

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO - SHS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA - CRHEA
ENGENHARIA AMBIENTAL

JOÃO PAULO FREITAS ALVES PEREIRA

**Caracterização morfométrica da bacia do Reservatório do Lobo (Broa)
Itirapina-SP/Brotas-SP e análise temporal dos usos da terra em sua área**

ORIENTADOR: FREDERICO FÁBIO MAUAD

São Carlos, SP

2013

João Paulo Freitas Alves Pereira

**Caracterização morfométrica da bacia do Reservatório do Lobo (Broa)
Itirapina-SP/Brotas-SP e análise temporal dos usos da terra em sua área**

Trabalho apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo como
parte dos requisitos para obtenção do título de
graduado em Engenharia Ambiental

Área de concentração: Planejamento e
Gerenciamento de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos, SP

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P426c Pereira, João Paulo Freitas Alves
Caracterização morfométrica da bacia do Reservatório do Lobo (Broa) Itirapina-SP/Brotas-SP e análise temporal dos usos da terra em sua área / João Paulo Freitas Alves Pereira; orientador Frederico Fábio Mauad. São Carlos, 2013.

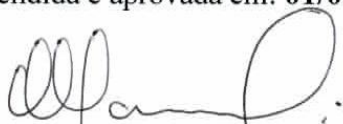
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. SIG.
2. erosão.
3. usos da terra.
4. imagens CBERS.
5. Reservatório do Lobo.
6. bacia hidrográfica.
7. características morfométricas. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato(a): **João Paulo Freitas Alves Pereira**

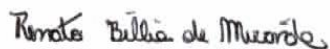
Monografia defendida e aprovada em: **01/07/2013** pela Comissão Julgadora:



Frederico Fábio Mauad



Marcus Vinicius Estigoni



Renato Billia de Miranda



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial aos meus pais, Nazaré e João, pelo amor e carinho que, juntamente com meus irmãos, Maria Eugênia e Daniel, apoiaram em tudo até hoje em minha vida.

Ao meu orientador Frederico Fábio Mauad pela oportunidade de experiência em pesquisa acadêmica, paciência e disponibilidade, e ao Julio Issao Kuwajima (Pankada), quem considero grande amigo, co-orientador e de essencial importância para realização desse estudo.

Aos meus colegas e amigos do núcleo de hidrometria, Marcus (Doriana), Diego, Juliana e Renato pelo companheirismo, pela troca de experiências e convívio, ajudando a realização do trabalho.

Aos meus irmãos: Thulio, os moradores e ex-moradores da república FuraZoió, e integrantes e ex-integrantes do Grupo de Som, que ajudaram na minha formação como cidadão e de meu caráter.

Sobretudo a Bárbara por ser minha companheira, pelos conselhos e suporte nos diversos momentos.

“Natura non facit saltum”. (A natureza não dá saltos)

Maximus Tyrius

RESUMO

PEREIRA, J.P.F.A. Caracterização morfométrica da bacia do Reservatório do Lobo (Broa) Itirapina-SP/Brotas-SP e análise temporal dos usos da terra em sua área. Trabalho de Graduação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. 46p.

Cada vez mais o meio ambiente vem sofrendo com o uso antrópico da terra. Os recursos hídricos são um dos que mais sofrem por não terem a proteção necessária advinda da cobertura vegetal adequada a sua manutenção. A utilização da bacia hidrográfica como unidade ambiental é habitual para analisar fatores necessários para a gestão e planejamento ambiental. Nesse sentido, a caracterização das bacias e a utilização de imagens de satélite, para analisar a interferência do uso do solo nos processos erosivos e hidrossedimentológicos, são cada vez mais empregadas para estudos de diagnóstico e prognóstico ambiental. Portanto, o referido estudo vem analisar a bacia de contribuição do reservatório do Lobo no que tange as suas formas e os usos da terra em seus limites, utilizando-se de cartas 1:50000 do levantamento topográfico do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e geoprocessamento de imagens CBERS (China-Brazil Earth-Resources Satellite), em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), através do *software ArcGIS*. Os resultados mostraram que a bacia é de médio porte, de forma mais alongada, com poucos canais de drenagem e retilíneos, o que ajuda em não haver tendências a inundações, entretanto o transporte de sedimentos pode ser acentuado e deve ser monitorado, principalmente por questões de volume útil do reservatório. Além disso, os usos do solo apresentaram valores preocupantes que indicam a necessidade de um melhor planejamento da ocupação da área de entorno do reservatório. Por fim, acredita-se que a utilização de uma escala maior de estudo melhore o nível de detalhamento.

