenagem em termos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. No caso da bacia do rio Pequeno, o valor de  $Cm$  foi igual a  $383,14 \text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ . Como a densidade de drenagem e de rios foi alta, o valor encontrado de  $Cm$  mostra que o uso e ocupação da bacia devem ser realizados com restrições, levando-se em consideração seus aspectos de fragilidade ambiental e potencial de uso do solo, para a utilização adequada dos recursos (JESUS, 2004).

(d) A amplitude altimétrica ( $H_m$ ) da bacia ficou em 300 m. Relacionando este resultado com os valores para o gradiente do canal principal ( $G = 0,53\%$ ) e eixo da bacia (23,2 km), verificou-se que a maior concentração da inclinação do terreno (98%) está na parte do terço superior a médio da bacia, sendo que apenas 2% ocorreu no terço inferior. Estes dados confirmam uma dispersão da energia hidráulica superficial, com índices energéticos maiores nos terços superior e médio, diminuindo gradativamente em seu terço inferior, favorecendo a ocorrência de vazão lenta na sua jusante, em função da amplitude altimétrica (BRISKI, 2004). Na Figura 14 estão apresentados os perfis transversais da bacia do rio Pequeno nos cursos superior, médio e inferior, respectivamente, dando uma noção do relevo da área.

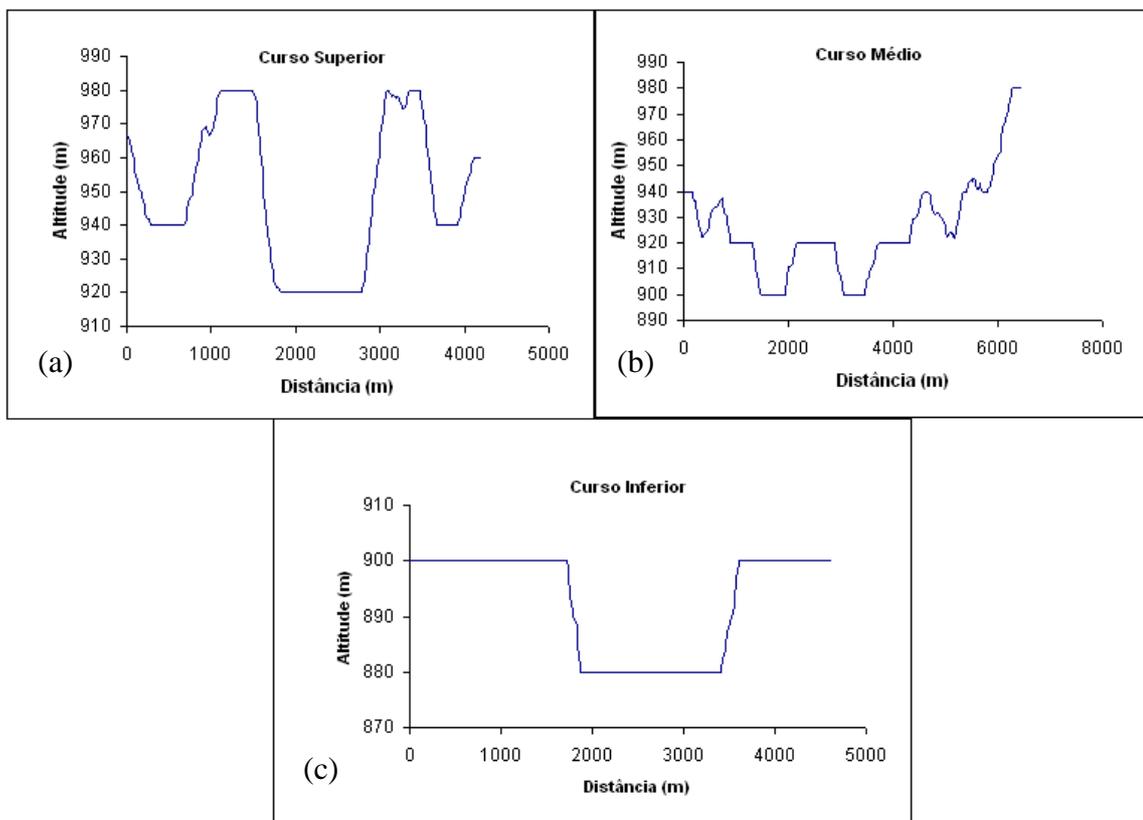


Figura 14 – Perfis transversais da bacia do rio Pequeno: (a) Curso superior; (b) Curso médio; e (c) Curso inferior.

Analisando a Figura 14, verifica-se que a maioria dos vales da bacia do rio Pequeno ocorrem em forma de U. Isto se deve à baixa inclinação da bacia, principalmente nos terços médio à inferior, o que proporciona à área uma vazão lenta, possuindo baixo potencial erosivo. O valor da relação de relevo ( $Rr = 10,32 \text{ km} \cdot \text{km}^{-1}$ ) e o índice de rugosidade ( $Ir = 783$ ) para a bacia foram baixos e concentraram-se no curso superior do rio, fato que indica

vertentes curtas e confirma baixa probabilidade natural de ocorrerem cheias relâmpagos (JESUS, 2004).

### 5.3 POTENCIAL AGRÍCOLA

A metodologia para o levantamento da Aptidão Agrícola não levou em consideração a legislação ambiental referente à preservação de entornos dos rios e nascentes. Desta forma, conforme descrito no item Material e Métodos, na elaboração do mapeamento das áreas de proteção permanente (APP), considerou-se a proteção de matas ciliares a 50 m em torno das nascentes e ao longo dos rios conforme mostrado na Figura 15.

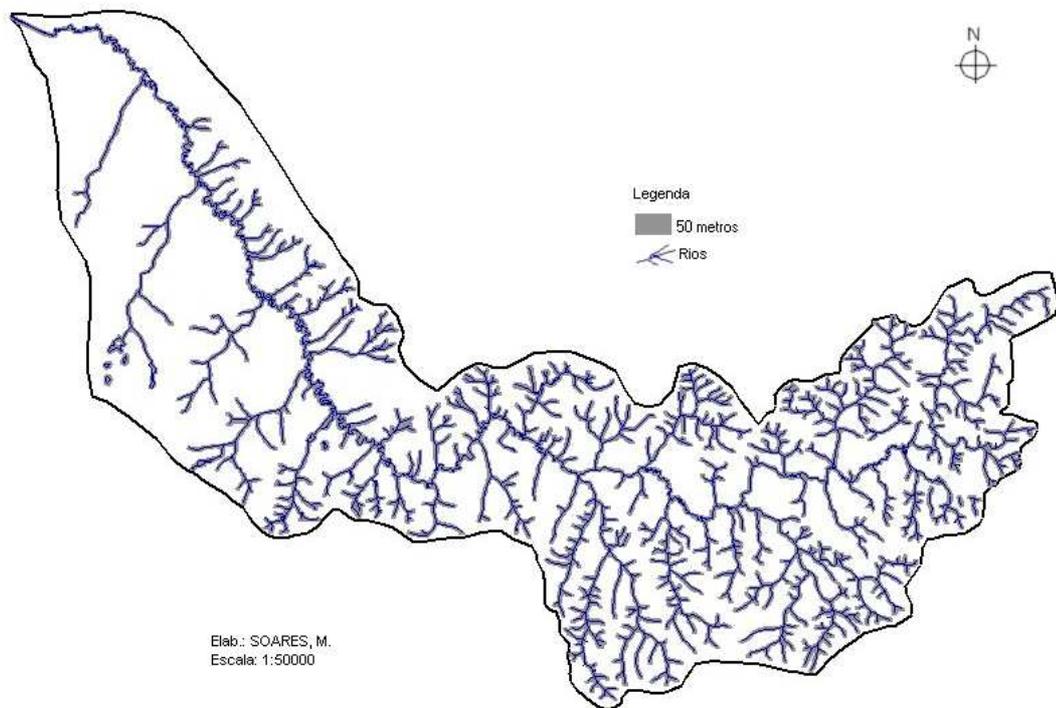


Figura 15 – Carta Legislação Ambiental (APP) da bacia do rio Pequeno.

Verificou-se que 27% da área total da bacia do rio Pequeno deve ser APP. O resultado do confronto entre o uso atual e a legislação, apresentado na Figura 16, evidenciou que 59% da área de APP está sendo utilizada de acordo com a legislação, ou seja, a maior parte da área de APP encontra-se estabelecida na área. Entretanto, 41% da área refletiu uso inadequado em relação APP, o qual se deve principalmente a utilização de zona ripária para outros fins que não a preservação, sendo necessária a sua recuperação (BRISKI *et al.*, 2004).

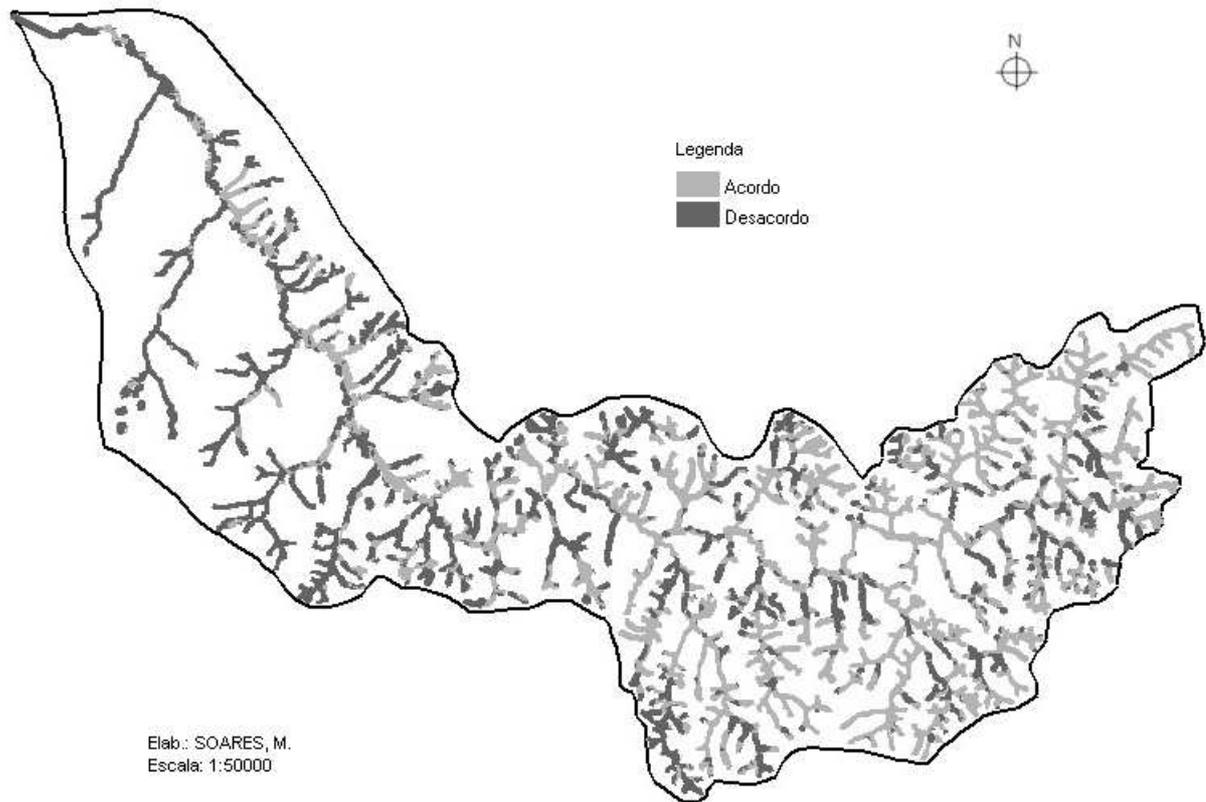


Figura 16 – Carta de conflito entre uso e ocupação do solo *versus* Legislação (APP) da bacia do Rio Pequeno.

A Figura 17 apresenta as classes de aptidão agrícola das terras da área em estudo e, a Tabela 14, traz o uso recomendado de acordo com o sistema de aptidão agrícola das terras e legislação ambiental.

Tabela 14. Uso recomendado de acordo com o sistema de aptidão agrícola das terras

Especificação	Aptidão Agrícola (%)	
	Sem APP	Com APP
Agricultura	59	45
Pastagem	3	2
Silvicultura	2	1
Preservação	36	52
Total	100	100

A bacia do rio Pequeno apresentou alto percentual de Organossolos (32%), solos hidromórficos ricos em matéria orgânica e constantemente encharcados, indicando insalubridade e inadequação à ocupação urbana e outras modalidades de uso rural ou implementação de pólos industriais. Os terrenos destas áreas são pouco consolidados,

inviabilizando diversas modalidades de instalações de obras e edificações de engenharia de estruturas urbanas e rurais. Com base no disposto, toda a classe de Organossolo foi considerada como inapta ao uso agrícola, sendo pertencente à classe 6 (preservação) (Tabela 14).

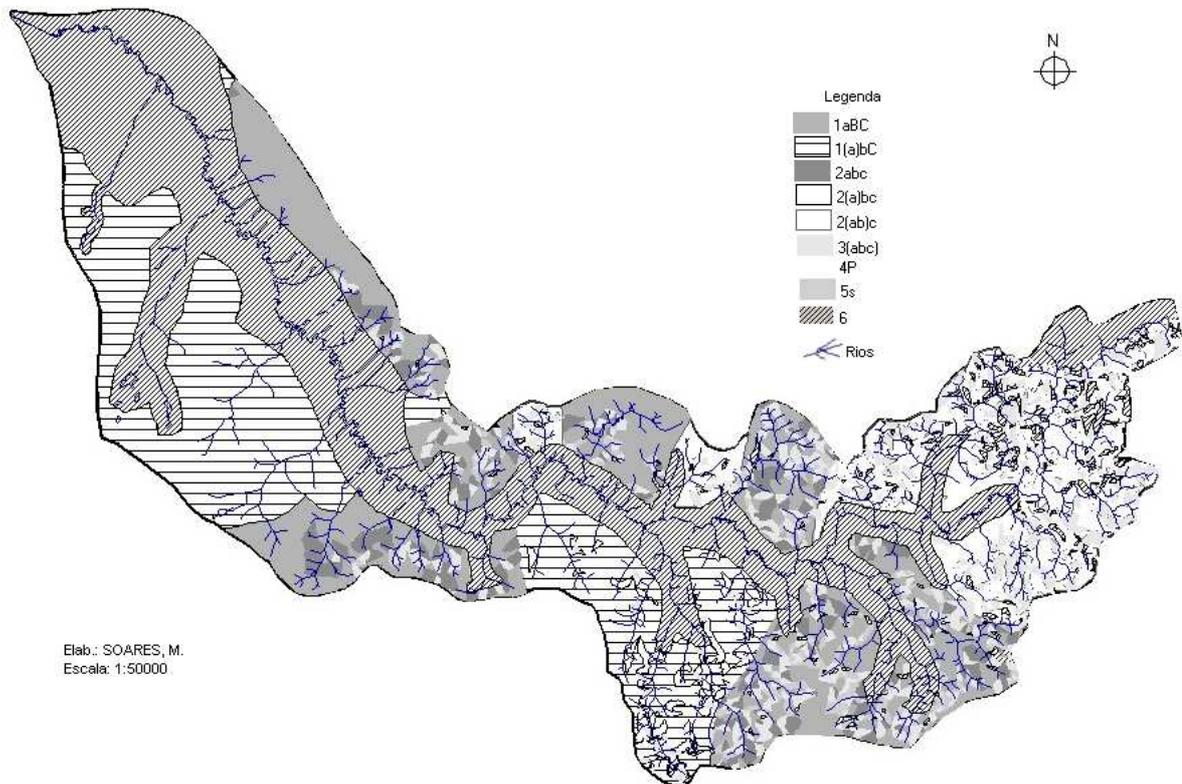


Figura 17 – Carta de aptidão agrícola da bacia do rio Pequeno.

De acordo com a Tabela 14 e Figura 17: 59% da área possui aptidão para agricultura, sendo representada pelas classes 1aBC, 1(a)BC, 2abc, 2(ab)c, 2(a)bc e 3(abc); 3% para pastagem plantada, classes 4P; e, 2% aptidão regular para silvicultura, classe 5s; 36% da área foi classificada pelo sistema como inapta para o uso agrícola (classe 6), sendo áreas recomendáveis para a preservação da fauna e da flora (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994). A preservação abrangeu áreas de Organossolos, Neossolos Litólicos e as áreas contendo declividades acima de 30%.

A partir das declividades existentes na bacia do rio Pequeno, pela metodologia de RAMALHO FILHO e BEEK (1994), que classifica as declividades inferiores a 3% com grau de limitação nulo por impedimento à mecanização, verificou-se que 68% da área se classificou nesta situação, ou seja, com relevo que permite a utilização para cultivos agrícolas

com utilização de tratores e colheitadeiras. Apenas em algumas áreas com declividades mais abruptas, em sua maioria acima de 8% de declividade, e que representam apenas 14% da área total da bacia, não é possível à utilização de maquinários agrícolas. No entanto, considerando toda a área da bacia hidrográfica, verificou-se que apenas 16% está sendo utilizada em atividades agrícolas.

Como os dados de APP devem sobrepor qualquer classe de aptidão, tendo em vista que o sistema não leva em consideração a legislação ambiental, verificou-se que as áreas classificadas inicialmente pelo sistema com potencial para agricultura, pastagem e silvicultura, ficaram reduzidas consideravelmente, devido a inclusão das APPs para 27% do total da área. Esta área ficou enquadrada como classe 6 (sem aptidão ou preservação).

Com a inclusão de toda a APP, verificou-se que a área classificada inicialmente com aptidão para Agricultura foi reduzida de 59% para 45%. As áreas com aptidão inicial para Pastagem e Silvicultura foram reduzidas de 3% para 2% e 2% para 1%, respectivamente. Assim, a “classe preservação” da aptidão agrícola inicial passou de 36% para 52% da área total (Tabela 14).

Ao confrontar os dados de uso e cobertura do solo com aptidão agrícola, verificou-se que a área urbana, situada na porção do terço médio a inferior da bacia do rio Pequeno, ficou localizada sobre uma área com aptidão boa para agricultura, indicando assim sub-utilização de recursos. Além disso, existem áreas nas porções ao entorno de rios e nascente que devem ser preservadas do ponto de vista da legislação ambiental, mas que ao contrário, estão ocupadas por áreas Urbanas, Pastagem e Agricultura, além do aumento de áreas com Solo exposto, o que resulta na super utilização da área.

A Figura 18 apresenta o resultado do confronto preliminar – conflito entre uso e cobertura do solo *versus* aptidão agrícola das terras, em que não foi considerado a Legislação Ambiental/APP. Na Figura 19 encontra-se o resultado do confronto real, que consiste no resultado do conflito entre as classes de Aptidão Agrícola das Terras, APP e uso atual do solo. Neste caso a análise indicou que 32% do total da área está sendo utilizada de forma correta, 35% em desacordo, ou seja, super utilizada, e 33% está sendo utilizada de forma aceitável, ou sub utilizada.

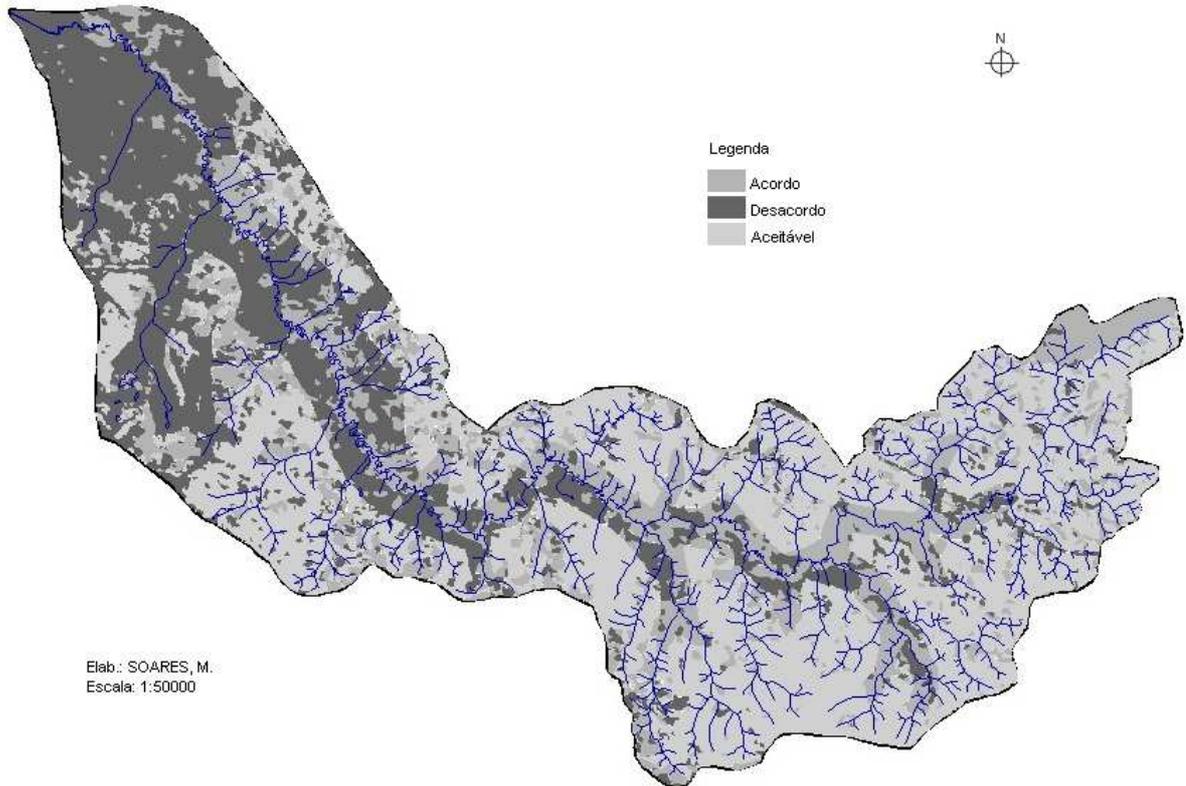


Figura 18 – Carta de conflito preliminar da bacia do rio Pequeno.

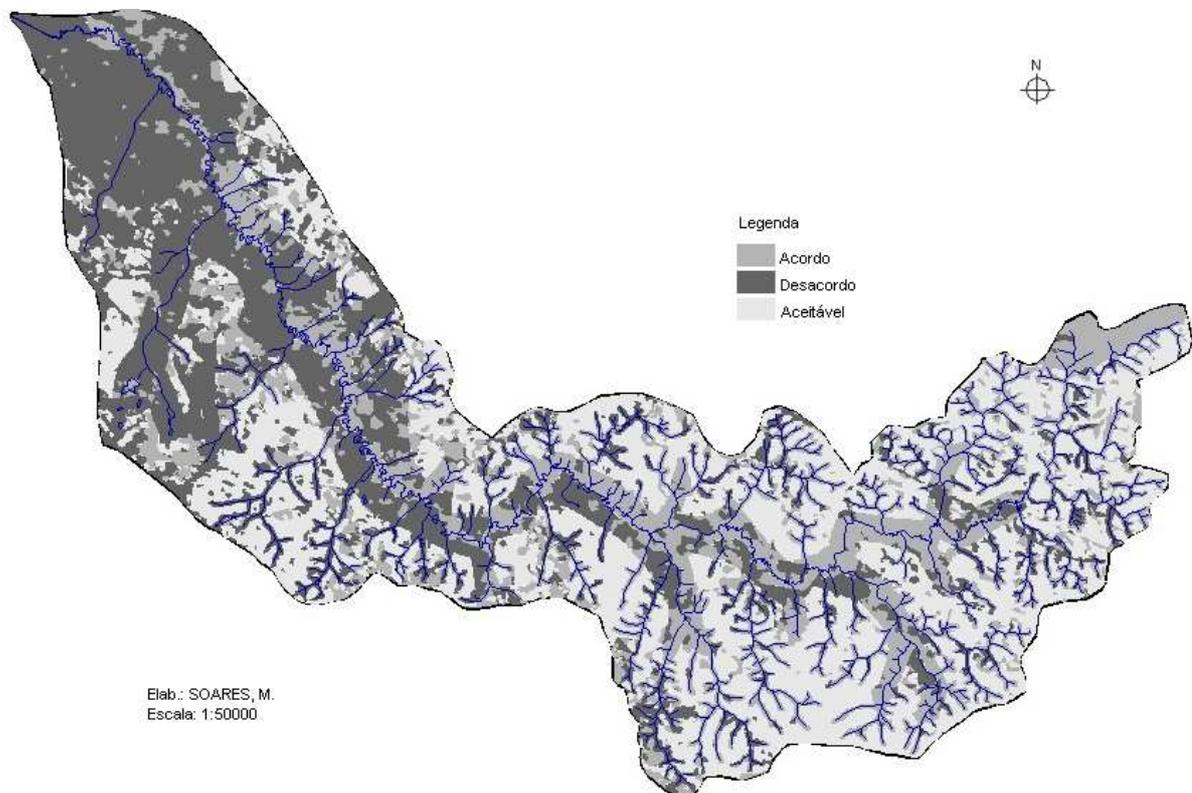


Figura 19 – Carta de Confronto Real da bacia do rio Pequeno.

Em relação ao conflito de uso e cobertura, cujos resultados estão dispostos na Tabela 15, a consideração da legislação ambiental (confronto real) fez com que a classe Acordo aumentasse de 24% para 32%, enquanto que a classe Aceitável (sub utilizado) reduzisse de 47% para 33%. O que é explicado pelo fato de boa parte da área de estudo (43%), estar ocupada com vegetação, com concentração desta principalmente nas áreas de APPs, ou seja, onde legislação ambiental determina a preservação (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994).

Tabela 15. Comparação entre Confronto Preliminar e Real da bacia do rio Pequeno

<b>Especificação</b>	<b>Confronto Preliminar (%)</b>	<b>Confronto Real (Legislação) (%)</b>
Acordo	24	32
Desacordo	29	35
Aceitável (sub utilizado)	47	33
Total	100	100

Ao se realizar o confronto direto da Legislação Ambiental com o sistema de Aptidão Agrícola das Terras, fica evidente que a classe de desacordo aumenta consideravelmente, pois o sistema em si não considera a legislação. Os resultados mostram que, para o planejamento ambiental, é necessário e importante incluir ou sobrepor na elaboração das cartas de zoneamento as áreas protegidas por lei.

#### **5.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL**

A Figura 20 apresenta a Fragilidade Potencial da bacia do Rio Pequeno. Logo em seguida, as classes de Fragilidade Emergente podem ser visualizadas na Figura 21.