Palavras-chave: SIG, erosão, usos da terra, imagens CBERS, reservatório do Lobo, bacia hidrográfica, características morfométricas.

ABSTRACT

PEREIRA, J.P.F.A. Morphometric characterization of the basin of Lobo reservoir (Broa), Itirapina-SP/Brotas-SP and temporal analysis of land use in its area. Monograph (Undergraduate Work). Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2013. 46p.

Increasingly the environment has been suffering with anthropogenic land use. Water resources are one of those who suffer from not having the necessary protection arising from adequate vegetation cover their maintenance. The use of the watershed as a unit is customary to analyze environmental factors necessary for management and environmental planning. In this sense, the characterization of the basins and the use of satellite images, to analyze the interference of land use on erosion and hydrosedimentological, are increasingly used for studies of diagnostic and prognostic environment. Therefore, this study is to analyze the basin of Wolf's reservoir regarding their forms and uses of land within its boundaries, using maps of the topographic survey of the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) and geoprocessing imagens from CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite-) in GIS (Geographic Information System), through the ArcGIS software. The results showed that the basin has a medium size, is more elongated and has short straight drainage canals, which helps in lower tendencies of flooding. However, the sediment transport can be enhanced and should be monitored, especially for reasons volume of the reservoir. In addition, the uses of soil varied worrying that indicate the need for better planning of the occupation of the area around the reservoir. Finally, it is believed that the use maps with larger scale in the study, will improve the level of details.

Keywords: GIS, erosion, land uses, CBERS images, Lobo reservoir, watershed, morphometric characteristics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão do estado de São Paulo em UGRHIs	5
Figura 2 - Estrutura da Política Estadual dos Recursos Hídricos de São Paulo	5
Figura 3 - Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (CARCAVLHO, 2008)	9
Figura 4 - Ilustração Satélite CBERS2	10
Figura 5 - Bacia Hidrográfica do Reservatório do Lobo, considerada no estudo	15
Figura 6 - Divisão da bacia em sub-bacias.	16
Figura 7 - Características morfométricas de bacia hidrográfica analisadas no estudo	19
Figura 8 - Fluxograma da metodologia para obtenção dos dados de uso e ocupação do solo.....	22
Figura 9 - Base Cartográfica oriunda das cartas do IBGE 1:50000.....	23
Figura 10 - Modelo Digital do Terreno (MDT)	26
Figura 11 - Mapa Hipsométrico	27
Figura 12 - Mapa Declividade	28
Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação em 1971	31
Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Mínima Distância	32
Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Máxima Semelhança	33
Figura 16 - Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Mínima Distância	34
Figura 17 - Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Máxima Semelhança	35
Figura 18 - Gráfico da evolução das áreas de agropecuária entre os anos de 1971, 2003 e 2009	36
Figura 19 - Gráfico da evolução das áreas de vegetação entre os anos de 1971, 2003 e 2009.....	36
Figura 20 - Gráfico da evolução das áreas com água entre os anos de 1971, 2003 e 2009	37
Figura 21 - Gráfico da evolução das áreas de cana-de-açúcar entre os anos de 1971, 2003 e 2009	38
Figura 22 - Gráfico da evolução das áreas de Pinus <i>sp</i> entre os anos de 1971, 2003 e 2009	38
Figura 23 - Gráfico da evolução das áreas de urbanização entre os anos de 1971, 2003 e 2009	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Geométricas de Bacia Hidrográfica.....	6
Tabela 2 - Características do Relevo de Bacia Hidrográfica	7
Tabela 3 - Características da rede de drenagem de Bacia Hidrográfica.....	7
Tabela 4 - Cartas obtidas junto ao IBGE.....	17
Tabela 5 - Características Morfométricas da bacia e sub-bacias.....	24
Tabela 6 - Distribuição das classes de declividade na bacia	29
Tabela 7 - Descrição em área dos tipos de uso e ocupação de cada cenário estudado.....	30
Tabela 8 - Área em porcentagem dos tipos de uso e ocupação em cada cenário	30