As classes de fragilidade potencial definidas para a área de estudo (Figura 20), foram: muito baixa (19%), baixa (2%), média (1%), alta (42%) e muito alta (36%). Em torno de 78% da área foi classificada com fragilidade alta e muito alta, o que equivale a 100 km<sup>2</sup>. A classe de fragilidade Alta obteve maior ocorrência na bacia, ocupando 42% da área total, o que correspondendo a 54 km<sup>2</sup>. Este resultado deve-se principalmente ao fato de que a maioria da declividade até 6% (presente em 72% da área de estudo e que corresponde à classe de fragilidade muito baixa) se encontra associada com Organossolos (32%), solo com alto grau de fragilidade por ser mal desenvolvido. Segundo ROSS (1994), os Cambissolos possuem grau de fragilidade alto (4), enquanto que os Neossolos e Organossolos possuem grau de fragilidade muito alto (5), e, portanto, mesmo em declividades entre 0 e 6% (classe 1 – fragilidade muito baixa) a fragilidade potencial foi alta e muito alta pela prevaência do

fator de maior limitação.

As classes de fragilidade potencial muito alta, com 36% de representatividade (46 km<sup>2</sup> da área da bacia), e muito baixa (19%) aparecem em seguida, bem como as classes de fragilidade média e baixa que juntas somaram 3%. De forma geral, os dados obtidos mostraram que a fragilidade potencial da bacia do rio Pequeno é preocupante, pois representa alta susceptibilidade aos processos erosivos.

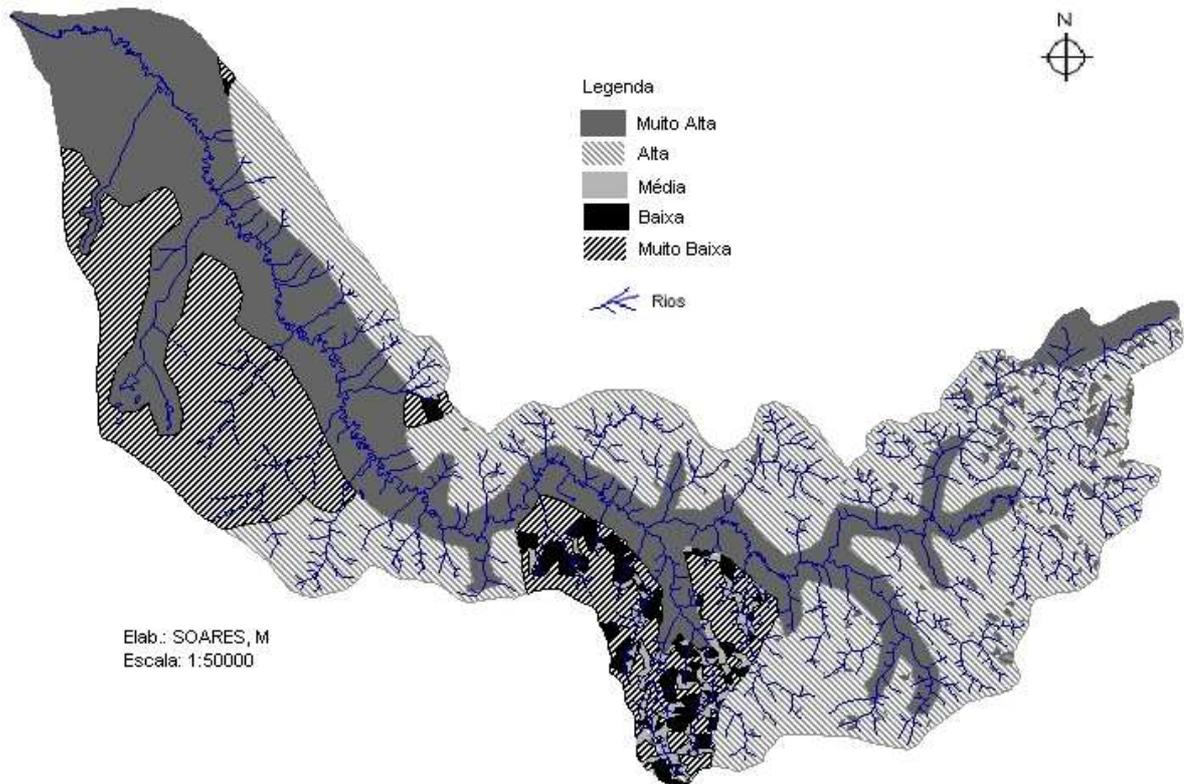


Figura 20 – Carta de Fragilidade Potencial da bacia do rio Pequeno.

As áreas de baixa fragilidade potencial ocorreram nas regiões do curso médio a inferior da bacia, predominando a utilização agrícola e urbana da área. Assim, o uso e ocupação das regiões de baixa fragilidade foi um ponto positivo para proteção ambiental das áreas ribeirinhas. Mas esta ocupação deve ser equilibrada, com planejamento adequado, para evitar a super utilização e o esgotamento dos recursos naturais. As áreas de maior fragilidade potencial coincidiram em sua maioria com as áreas que a legislação determina como áreas de preservação permanente.

Considerando a mesma metodologia, ou seja, analisando os fatores solo e declividade na avaliação da fragilidade de acordo com ROSS (1994), outros autores também obtiveram resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

GHEZZI (2003), ao avaliar a fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, em Morretes (PR), e ALMEIDA (2003), ao analisar a fragilidade ambiental no município de Colombo (PR), também classificaram como muito alta (5) a fragilidade potencial nos locais de maior declividade (> 30%), com presença de Cambissolos ou Neossolos. Da mesma forma, baseado na metodologia de ROSS (1994), porém utilizando outros fatores além de solos e declividade, FLORIANI (2003) avaliou as microbacias hidrográficas de Fervida e de Rio das Onças, localizadas em Colombo (PR), e encontrou predomínio de fragilidade potencial muito alta (4) e alta (5). De acordo com o autor, o que definiu a classe alta foi o predomínio de Cambissolos em relevo ondulado (8% a 20% de declividade), enquanto que a classe muito alta foi definida pelo predomínio de Neossolos em relevo montanhoso (45% a 75% de declividade). Por outro lado, em relevos mais suaves, com declividades predominantes abaixo de 30%, e com solos menos suscetíveis ao processo erosivo, observou-se o predomínio das classes de fragilidade potencial baixa e muito baixa.

SOUZA *et al.* (2005) observaram que 53% da área da bacia do rio Iraí se encontrava com fragilidade potencial baixa (1) a muito baixa (2), sendo que aproximadamente 92% da área apresentou declividade inferior a 20%. Da mesma forma, DONHA *et al.* (2006) verificaram que 81% da área do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, em Pinhais (PR), apresentou fragilidade potencial baixa (1) a muito baixa (2), havendo ali predomínio de declividades inferiores a 20% e presença de Latossolos.

Com relação à fragilidade emergente (Figura 21), as classes encontradas na área de estudo foram: muito alta (43%), alta (44%), média (7%), baixa (5%) e muito baixa (1%), as quais foram produtos da fragilidade potencial e do grau de proteção dado ao solo pelo uso e ocupação atual, sendo que cada tipo de uso protege de maneira diferente o solo. Quando a cobertura do solo se faz por vegetação, a proteção do solo melhora. Assim, as Florestas ou Áreas seminaturais apresentaram o grau de proteção 2 (alta), enquanto o Solo exposto e Áreas urbanas apresentaram o grau de proteção 1 (muito baixo). Embora a bacia possua considerável presença de vegetação (43%) com boa distribuição, principalmente em áreas com maior declividade, sua presença não diminui nem aumenta a fragilidade da área, mas protege o solo contra os processos de degradação natural.

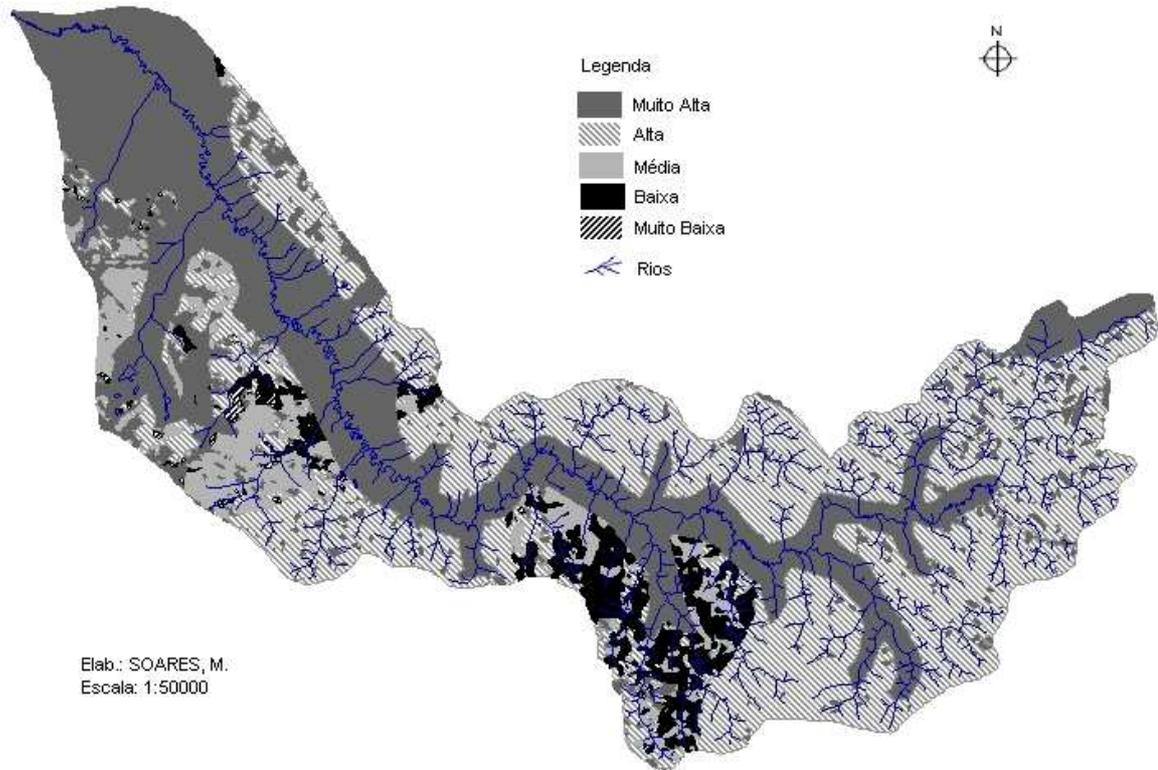


Figura 21 – Carta de Fragilidade Emergente da bacia do rio Pequeno.

Ao comparar a fragilidade potencial com a fragilidade emergente (Tabela 16) observou-se que a classe muito alta (5) da fragilidade potencial, que ocupava 36% da área, aumentou para 43% na fragilidade emergente. O mesmo ocorreu com a classe alta (4), que apresentou 42% quando potencial e aumentou para 44% quando emergente. A retirada da cobertura vegetal que vem ocorrendo com o passar do tempo, além do aumento das Áreas agrícolas, Solo exposto e Urbanização são os principais motivos que contribuíram para o aumento da fragilidade.

Tabela 16. Fragilidade ambiental (potencial e emergente da bacia do rio Pequeno)

Especificação	Fragilidade Potencial	Fragilidade Emergente
	(%)	(%)
Muito alta	36	43
Alta	42	44
Média	1	7
Baixa	2	5
Muito baixa	19	1
Total	100	100