LISTA DE ABREVIATURAS

APA	Área de Proteção Ambiental
BD	Banco de Dados
CBERS	China-Brazil Earth-Resources Satellite
CCD	Charge-Coupled Device
CRHEA	Centro de Recursos Hídricos e Biologia Aplicada
HRC	High Resolution Camera
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRMSS	Infrared Multispectral Scanner
MDT	Modelo Digital do Terreno
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UGRHI	Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverso de Mercator
WFI	Wide Field Imager

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS	xix
SUMÁRIO	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Bacia hidrográfica	4
3.2. Erosão hídrica e seus principais impactos em reservatórios	8
3.3. Sensoriamento Remoto	9
3.3.1. China-Brazil Earth-Resources Satellite (CBERS).....	10
3.3.2. Geoprocessamento.....	11
3.3.2.1. SIG.....	11
3.3.2.2. Georreferenciamento	12
3.3.2.3. Classificação de imagens	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1. Descrição do local de estudo.....	14
4.2. Base Cartográfica	16
4.3. Digitalização	17
4.4. Geração do MDT (Modelo Digital do Terreno).....	18
4.5. Características Morfométricas da Bacia.....	19
4.6. Imagens de Satélite CBERS.....	20

4.7.	Classificação supervisionada de imagens CBERS.....	20
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1.	Morfometria da Bacia e Sub-bacias	23
5.2.	Uso e Ocupação.....	29
6.	CONCLUSÕES	40
7.	RECOMENDAÇÕES.....	41
8.	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Problemas ambientais, como assoreamento dos corpos d'água e deterioração do meio ambiente, são consequências do aumento significativo da utilização dos recursos naturais, em destaque recursos florestais, hídricos e pedológicos.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento econômico agrícola do Brasil tem sido caracterizado pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento promovendo grandes perdas de solo pela erosão, juntamente com fatores pedológicos e climáticos. No Estado de São Paulo registrou-se que 83% dos municípios são considerados de média a alta criticidade à erosão (SÃO PAULO, 2006). Sendo a principal causa da degradação das terras agrícolas, a erosão consiste nos processos de desprendimento e arraste de suas partículas, causados pela ação da água e do vento. Segundo Zachar (1982), a erosão hídrica, causada pela chuva e escoamento superficial, é a mais importante forma de erosão.

A ocorrência de eventos erosivos é acentuada por modificações rápidas na cobertura vegetal bem como pelo tipo de manejo das culturas. A sua dinâmica tem sido associada fundamentalmente às atividades antrópicas. Dela oriunda o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e agroquímicos na água dos mananciais.

Os sedimentos são, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de concentração na água, impactos no uso da água e efeitos no transporte de outros poluentes como observado por Brooks *et al.* (1991).

Além dos impactos listados acima, a geração de sedimentos em uma bacia hidrográfica pode gerar complicações como o assoreamento dos corpos de água e de reservatórios, o que pode representar perda de volume de reservação (redução do volume de água promovida pelos sedimentos depositados no fundo da barragem). Sendo assim, com o tempo, pode haver

comprometimento da disponibilidade hídrica para o consumo humano, irrigação e geração de energia, entre outros.

Muito dispendiosas, as obras de dragagem destes sedimentos acabam também apenas por resolver somente os sintomas e não as causas do problema. A operação do aproveitamento pode ser dificultada pelo assoreamento gradual do reservatório. Em usinas hidrelétricas, acontece quando a cota da tomada d'água é atingida pelo sedimento depositado. Porém, apesar de que sedimentação contínua possa resultar em assoreamento indesejável, é benéfica de certa maneira, pois promove a limpeza da água para seus diversos usos. (CARVALHO, 2008)

Estudada desde o início da década de 70, sendo provavelmente um dos corpos de água mais analisados no Brasil, a bacia hidrográfica do Reservatório do Lobo foi objeto de estudo desse trabalho. Reservatório de tamanha importância também por ser um dos mais antigos do país, tendo uma quantidade de informações disponíveis sobre este sistema muito grande, uma vez que estudos sobre o mesmo são continuamente desenvolvidos até hoje. Sendo assim de grande importância dar continuidade aos estudos e monitoramentos tanto da barragem, quanto da bacia e seu entorno, como foi realizado nesse trabalho.

Nas proximidades da margem do reservatório está localizado o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), um importante centro de pesquisa da USP, onde muitas pesquisas já realizadas estão relacionadas ao reservatório e as bacias adjacentes.