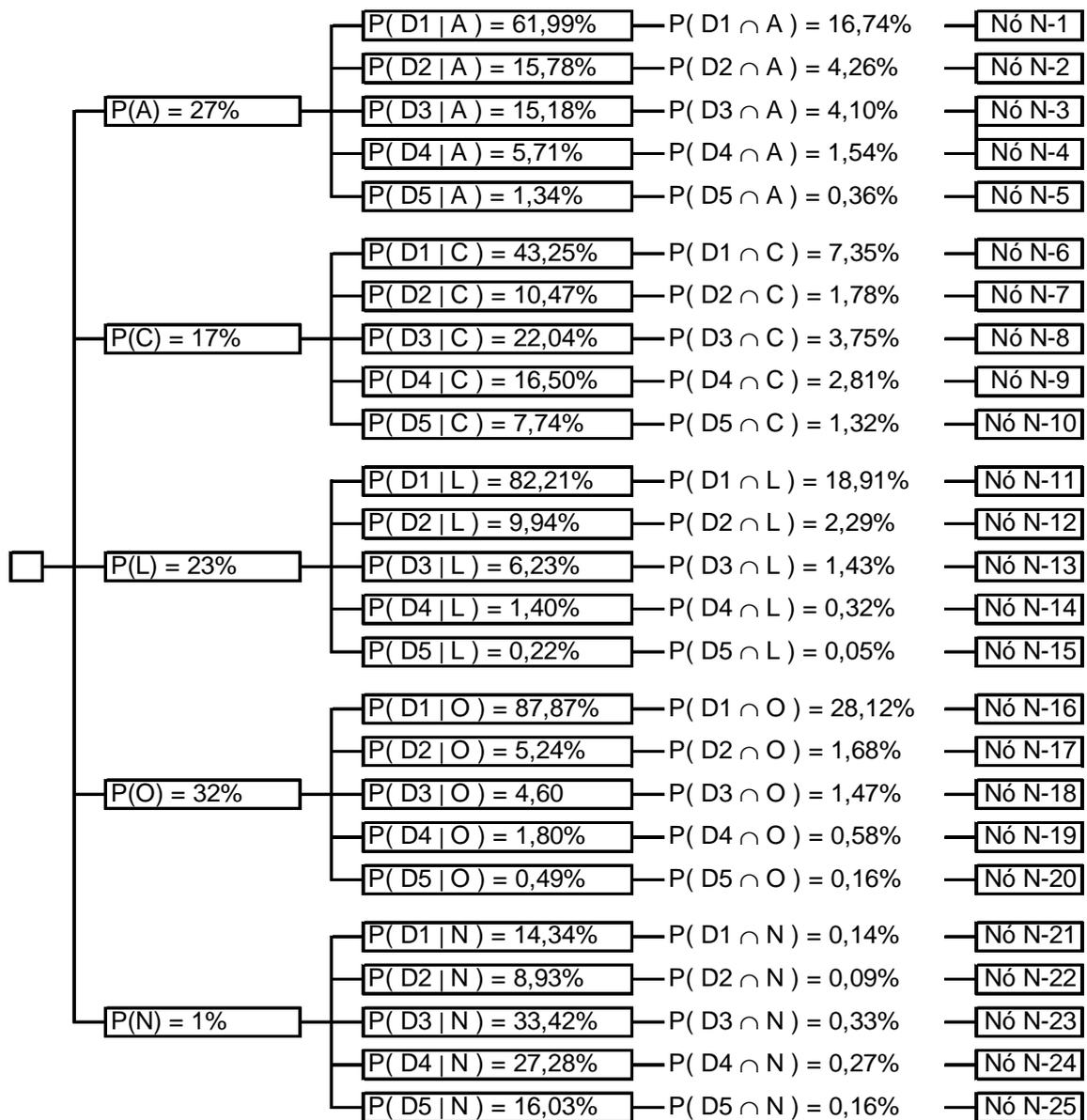
Em contrapartida, pelos motivos apresentados, a classe de fragilidade muito baixa (1) apresentou 19% quando potencial e foi reduzida para 1% quando emergente. Este fato se deve à baixa fragilidade natural que a área possui, na ocorrência de baixa inclinação do terreno quando associado ao Latossolo, solo com alto grau de desenvolvimento e bem estruturado. Segundo LEPSCH *et al.* (1991), declividades superiores a 5% oferecem maiores riscos de erosão e dificulta o processo de mecanização agrícola, necessitando práticas mais eficientes de conservação do solo. Os resultados obtidos mostram a importância de se implantar na área um plano de uso e ocupação sustentável, procurando-se evitar o uso inadequado dos recursos, além de se levar em consideração as potencialidades e fragilidades da área. É essencial evitar o desmatamento, pois a cobertura vegetal possui grande importância na conservação e proteção do solo contra os fatores erosivos. Ainda referente à Tabela 16, com exceção da classe muito baixa, verificou-se que todas as demais classes de fragilidade potencial foram reduzidas, em maior ou menor grau, devido: à ocupação inadequada das áreas ribeirinhas, o desmatamento e a existência considerável de área de solo exposto. Estes fatores estão evoluindo com o passar dos anos e gerando classes de fragilidade emergente de maior intensidade. Em 2000 a área possuindo Vegetação representava 54% e caiu para 43% em 2006, com expressivo aumento do Solo exposto. Estes resultados mostram a necessidade de preservação da vegetação e conservação dos recursos para garantir o equilíbrio natural (ALVARENGA e PAULA, 2000; BRISKI, 2004; DONHA, 2003).

ALMEIDA (2003) também observou que o uso agrícola, em função do menor grau de proteção, aumentou a fragilidade potencial, gerando classes de fragilidade emergente mais restritivas. Da mesma forma, DONHA *et al.* (2006) constataram que a fragilidade emergente alta ocorreu em áreas de edificações e circulação. Já a classe de fragilidade emergente média ocorreu predominantemente em áreas de agricultura convencional, ou seja, as atividades humanas aumentaram a fragilidade ambiental devido à retirada ou diminuição da cobertura vegetal. Em contrapartida, FLORIANI (2003) verificou redução em locais com fragilidade potencial alta (4), muito alta (5) e cobertos por vegetação natural, resultando classes de fragilidade emergente de menor intensidade.

## 5.5 ÁRVORE DE PROBABILIDADE

As Figuras 22 a 25, apresentam uma série de árvores de probabilidade estruturadas para alguns dados que foram obtidos e analisados para a bacia do rio Pequeno. Assim, as Figuras 22 e 23 apresentam a árvore da natureza e do interessado, respectivamente, dos dados obtidos com os mapas de solos, declividade e “uso e cobertura” do solo. A Figura 24 apresenta a árvore da natureza e interessado construída com dados obtidos na carta e proposição de legislação ambiental do rio Pequeno e mapa de uso e cobertura do solo. Por fim, a Figura 25 apresenta a árvore da natureza e interessado construída com os dados obtidos com o mapa de aptidão agrícola (considerando a legislação) e uso e cobertura do solo. Parte dos resultados apresentados nas Figuras 22 a 25, de certa forma, foram apresentados em tabelas ou figuras já discutidas em itens anteriores. No entanto, uma disposição dos dados estruturados na forma de árvore de probabilidade, introduz inúmeras facilidades quanto à visualização dos dados levantados e analisados para a bacia, além de incrementar e favorecer o entendimento de uma série de outras informações referentes à associação probabilística entre os mesmos (interseção e condicionamento), o que não foi apresentado ou discutido anteriormente.

A árvore de probabilidade da natureza apresentada na Figura 22 foi estruturada partindo das informações sobre o tipo de solo até chegar às interseções com as classes de uso e ocupação. A árvore do interessado (Figura 23) foi estruturada de forma inversa, contabilizando as interseções dispostas na ponta da árvore da natureza e calculando as probabilidades condicionais, até chegar às informações referentes ao uso e ocupação do solo da bacia do rio Pequeno.

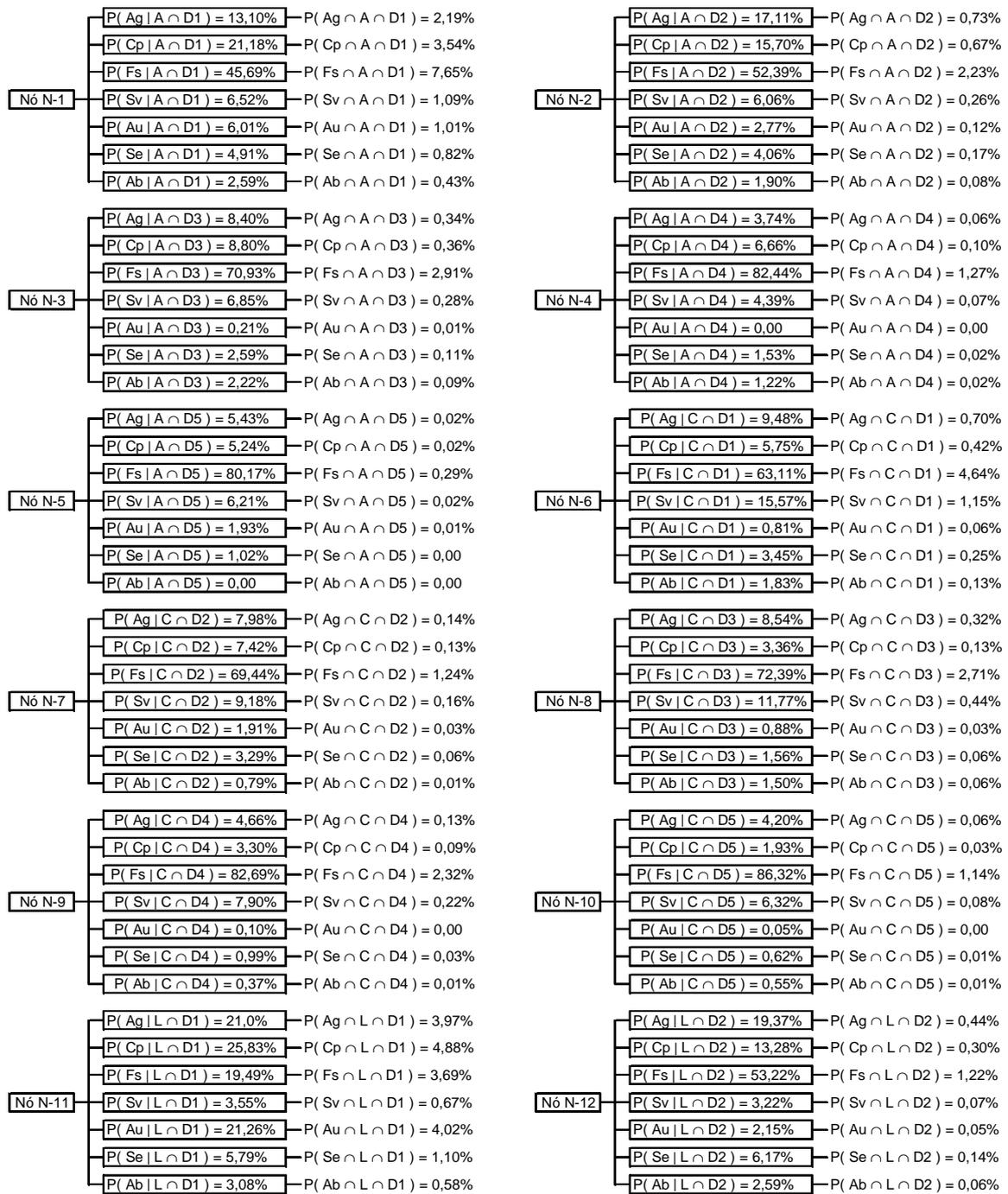
**Legenda:**

**Classes de solo:** A – Argissolo; C – Cambissolo; L – Latossolo; O – Organossolo; N – Neossolo

**Classes de declividade:** D1 – entre 0 e 6%; D2 – entre 6 e 12%; D3 – entre 12 e 20%; D4 – entre 20 e 30%; D5 – maior do que 30%

**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 22 – Árvore da natureza estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.

**Legenda:**

**Classes de solo:** A – Argissolo; C – Cambissolo; L – Latossolo; O – Organossolo; N – Neossolo

**Classes de declividade:** D1 – entre 0 e 6%; D2 – entre 6 e 12%; D3 – entre 12 e 20%; D4 – entre 20 e 30%; D5 – maior do que 30%

**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 22 – Árvore da natureza estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.

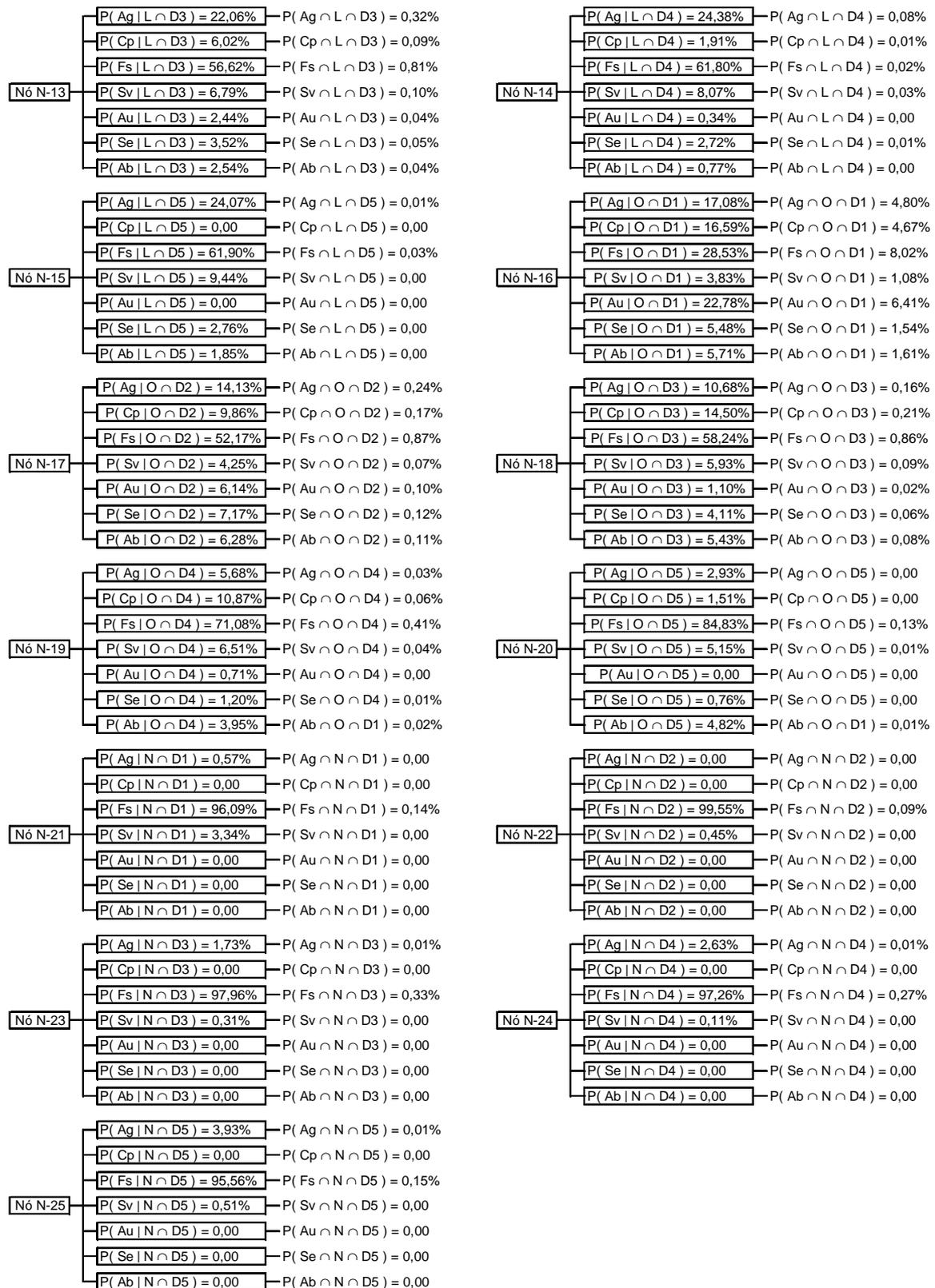


Figura 22 – Árvore da natureza estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.