Apesar da bacia hidrográfica da represa do Lobo estar contida em uma área de proteção ambiental (APA), Camargo (1991) afirma que ao longo dos anos o processo de degradação e simplificação biológica da área está aumentando, principalmente devido ao uso e ocupação do solo e à falta de medidas de conservação da qualidade ambiental (ARGENTON, 2004). Aumentando ainda mais a necessidade de maior investigação da área.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do estudo é caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do Reservatório do Lobo, bem como analisar os usos na região do entorno da represa. Pode-se destacar como objetivos específicos:

- ⤴ Utilização de SIG, para gerar base digital de topográficos, hidrológicos e de uso ocupação a partir tanto de cartas cartográficas quanto imagens de satélite.
- ⤴ Fornecer dados que serviram de subsídios a pesquisas realizadas no próprio núcleo de hidrometria, assim como auxiliarão futuros estudos na bacia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Bacia hidrográfica*

A bacia hidrográfica é definida por Tucci (1997) como sendo composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório, ou seja, uma área de captação natural de água da chuva fazendo com que essa água convirja em um ponto ao seu fim.

Sendo assim, sua forma está muito relacionada com a topografia. É delimitada pelos chamados divisores de águas, que são linhas imaginárias, separadoras de águas pluviais, onde estas escoam em direções diferentes dependendo do lado em que estão da linha.

No Brasil, as bacias hidrográficas se tornaram importante na divisão para o gerenciamento dos recursos hídricos. Fato explicado por apresentar essa característica de ente sistêmico, de balanço da entrada e saída de águas.

Conseqüentemente, atualmente em diversas regiões do Brasil e, principalmente no estado de São Paulo, têm-se essa divisão em bacias bem consolidada, com agentes e órgãos de gestão e gerenciamento atuantes, tais como os comitês de bacias, agências de bacias, entre outros. Nesse estado da federação foi realizada a divisão em UGRHI (Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos), conforme Figura 1, que são bacias ou conjunto de bacias de rios com certa importância regional, nas quais são geridas pelos seus comitês de bacias. A Figura 2, ilustra a estrutura da Política Estadual dos Recursos Hídricos de São Paulo, indicando os esses agentes e suas incumbências.



Figura 1 - Divisão do estado de São Paulo em UGRHs

Fonte: Adaptado de SÃO PAULO (1995)

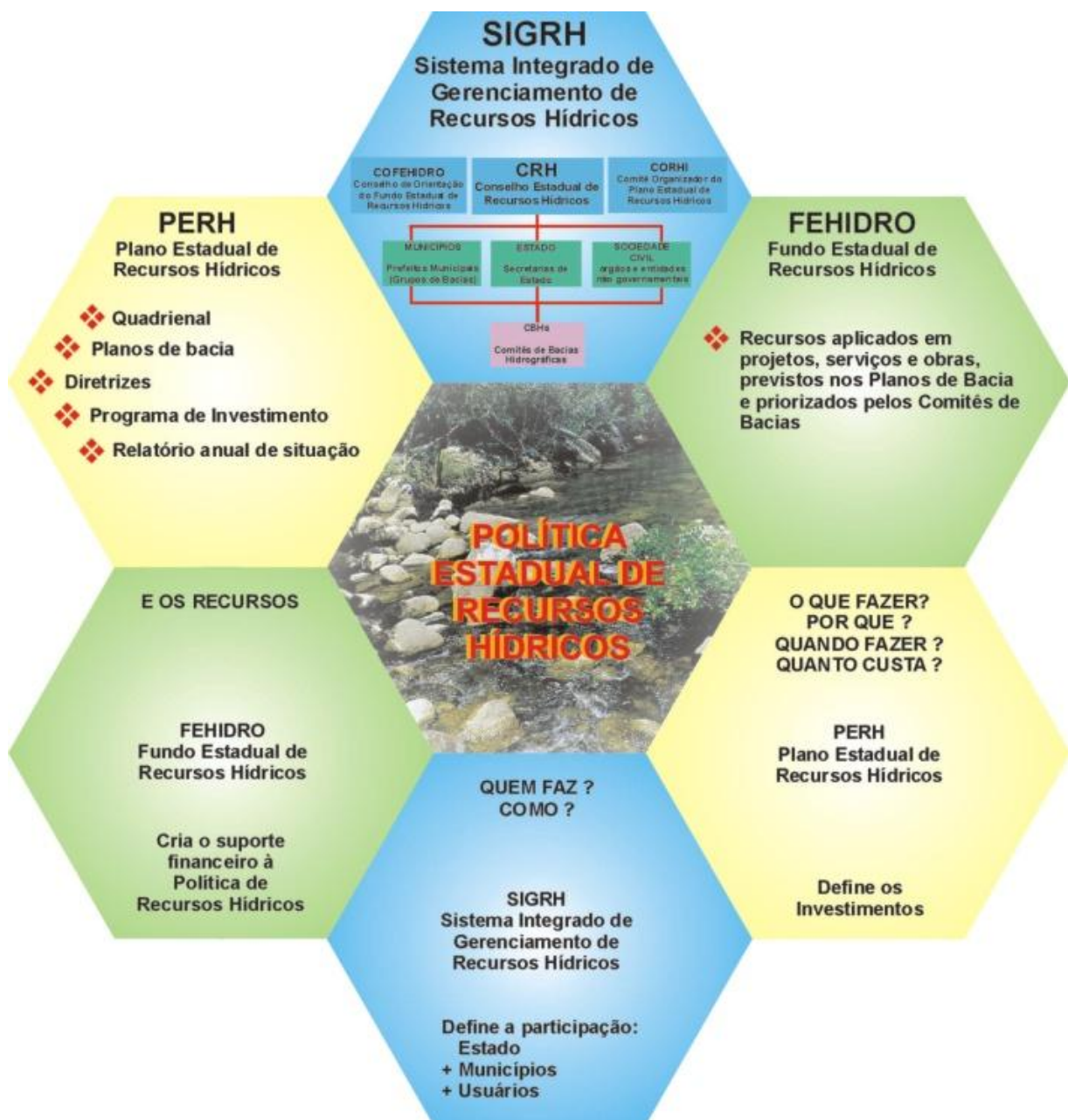


Figura 2 - Estrutura da Política Estadual dos Recursos Hídricos de São Paulo

Fonte: SIGRH (2013)

As bacias hidrográficas, como um sistema individualizado, podem ser consideradas como fontes de dados relevantes para a obtenção de informações sobre a evolução do modelado da superfície da Terra. A combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais como observado por Antonelli e Thomaz (2007). As Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 apresentam as características apontadas por muitos autores como as principais a serem analisadas.

Tabela 1 - Características Geométricas de Bacia Hidrográfica

CARACTERÍSTICA GEOMÉTRICA	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
Área	Toda área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal, sendo elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos (TONELLO, 2005).	
Perímetro	Comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005).	
Fator de forma	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia.	$F = \frac{A}{L^2}$ <p>Sendo: F – Fator de Forma (adimensional) A – Área de drenagem (km²) L – Comprimento do eixo da Bacia (km) (VILLELA; MATTOS 1975)</p>
Coefficiente de compacidade	Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia (CARDOSO et al., 2006). Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a um.	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ <p>Sendo: Kc – coeficiente de compacidade (adimensional) P – Perímetro (km) A – Área de drenagem (km²) (VILLELA; MATTOS 1975)</p>
Índice de circularidade	Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia aproxima-se a forma circular e diminui a medida que a forma torna alongada	$Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2}$ <p>Sendo: Ic – Índice de Circularidade (adimensional) A – Área de drenagem (km²) P – Perímetro (CARDOSO et al., 2006)</p>
Densidade hidrográfica	Relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica com a finalidade, segundo Crhistofletti (1969), de comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão, como por exemplo, o quilômetro quadrado.	$Dh = \frac{N}{A}$ <p>Sendo: Dh – Densidade hidrográfica (canais/km²) N – Número de canais A – Área de drenagem (km²) (CRHISTOFLETTI, 1969)</p>

Adaptado pelo autor

Tabela 2 - Características do Relevo de Bacia Hidrográfica

CARACTERÍSTICA DO RELEVO	DESCRIÇÃO
Altitude	A variação de altitude associa-se com a evaporação e transpiração, além de precipitação, sendo assim sobre o deflúvio médio. Altas variações de altitude numa bacia causam diferenças significativas na temperatura média, que por sua vez, causa variações na evapotranspiração. No entanto as mais significativas são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação.
Declividade	A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). Segundo EMBRAPA (1979), um relevo plano tem declividade entre 0% e 3%, um relevo suave ondulado entre 3% e 8%, um relevo ondulado entre 8% e 20%, um relevo forte ondulado, 20% e 45%, relevo montanhoso, um 45% e 75%, e maiores que 75% são relevos fortemente montanhosos.
Amplitude altimétrica	A variação entre a altitude máxima e altitude mínima.