Uma análise da árvore de probabilidade da natureza da Figura 22 permite verificar que:

- As probabilidades condicionais entre classes de declividade e solo, mostraram que os solos denominados Argissolo, Latossolo e Organossolo da bacia do rio Pequeno predominam na declividade entre 0 e 6% (D1) em mais de 50% de suas classes. Das cinco classes de solos analisadas, o Cambissolo e o Neossolo foram os únicos que apresentam maior distribuição de área entre as classes de declividade (D1 a D5), porém, o primeiro prevaleceu em declividade até 6% (D1) e o segundo nas declividades entre 12% e 30% (D3 a D4). A declividade 0 a 6% (D1) correspondeu a 71,26% da área total da bacia, sendo que o Organossolo apresentou a maior porção desta declividade ( $D1 \cap O = 28,87\%$ ), seguido do Latossolo ( $D1 \cap L = 18,62\%$ ).
- Com exceção da classe de solo Latossolo associado à declividade (D1), a classe Floresta ou Áreas seminaturais (Fs) predominou em todas as classes de solo e declividades (D1 a D5) da bacia.
- O Organossolo contém a maior representatividade na área total da bacia (32%) e, conforme esperado, ocorreu predominantemente em áreas com declividade baixa. Verificou-se que 87,87% e 5,24% de sua área encontram-se nas declividades entre 0 e 6% (D1) e 6% e 12% (D2), respectivamente. Desta forma, a ocorrência de Organossolo em declividades acima de 12% somou apenas 6,89% em relação à sua área. As classes de uso Agricultura (Ag), Campo ou Pastagem (Cp), Florestas ou Áreas seminaturais (Fs), Silvicultura (Sv), Áreas urbanas (Au), Solo Exposto (Se) e Água ou banhado (Ab) ocuparam no Organossolo 5,23%, 5,11%, 10,29%, 1,29%, 6,53%, 1,73% e 1,83% da área total da bacia, respectivamente. Como os Organossolos são provenientes de áreas ribeirinhas, os dados obtidos para uso e ocupação permitem observar que a sua preservação deveria ocorrer de forma primordial, sendo necessário evitar sua exploração.
- O Argissolo contém a segunda maior representatividade na área total da bacia (27%) e, predominantemente, a maior parte de sua área encontra-se distribuída entre a declividade D1 (61,99%) e D2 e D3 (30,96%). Somadas, esta classe de solo e declividades corresponderam a 25,1% da área total da bacia. A Silvicultura ocupou aproximadamente entre 4,39% e 6,85% da área em cada classe de declividade (D1 a D5). O uso e ocupação Agricultura e Campo ou pastagem ocuparam 34,28% e 32,8% da área nas classes de declividade D1 e D2,

respectivamente. Satisfatoriamente, verificou-se que as Florestas e Áreas seminaturais estão sendo preservadas em mais de 70,93% das áreas na classe de declividade D3 a D5.

– O Latossolo contem a terceira maior representatividade na área total da bacia (23%) e, predominantemente, verificou-se que o mesmo se desenvolveu nas declividades baixas, até 6%, compreendendo 82,21% da área com esta classe de solo. Em torno de 18,91% da área total da bacia possui Latossolo associado às declividades entre 0 e 6% (D1), sendo que 21,0%, 25,83%, 19,49%, 3,55%, 21,26%, 5,79% e 3,08% desta área é ocupada com Agricultura (Ag), Campo ou Pastagem (Cp), Florestas ou Áreas seminaturais (Fs), Silvicultura (Sv), Áreas Urbanas (Au), Solo exposto (Se) e Água ou banhado (Ab), respectivamente. Em função do percentual de Latossolo ocupado com Solo Exposto (Se), na condição de declividade D1 e D2, sendo 5,79% e 6,17%, respectivamente, acredita-se que parte da área poderia estar sendo preparada para o cultivo agrícola.

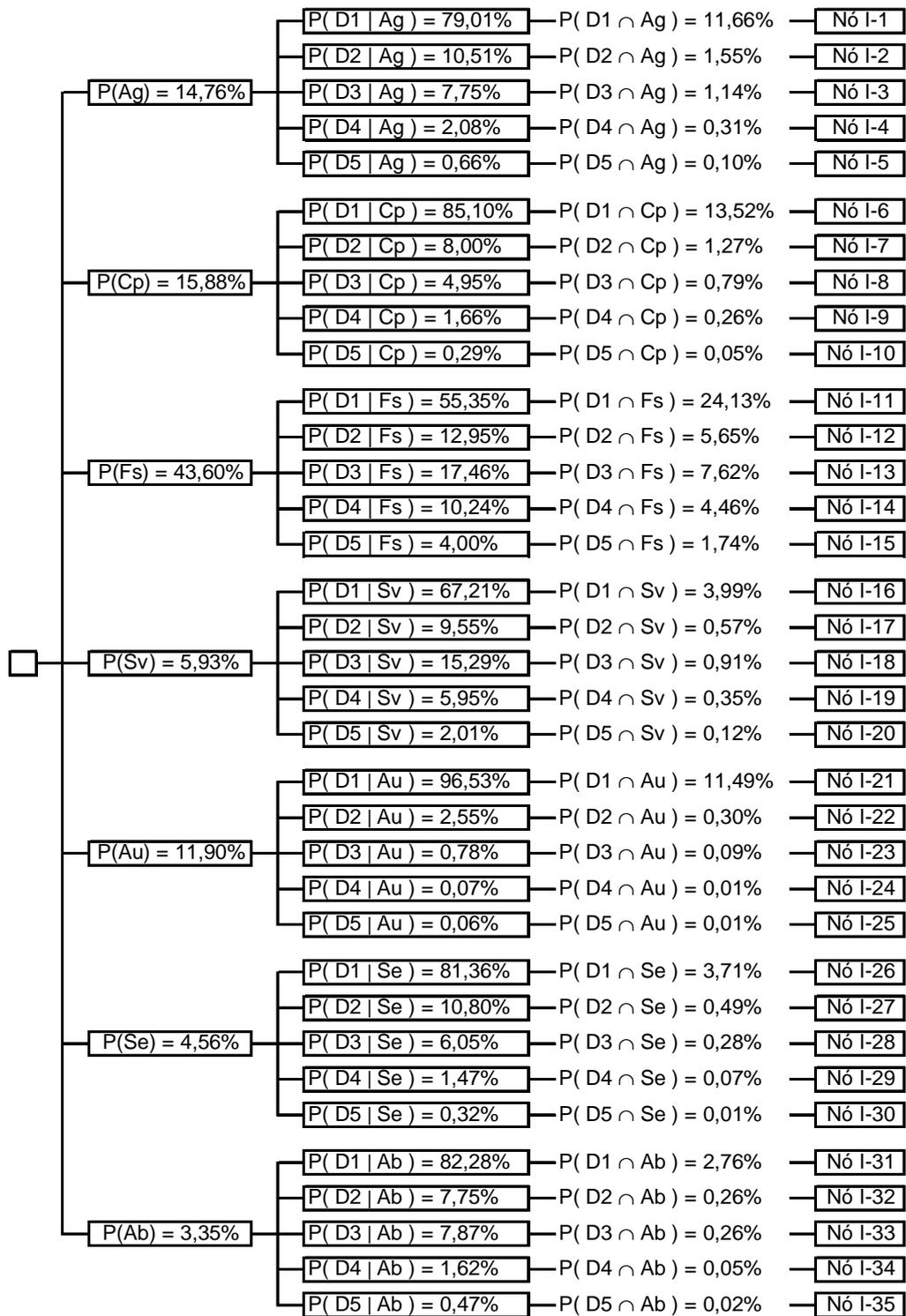
– O Neossolo Litólico ocupa uma pequena área da bacia (1%), sendo que a maior porção desta área (33,42%) está associada à declividade entre 12% a 20% (D3), o que equivale a 0,33% da área total da bacia. As Florestas ou Áreas seminaturais (Fs) ocuparam mais de 95,56% das áreas contendo esta classe de solo. Devido à dificuldade para ser utilizado para a agricultura, a classe de solo Cambissolo associado as declividade D1 a D5, que ocupa 17% da área total da bacia, também apresentou mais que 63,11% da área ocupada com Florestas ou Áreas seminaturais (Fs). Esta constatação verificada para as duas classes de solo é importante para o equilíbrio natural da bacia em estudo. Principalmente, porque as classes de uso e ocupação Agricultura (Ag) e Campo ou Pastagem (Cp) no Cambissolo somaram juntas 15,23% para declividade D1 e 15,40% para a declividade D2, e estão associadas a valores menores do que 11,9% da área nas classes de declividade D3 a D5. Para Neossolo Litólico, o uso e ocupação Campo ou Pastagem (Cp) não foi verificado e a Agricultura (Ag) encontra-se em menos de 3,93% da área em cada classe de declividade (D1 a D5).

Uma análise da árvore de probabilidade do interessado, apresentada na Figura 23, permite verificar e quantificar mais detalhadamente algumas evidências apontadas na árvore da natureza (Figura 22):

– As classes de uso e ocupação realmente ocorrem em sua maioria nas declividades inferiores a 12%, principalmente na declividade entre 0 e 6% (D1). A probabilidade de D1 condicionada a ocorrência de Agricultura (Ag), Campo ou pastagem (Cp), Florestas ou Áreas seminaturais (Fs), Silvicultura (Sv), Áreas urbanas (Au), Solo exposto (Se), Água ou banhado (Ab) foram

iguais a 79,01%, 85,10%, 55,35%, 67,21%, 96,53%, 81,36% e 82,28%, respectivamente. Mais da metade da ocupação com Florestas ou Áreas seminaturais se concentrou na declividade até 6% ( $P(D1 | Fs) = 55,35\%$ ), porém em função de sua presença nas áreas de proteção contendo maior declividade, favoravelmente foi o único uso e ocupação que se encontra mais bem distribuído entre as classes de declividade analisadas (D1 a D5). Favoravelmente, verificou-se também que a Área Urbana (Au) encontra-se predominantemente nas declividades entre 0 e 6% (96,53%), o que evita riscos de deslizamento de terras em área residenciais e comerciais, mas por outro lado, pode favorecer também a disposição da população a enchentes e alagamentos eventuais. Principalmente para a população que vive em 6,41% da total bacia, em área contendo Organossolo e declividade inferior a 6% (D1).

As probabilidades envolvendo os tipos de solo condicionadas às classes de declividades e “uso e ocupação” do solo mostram que: (a) Predominantemente, 41,18% do Organossolo e 34,04% do Latossolo encontram-se condicionados a declividade D1 e Agricultura (Ag), o que equivale a 4,80% e 3,97% da área total da bacia respectivamente; (b) Em torno de 26,23% do Argissolo, 36,13% do Latossolo e 34,52% do Organossolo encontram-se condicionados a existência de declividade D1 em Campo ou Pastagem (Cp), o que equivale a 3,54%, 4,88% e 4,67% da área total da bacia, respectivamente; (c) O Cambissolo predominou em relação aos outros tipos de solo, quando condicionado a declividade acima de 20% (D4 a D5) e uso e ocupação com Florestas ou Áreas seminaturais (Fs). Se consideradas todas as classes de declividade (D1 a D5) para esta associação de Cambissolo com Florestas ou Áreas seminaturais, a representatividade fica em torno de 12,05% do total da área da bacia; (d) A declividade entre 0 e 6% (D1) contem 96,53% da Área Urbana (Au), e desta área 34,98% e 55,74% encontra-se sobre Latossolo e Organossolo, respectivamente, o que totalizou 10,43% da área total da bacia.