Adaptado pelo autor

Tabela 3 - Características da rede de drenagem de Bacia Hidrográfica

CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
Ordem dos cursos d'água	Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Robert E. Horton, em 1945, foi quem propôs de modo mais preciso, os critérios para ordenação dos cursos d'água. Sendo os canais de primeira ordem aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente (CARDOSO et al. 2006).	
Densidade de drenagem	Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os temporários, definida por Horton (1945) (CRHISTOFOLETTI, 1969).	$Dd = \frac{\sum L}{A}$ <p>Sendo: Dd – Densidade de drenagem (km/km²) ΣL – Somatório dos comprimentos dos canais (km) A – Área de drenagem (km²) (CRHISTOFOLETTI, 1969)</p>
Índice de sinuosidade	É a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal (ALVES; CASTRO, 2003), ou seja, relaciona a projeção ortogonal com o comprimento em linha reta entre os dois extremos do canal principal. Ele mostra a influência da carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais.	$Is = \frac{L}{Dv}$ <p>Sendo: Is – Índice de sinuosidade (adimensional) L – Comprimento do canal principal (km) Dv – Distância vetorial do canal principal (km) (ALVES; CASTRO, 2003).</p>

Adaptado pelo autor

As fórmulas para obtenção dos parâmetros morfométricos da bacia, mostrados nas Tabela 1 e Tabela 3 são encontradas em Antonelli e Thomaz (2007), Alves e Castro (2003), Cardoso (2006), Christofolletti (1969), Tonello (2005) e Villela e Mattos (1975).

3.2. *Erosão hídrica e seus principais impactos em reservatórios*

A erosão hídrica é o transporte de sedimentos e partículas oriundas do solo decorrente da ação da água, através do processo de arrastamento. Dentre as formas de erosão hídrica, destacam-se a realizada pela água dos rios (erosão fluvial) e pela água da chuva (erosão pluvial) (ARROIO JURNIOR, 2013).

O arraste desses sedimentos e partícula além de prejudicar o solo que está sendo erodido, ele pode acarretar em assoreamentos e formações de bancos de areia em corpos d'água pelo processo de sedimentação. Segundo Kuwajima (2012), esse problema é recorrente em reservatórios de barragens artificiais e naturais, pois essa barreira física faz com que diminua a velocidade do escoamento do curso d'água, conseqüentemente favorecendo a deposição do sedimento, e assim, o reservatório vai perdendo sua vida útil.

A Figura 3, a seguir mostra o esquema das principais regiões do reservatório onde há deposição de sedimentos e seus principais problemas. Dentre os problemas destaca-se a redução da capacidade útil, principalmente da redução do volume útil, que seria o volume entre a cota mínima de operação e a cota máxima de operação, ou seja, o volume que pode ser utilizado para os usos consuntivos e não-consuntivos propostos pelo empreendimento.

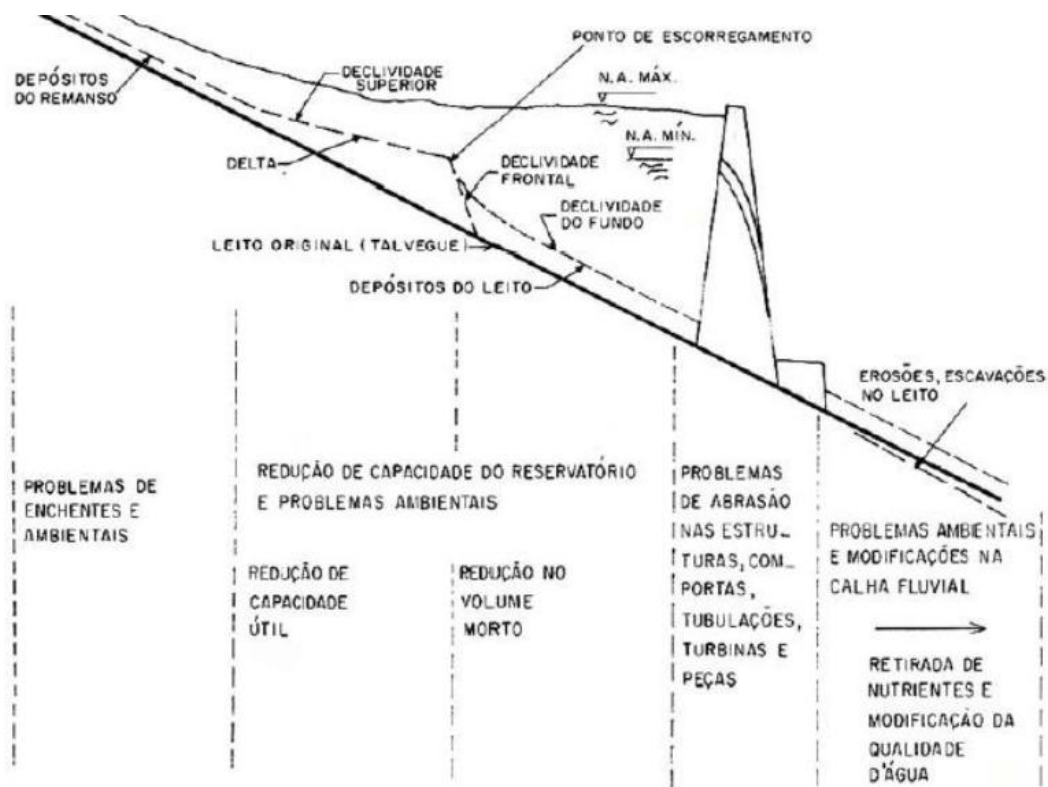


Figura 3 - Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (CARCAVLHO, 2008)

3.3. Sensoriamento Remoto

Moraes (2002) destaca que, o sensoriamento remoto utiliza-se de sensores remotos, geralmente presentes nos equipamentos em órbita, onde é captada a interação da energia, contida em moléculas e átomos das amostras de estudo com a radiação eletromagnética dos diversos comprimentos de ondas, e assim, medindo as intensidades do espectro eletromagnético, identificar e avaliar as principais características. Fato possível porque a radiação eletromagnética se propaga no vácuo.

Conforme Rosa (2009), o sensoriamento remoto tem uma metodologia composta por duas fases importantes, sendo que a primeira seria a aquisição de dados (os processos de detecção e registro de informação), enquanto que a segunda seria a análise de tais dados.

Existem diversas oportunidades presentes no sensoriamento remoto, pode-se obter diversos dados como: Climatológicos (utilizados na previsão de eventos climáticos, entre outros);

Identificação de tipos de vegetação; entre outros.

O levantamento do uso da terra, necessário para fins de planejamento, pode ser obtido a partir da utilização de dados multiespectrais, fornecidos por satélites de Sensoriamento Remoto, associados às técnicas de interpretação (PEREIRA *et al.*, 1989). As vantagens de utilizar dados de sensoriamento remoto no levantamento do uso atual das terras são, conforme Freitas Filho e Medeiros (1993):

- Atingir grandes áreas de difícil acesso e fazer o imageamento a altas altitudes;
- Possibilitar uma visão sinóptica da superfície terrestre, com repetitividade, viabilizando as ações de monitoramento.

3.3.1. China-Brazil Earth-Resources Satellite (CBERS)

Um sistema completo de sensoriamento remoto inserido no Brasil possibilitou um grande avanço tecnológico, refletidos no fomento da ciência, indústria e serviços relacionados à área espacial. A missão CBERS mantém três satélites de observação terrestre em órbita: o CBERS-1 (lançado em 1999 e inativo em 2003), o CBERS-2 (lançado em 2003) (Figura 4) e CBERS-2B (lançado em 2007). O programa previa o desenvolvimento e a construção de apenas dois satélites de sensoriamento remoto, porém com o sucesso obtido na missão, foi assinado um acordo para continuidade do programa em 2002, que ainda prevê o lançamento de mais dois satélites (CBERS-3 e o CBERS-4).