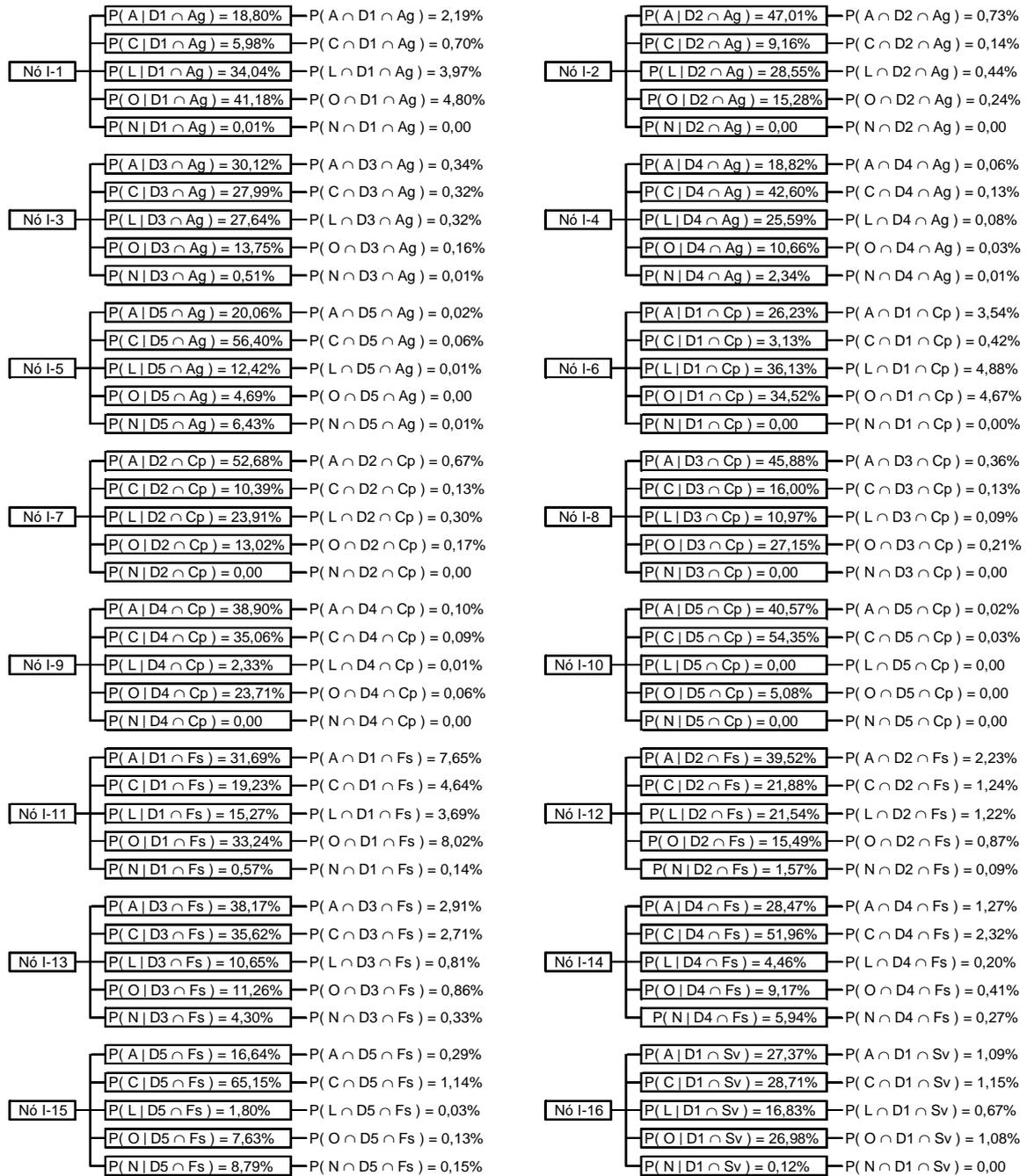
**Legenda:**

**Classes de solo:** A – Argissolo; C – Cambissolo; L – Latossolo; O – Organossolo; N – Neossolo

**Classes de declividade:** D1 – entre 0 e 6%; D2 – entre 6 e 12%; D3 – entre 12 e 20%; D4 – entre 20 e 30%; D5 – maior do que 30%

**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 23 – Árvore do interessado estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.



**Legenda:**  
**Classes de solo:** A – Argissolo; C – Cambissolo; L – Latossolo; O – Organossolo; N – Neossolo  
**Classes de declividade:** D1 – entre 0 e 6%; D2 – entre 6 e 12%; D3 –entre 12 e 20%; D4 – entre 20 e 30%; D5 – maior do que 30%  
**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 23 – Árvore do interessado estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.

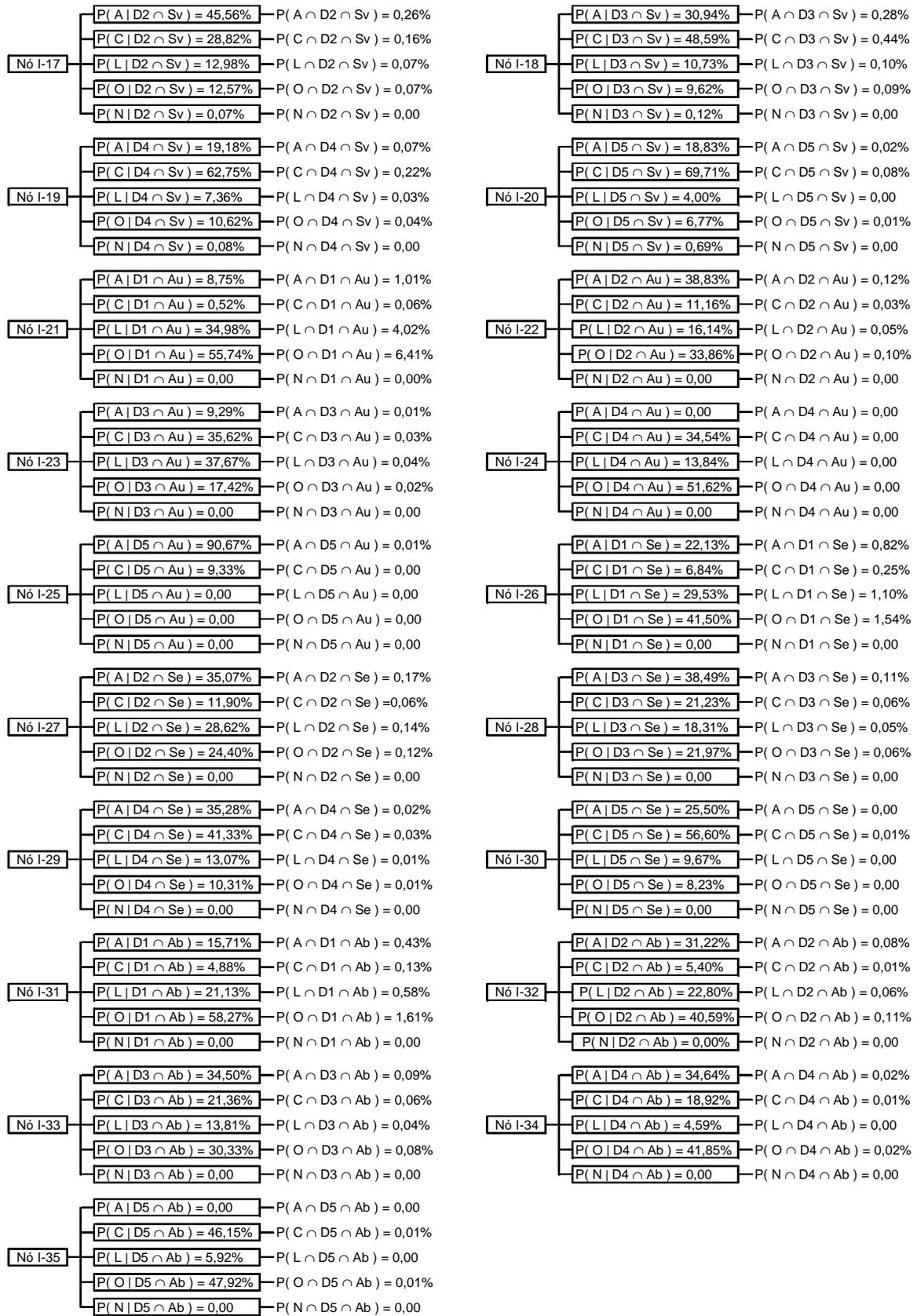
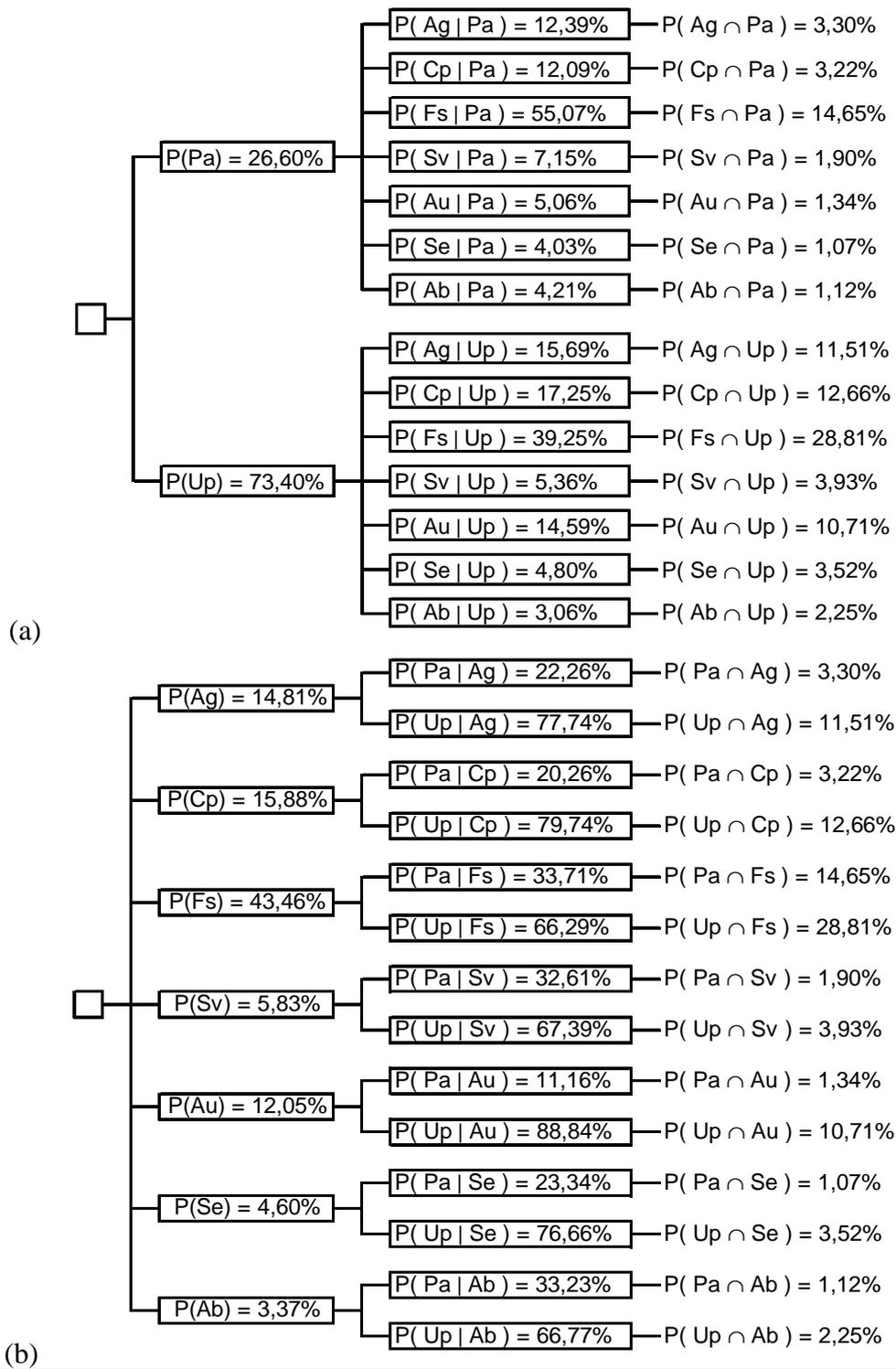


Figura 23 – Árvore do interessado estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de solos, declividades e uso e cobertura do solo.

A árvore de probabilidade da natureza mostrada na Figura 24a permite verificar que:

- A área de preservação ambiental, em função da legislação, correspondeu a 26,60% da área total da bacia hidrográfica do rio Pequeno. A interseção desta área com o uso e ocupação do solo evidenciou que 55,07% e 4,21%, da área total desta classe se encontra ocupada com Florestas ou Áreas seminaturais (Fs) e Água ou banhado (Ab), respectivamente, o que corresponde ao uso adequado da área. Entretanto, os demais usos como Agricultura (12,39%), Campo ou Pastagem (12,09%), Silvicultura (7,15%), Área urbana (5,06%) e Solo exposto (4,03%), que juntos somam 40,73% estabelecidos na área de APP, representam os usos que estão em desacordo com a legislação ambiental.
- A área de uso permitido do solo ocupou 73,40% da área total da bacia, ficando a Agricultura (Ag), Campo ou Pastagem (Ap), Florestas ou Áreas seminaturais (Fs), Silvicultura (Sv), Áreas urbanas (Au), Solo Exposto (Se) e Água ou banhado (Ab) ocupando em 15,69%, 17,25%, 39,25%, 5,36%, 14,59%, 4,80% e 3,06% desta porção, respectivamente.
- A árvore de probabilidade do interessado (Figura 24b) evidenciou que 33,71% da Área de Proteção Ambiental (Pa) está condicionada a presença de Vegetação natural (Fs). No entanto, é importante ressaltar também, que 22,26%, 20,26% e 23,34 de áreas que deveriam ser de Proteção Ambiental (Pa), estão condicionadas a presença de Agricultura (Ag), Campo ou Pastagem (Cp) e Solo exposto (Se), respectivamente.

Á área de uso permitido condicionada a urbanização (Au) prevaleceu em 88,84% das áreas utilizadas para esta finalidade na bacia. No entanto, acredita-se que os 11,16% de área de urbanização existente sob a área de proteção tenderão a crescer, devido ao aumento incondicional da população na região nas próximas décadas, conforme relata PARANÁ (2000). Como a  $P(Pa|Fs)$  é de 14,65% em relação à área da bacia e os usos com Agricultura e Campo ou pastagem (Cp) e Solo Exposto (Se) vem aumentando com o passar do tempo, a pressão social de uso das áreas com necessidade de preservação será inevitável e a solução tenderá a ser complexa.



**Legenda:**  
**Uso do solo conforme a legislação:** Pa – Área de proteção ambiental; Up – Área de uso permitido do solo  
**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 24 – Árvore de probabilidade estruturada a partir dos dados obtidos com a carta e proposição de legislação ambiental do rio Pequeno e mapa de uso e cobertura do solo: (a) Árvore da natureza; (b) Árvore do interessado.

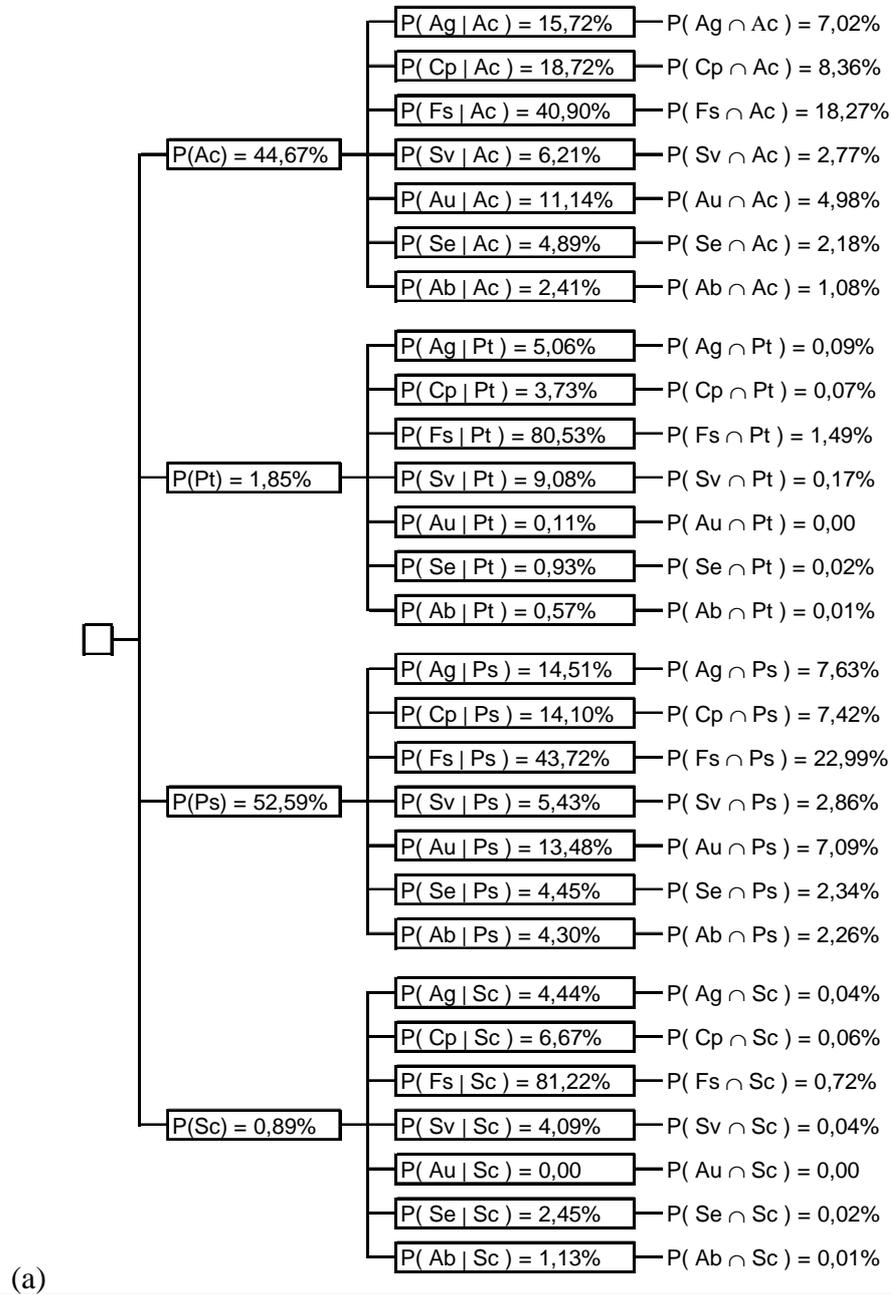
A árvore de probabilidade da natureza disposta na Figura 25a permite verificar que:

- A maior parte da área da bacia do rio Pequeno, determinada pelo sistema de aptidão agrícola como apta para a agricultura (44,67%), está sendo utilizada para a Florestas e Áreas seminaturais (40,90%). Em seguida, ocorrem os usos Campo ou pastagem, Agricultura e Áreas urbanas, ocupando 18,72%, 15,72%, e 11,14% desta porção, respectivamente. A área de silvicultura também teve boa representação, ocupando 6,21% da área apta para a Agricultura (Ac);
- As áreas possuindo aptidão para Pastagem (1,85%) e Silvicultura (0,89%), também possuem a maior ocupação com vegetação natural, com 80,53% e 81,22% do total de cada classe, respectivamente;
- As áreas sem aptidão agrícola, grande parte delas em função do organossolo e legislação ambiental, somaram 52,59%. Deste total a interseção entre Preservação (Ps) e Vegetação natural (Fs) ocorreu em 22,99% da área total da bacia do rio Pequeno. Embora seja uma parcela significativa, os usos inadequados (Agricultura, Campo ou pastagem, Silvicultura, Solo exposto e Urbanização) somam juntos a maior parcela, ou seja, 27,34% do total da área da bacia. Logo, de forma geral, verifica-se que a área da bacia possui tendência de uso inadequado.

A árvore de probabilidade do interessado (Figura 25b) reforça ainda mais as informações dispostas anteriormente, evidenciando que:

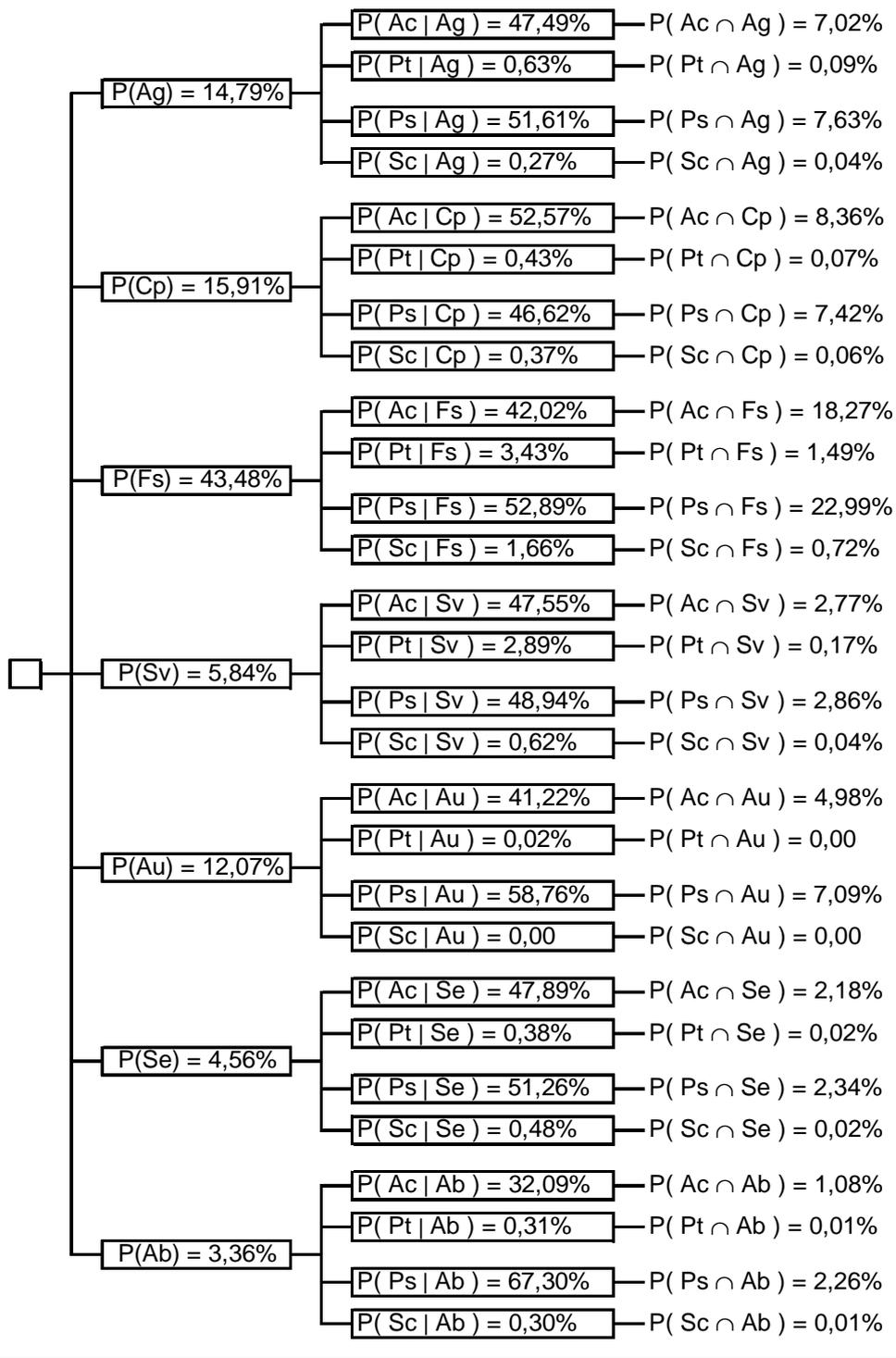
- 52,89% da área total destinada à Preservação (Ps), nas áreas de proteção ambiental identificadas seguindo as recomendações da legislação, estão condicionadas a presença de Vegetação (Fs);
- As áreas de Agricultura (Ag) Campo ou Pastagem (Cp) e Solo Exposto (Se) encontram-se divididas entre áreas de proteção e uso permitido do solo. Este fato merece maior atenção por parte dos administradores e gestores ambientais, para as questões de planejamento, pois o desacordo ocorreu em 7,63%, 7,42% e 2,34% da área total da bacia, para uso e ocupação Agricultura (Ag), Campo ou Pastagem (Cp) e Solo Exposto (Se), respectivamente;
- Nas áreas contendo solo exposto, verificou-se também probabilidade das mesmas serem aptas para a agricultura ( $P(Ac|Se) = 47,89\%$ ). Este fato confirma a hipótese de que grande parte das áreas contabilizadas como Solo Exposto (Se) realmente estavam sendo preparadas para o cultivo, no momento da coleta das informações (imagens de satélite) utilizadas no presente trabalho;

– A evolução da urbanização na bacia mostrou tendência de ocorrer nas declividades baixas e, em sua maioria, nas áreas sem aptidão agrícola ou áreas de preservação ambiental (58,76%), e em áreas com aptidão boa para agricultura (41,22%), o que evidenciou baixo aproveitamento do recurso (4,98% da área total).



**Legenda:**  
**Aptidão agrícola:** Ac – Agricultura; Pt – Pastagem; Ps – Preservação; Sc – Silvicultura  
**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 25 – Árvore de probabilidade estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de aptidão agrícola (considerando a legislação) e uso e cobertura do solo: (a) Árvore da natureza; (b) Árvore do interessado.



(b)

**Legenda:****Aptidão agrícola:** Ac – Agricultura; Pt – Pastagem; Ps – Preservação; Sc – Silvicultura**Classes de uso e ocupação:** Ag – Agricultura; Cp – Campo ou pastagem; Fs – Florestas ou Áreas seminaturais; Sv – Silvicultura; Au – Áreas urbanas; Se – Solo exposto; Ab – Água ou banhado (várzea)

Figura 25 – Árvore de probabilidade estruturada a partir dos dados obtidos com o mapa de aptidão agrícola (considerando a legislação) e uso e cobertura do solo: (a) Árvore da natureza; (b) Árvore do interessado.

## 5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS PARA O PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PEQUENO

Os resultados apresentados anteriormente mostram que a bacia do rio Pequeno possui bons indicadores ambientais, mas ao mesmo tempo, pontos de estrangulamento que podem conduzi-la a um cenário ainda mais inapropriado de uso de suas áreas, com aumento da degradação.

A avaliação dos resultados a partir da classificação de áreas com diferentes respostas aos aspectos determinantes da fragilidade potencial, mostrou de modo geral que a bacia do rio Pequeno possui alta susceptibilidade aos processos naturais desestabilizadores, relativos à movimentação de massa e processos erosivos. A análise morfométrica vem confirmar este fato, mostrando que a bacia possui controle geológico, determinada principalmente pelo rio principal, além da alta densidade de rios e de drenagem concentrados na porção superior da bacia com solos de baixa permeabilidade (cambissolo e neossolo) que favorece o escoamento superficial à infiltração da água no solo. Assim, as áreas com maiores pré-disposições aos efeitos modificadores da estabilidade concentraram-se na porção do extremo leste, onde ocorrem às inclinações mais acentuadas da área e ao longo dos rios, nas planícies aluviais. Porém, o grau de fragilidade ambiental aumenta quando relacionado ao modo de uso e cobertura do solo, devido à ocupação inadequada das áreas ribeirinhas, redução da vegetação natural, existência de solo exposto, fatores estes que vêm evoluindo com o passar do tempo e que contribui com a desestabilização dos aspectos naturais do sistema ambiental.

Quanto ao grau de fragilidade emergente, que se associa ao modo de uso e ocupação estabelecido na área da bacia hidrográfica, os resultados apresentaram índice elevado de fragilidade, principalmente nos terços médios a inferior e próximos à foz do rio Pequeno. Sendo a bacia ocupada por densa rede de drenagem e amplas planícies aluviais, a contaminação generalizada através de descargas de efluentes líquidos e descarte de sólidos é passível, o que poderia comprometer a qualidade dos recursos hídricos utilizados para o abastecimento público. Deve-se ressaltar também, a atenção necessária às áreas mais rebaixadas da região, sujeitas a freqüentes inundações, principalmente com o aumento do índice pluviométrico ocasionado em condições climáticas excepcionais.

A bacia do rio Pequeno apresentou alto percentual de Organossolos (32%), solos hidromórficos ricos em matéria orgânica e constantemente encharcados, indicando insalubridade e inadequação à ocupação urbana e outras modalidades de uso rural ou

implementação de pólos industriais. Os terrenos destas áreas são pouco consolidados, inviabilizando diversas modalidades de instalações de obras e edificações de engenharia de estruturas urbanas e rurais.

Por meio das características naturais da bacia do rio Pequeno e das determinações legais impostas pela legislação ambiental, verificou-se restrição ao uso nas planícies aluviais próximas aos rios e nas áreas amparadas por lei, que somam 27% da área total da bacia do rio Pequeno. Nesta área de fragilidade ambiental muito alta associadas às APP's, as características naturais devem se manter inalteradas, o que impossibilita qualquer tipo de exploração econômica. No restante da área constatou-se potencialidades à usos diversos, e de uso com restrições. Estas potencialidades devem ser respeitadas para evitar o desencadeamento de processos de instabilidade ambiental e problemas sociais e econômicos.

A partir das informações de uso e cobertura do solo do ano de 2006 foram estabelecidas as classes de conflito de uso e ocupação do solo. Os resultados mostraram que 35% do total da área da bacia do rio Pequeno foram ocupadas inadequadamente, havendo super utilização de seus recursos. Além disso, outros 33% demonstraram formas de uso adequadas parcialmente. Estes conflitos se referem principalmente às ocupações estabelecidas nas planícies aluviais, próximas aos rios, e áreas amparadas por lei com restrições a diversas modalidades de ocupação e atividades econômicas.

As árvores de probabilidade mostraram que a bacia possui tendência de utilização inadequada. A maioria da ocupação com urbanização e atividades agrícolas ocorreu em organossolos, solos de alta fragilidade ambiental e baixo potencial agrícola por ser pouco desenvolvido, mal drenado, entre outras características. Embora a presença da vegetação natural seja notável em toda a bacia do rio Pequeno, a sua redução ao longo do tempo é um fato preocupante, o que expõe os solos aos fatores de degradação ambiental.

Desta forma, as áreas com fragilidade potencial muito baixa, sugerindo estabilidade quanto aos processos dinâmicos da natureza, têm estabilidade alterada ao se considerar a fragilidade emergente. Esta é determinada pelo confronto da fragilidade potencial com o uso e ocupação do solo. Assim, áreas que apresentavam fragilidade ambiental muito baixa, quando potencial, passaram a apresentar graus de fragilidade média a muito alta, quando emergente, devido às formas de ocupação na bacia contribuírem para a degradação ambiental.

De acordo com BRISKI (2004, p.200), os maiores problemas da ocupação desordenada se refletem no contexto social e ambiental. No social se “intensifica uma condição praticamente desumana de habitações da parcela da população carente, expostas aos riscos constantes de inundações e doenças que trazem risco à vida”. No contexto da qualidade ambiental, o autor comenta que “esta vem se degradando significativamente”, repercutindo nos recursos hídricos responsáveis pela maior quantidade de água captada e tratada para abastecimento público.

Considerando a bacia do rio Pequeno como um meio natural de fornecimento de água para captação e consumo humano na RMC, sugere-se para a elaboração de planos diretores que sejam relevadas: (a) As diferenciações do meio físico levando-se em consideração suas limitações e potencialidades – fragilidade ambiental, aptidão agrícola das terras e as áreas amparadas por lei; (b) A avaliação do custo/benefício de se realocar a população que já se encontra nas áreas inadequadas e sujeitas a riscos ambientais; (c) A recuperação e preservação de áreas frágeis e com limitações ao uso impostas pela legislação ambiental, além de empenho para se evitar a degradação de novas áreas e garantir a qualidade de vida sócio-ambiental; e (d) Conforme comenta SANTOS (2005), a implementação de políticas de gerenciamento mais abrangente, em que além da administração pública, sejam envolvidas entidades de classe, grupos organizados, população diretamente inserida na bacia hidrográfica (urbana ou rural), para que o controle e preservação dos recursos naturais possam conviver com o uso racional da área.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os dados coletados na bacia hidrográfica do rio Pequeno e das análises realizadas, concluiu-se no presente estudo que:

- A análise morfométrica mostrou que a bacia possui controle lito-estrutural; forma alongada; alta densidade de drenagem e de rios no curso superior da bacia onde se concentram os maiores declives.
- A evolução da ocupação na bacia do Rio Pequeno mostrou aumento da urbanização, da exploração agrícola e de solo exposto em 12% da área. Conseqüentemente, parte da área ocupada com vegetação natural em 2000 foi reduzida para 11% em 2006, tornando a área mais sensível à exposição dos processos erosivos. As árvores de probabilidade confirmam esta tendência de utilização inadequada, em que a maioria da ocupação com urbanização e atividades agrícolas ocorreu em solos de alta fragilidade ambiental.
- As áreas de preservação permanente (APPs) ocupam 27% da área total da bacia, sendo necessário recuperar 41% destas áreas para atender à legislação ambiental.
- Com a consideração das APPs para 27% da área total da bacia, as áreas com aptidão para agricultura e pastagem diminuíram para 45% e 2% respectivamente. As áreas com aptidão inicial para silvicultura foram reduzidas de 2% para 1% e a área de preservação aumento de 36% para 52%.
- Os resultados do conflito de uso e ocupação mostraram que 35% do total da área da bacia do rio Pequeno foram ocupadas inadequadamente, e outros 33% demonstraram formas de uso adequadas parcialmente.
- A área de estudo apresentou fragilidade ambiental bastante elevada, sendo que a fragilidade potencial muito alta e alta apresentou 78% do total da área. Para a fragilidade emergente, as mesmas classes aumentaram para 87%.
- As análises do potencial de uso das terras, legislação e da fragilidade ambiental constituíram um importante instrumento de subsídios ao planejamento ambiental, sendo que as

metodologias se complementaram na identificação de áreas frágeis e limitantes, bem como de áreas com alto potencial agrícola, fornecendo subsídios para a elaboração de planos de manejo em áreas naturais ou unidades de conservação.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- AGM – Análise Geopolítica Municipal. **São José dos Pinhais**. UTP, 2001, 127 p.
- ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. J. **Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso**. Revista Caminhos de Geografia. Campina Grande, v. 7, n. 14, p.70-77, Fev/2005.
- ALMEIDA, L. Mudanças técnicas na agricultura: perspectivas da transição agroambiental em Colombo – PR. Curitiba, 2003, 290 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- ALVARENGA, M. I. N.; PAULA, M. B. Planejamento conservacionista em microbacia. **Informe agropecuário**. Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 55-64, 2000.
- ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; ANDREOLI, F. N. Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba – RMC. 9º SILUBESA – Simpósio Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Porto Seguro, abr. p.196-205, 2000.
- BARNES, R. S.; SOUZA, J. L. Análise da compatibilidade do uso e aptidão do solo do município de Colombo (PR) com o apoio de ferramentas de SIG. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, 2003.
- BENNEMA, J., BEEK, K.J., CAMARGO, M.N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimentos de solos**. DPFS/DPEA/MA/FAO, Rio de Janeiro, 1964.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos – conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p.269-300.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice-Hall, 2002, 305 p.
- BRASIL. **Resolução CONAMA n<sup>os</sup> 302 e 303 de 20 de março de 2002; Lei Federal n<sup>o</sup> 4771 de 1965**. Disponível em: <<http://www.diariooficial.gov.br>>. Acesso em 25 de mar. de 2007.
- BRISKI, S. J. **Análise do meio físico como suporte ao planejamento ambiental e gestão territorial do alto curso da bacia hidrográfica do rio Iguaçu – PR (considerando os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos)**. Curitiba, 2004. 206p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Paraná.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Fundamentos de geoprocessamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acesso em: 20 fev. 2007.

- CAXETA-FILHO, J.V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. 171p.
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004. 209p.
- CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; PEREIRA, N. R.; FERNANDES FILHO, E. I. **Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, oeste catarinense, para o cultivo de grãos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 30, n. 3, p.509-522, mai/jun. 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980, 188 p.
- CHUEH, A. M. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno – São José dos Pinhais/PR, por meio do diagnóstico físico-conservacionista – DFC**. Curitiba, 2004. 102p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná.
- COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas – Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p.19-45.
- COMEC – Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. Cartas planialtimétricas, 1:50.000, 1976.
- DIAS, N. W.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S.; MONTESI, E. C. Estudo da **adequabilidade de uso do solo e viabilidade econômico-ambiental: o caso da fazenda Camburi**. 2005. Disponível em: <[http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/59/1/Adequa\\_Camburi.pdf](http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/59/1/Adequa_Camburi.pdf)> Acesso em: 15 mai. 2007.
- DINIZ, K. C. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Iapó no perímetro urbano de Castro – PR**. Curitiba, 2003. 98p. Monografia (Especialização em Geografia Ambiental). Universidade Tuiuti do Paraná.
- DONHA, A. G.; SOUZA, L.C.P.; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v.10, n.1, p.175-181, 2006.
- DONHA, A.G. **Avaliação do uso de técnicas de suporte a decisão na determinação da fragilidade em ambiente de geoprocessamento**. Curitiba, 2003. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná.
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Londrina. Dois tomos, 1984.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos, 1999.
- FAO. **Framework for land evaluation**. Roma, FAO. (Soil, Bull, 29) e Wageningen, ILRL, 1976. 72 p. (Publ.22).
- FLORIANI, N. **Avaliação da fragilidade geossistêmica de uma microbacia sobre geologia cárstica: potencial e limitações**. Curitiba, 2003, 147f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto alegre: Sub Bacia Hidrográfica de Arroio Dilúvio**. São Paulo, 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GARBOSSA, R.A. **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagaçaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem**. Curitiba, 2003. 136p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Universidade Federal do Paraná.
- GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio Xaxim, baía de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento**. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2003.
- GIASSON, E.; INDA JUNIOR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. **Estimativa do benefício econômico potencial de dois levantamentos de solos no Estado do Rio Grande do Sul**. Ciência Rural. Santa Maria, v.36, n.2, p.478-486, mar/abr. 2006.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1994. 49p.
- IBGE – **Cidades@ 2006**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php)>. Acesso em: 10 abr. 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING Realise 4.2**. São Paulo, 2007, conceitos cartográficos.
- JESUS, M. R. G. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Cambuí no perímetro urbano de Campo Largo - PR**. Curitiba, 2004. 116p. Monografia (Graduação em Geografia), Universidade Tuiuti do Paraná.
- LEDUC, R.; GRAÇA, P. M. L. A.; PEIXOTO, J. M. A. Classificação da cobertura e uso do solo da Reserva Extrativista do Baixo - Juruá/AM. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 2007.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2002, 178 p.
- LEPSCH, I. F. (Coord.) **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1968.
- MARTINS, F.T.; DUTRA, L.V.; FREITAS, C. C. Uso de árvore de decisão para predição da prevalência de esquistossomose no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 2007.
- MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, D. F.; LIMA, J.M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo.

- Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental.** Campina Grande, v. 9, n. 1, p.23-29, jan/mar, 2005.
- MILANI, J. R.; CANALI, N. E. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. **Revista Ra'ega.** Curitiba, v. 4, n. 4, p. 139-152, 2000.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1983, 434p.
- OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, G. S. S. C.; RODRIGUES, S. C. Fragilidade ambiental e uso do solo da bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Ambi-Água.** Taubaté, v.3, n. 1, p. 54-67, 2008.
- PACHECHENIK, P. E. **Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na bacia do rio das Pedras, Guarapuava – PR.** Curitiba, 2004. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná.
- PARANÁ: Projeções das populações municipais por sexo e idade, 2000-2010, Curitiba: IPARDES/IBGE, 2000.
- POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 179-186, jan. 2003.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994. 65p.
- REIS NAKASHIMA, M. S. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum.** Maringá, v.23, n.6, p.1547-1560, 2001.
- RINCO, L.; MENEZES, S. O. **Urbanização e desequilíbrio sócio-ambiental na microbacia do Ribeirão do Yungue, Juiz de Fora – MG.** X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Disponível em: <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/055/055.htm>. Acesso em: 30 nov. 2007.
- ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do departamento de geografia, nº 08, p.63-74. USP, 1994.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs – RIMAs. In.: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- SANTOS, A. F. **Práticas da Agricultura Familiar, o Uso e Ocupação do Solo e Qualidade da Água: a Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno – São José dos Pinhais-PR.** Curitiba, 2006. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná.
- SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Jirau município de Dois Vizinhos – Paraná.** Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Paraná.
- SANTOS, I. **Proposta de Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba, UFPR, 1997.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes badlands or Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin.** n. 67, p.597-646, 1956.

SILVA, A. B. **Sistemas de informação geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Unicamp, 1999.

SOUZA, L. C. P.; SIRTOLI, A. E.; LIMA, M. R.; DONHA, A. G. Estudos do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Capital Ltda, 2005. 500p.

STRAHLER, A. **Geografia Física**. Barcelona: Omega, 1974, 550p.

VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos picos Camacã, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 37, n. 2, mai./ago. 2007.

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. J. Sistema de informação geográfica: uma proposta metodológica. In.: TAUK-TORNIELO S. M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S. T. (Org.). **Análise ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995, 381p.