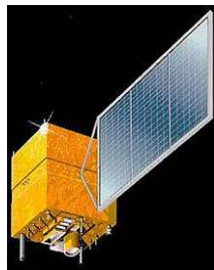


Figura 4 - Ilustração Satélite CBERS2
Fonte: INPE (2013)

Tais satélites possuem diferentes câmeras imageadora: Imageador de Amplo Campo de Visada (*Wide Field Imager - WFI*), Câmera Imageadora de Alta Resolução (*CCD - Charge-Coupled Device*), Imageador por varredura de Média Resolução (*IRMSS – Infrared Multispectral Scanner*) e Câmera Pancromática de Alta Resolução (*HRC - High Resolution Camera*). Para cada tipo de equipamento têm-se aplicações e usos específicos dependendo de suas características e especificações. Diversos estudos apontam que as imagens da CCD têm grande potencial aplicativo em estudos de identificação de tipos de vegetação, agricultura, interferências antrópicas, hidrografia, e, portanto uso e ocupação do solo.

3.3.2. Geoprocessamento

O Geoprocessamento é um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para a obtenção e apresentação das transformações desejadas (XAVIER-DA-SILVA. 1992 apud MOURA, 2003).

De acordo com Moreira (2001), ele pode ser aplicado em várias áreas científicas tais como: agricultura, cartografia, geografia, geologia, entre outras, além de contribuir para o planejamento urbano e rural, meio de transportes, comunicações, energia, etc. Mas também, podem-se estender as suas aplicações para os estudos ambientais (estudo e avaliação de impactos ambientais, diagnósticos e prognósticos ambientais, etc.).

3.3.2.1. SIG

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas destinados ao tratamento de dados georreferenciados. Tais sistemas manipulam dados de diversas fontes como mapas, imagens, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de

análise sobre os dados (ALVES, 1990).

A tecnologia dos SIG integra operações comuns em bancos de dados, tais como consultas e análises estatísticas com vantagens de visualização e análise geográfica oferecidas pelos mapas (PAREDES, 1994). Neste contexto, é possível operá-los constituídos por um conjunto de funções computacionais estabelecidas com a finalidade de mapear e analisar dados e informações na superfície da Terra e, por conseguinte usos do solo.

3.3.2.2. Georreferenciamento

Segundo Vieira 2007, georreferenciar uma imagem é tornar as suas coordenadas conhecidas em um dado sistema de referência, a partir das coordenadas, pertencentes ao sistema no qual se planeja georreferenciar, de pontos da imagem conhecidos como Pontos de Controle, que são locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável, tais como intersecções de estradas e de rios, represas, pistas de aeroportos, edifícios proeminentes, topos de montanha.

O georreferenciamento de cartas, mapas e imagens, por exemplo, auxilia para realizar operações métricas diretamente como cálculo de distâncias, áreas, perímetros, estimar volumes, entre outros. Vale ressaltar que uma carta, mapa ou imagem georreferenciada facilita a localização de objetos e informações pelo leitor.

3.3.2.3. Classificação de imagens

A classificação de uma imagem é o processo de extração de informação para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse (INPE, 2013). Os métodos de classificação são agrupados em classificação supervisionada e classificação não supervisionada.

De acordo com CRÓSTA (1993), a classificação não supervisionada, consiste no processo

automático do computador que decide quais as classes a serem separadas e quais os *pixels* pertencentes a cada uma, ou seja, ele define as classes componentes e atribui cada um dos *pixels* a uma das classes. No caso da classificação supervisionada, o usuário identifica amostras de locais específicos que tenham características conhecidas, atribuindo a elas as classes desejadas, e posteriormente, os *pixels* presentes nessas áreas serão identificados e analisados pelo computador que atribuirá as mesmas características as áreas com pixels semelhantes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. *Descrição do local de estudo*

Originada pela captação dos Ribeirões do Lobo e Itaqueri e pelos córregos do Geraldo e das Perdizes, a Bacia da represa do Broa tem suas águas percolando uma vasta área de sedimentos holocênicos, apresentando em alguns pontos intrusão de basalto. A vegetação é de grande parte constituída de cerrado, com manchas de mata galeria nos solos mais úmidos. Mas também há regiões onde se encontra reflorestamento com *Pinus sp* e áreas de agricultura, em sua maioria laranja e cana-de-açúcar (SOARES *et. al.*, 2003).

A Represa do Lobo foi construída em 1936 entre os municípios de Brotas e Itirapina, (22°15'S e 47°40'W), para fins de produção de energia elétrica pela antiga Central Elétrica de Rio Claro S.A (SACERC), atualmente parte integrante da Aratu Geração S.A. A Bacia da Represa do Broa tem uma área de drenagem de aproximadamente 227 Km², tendo como principal cursos d'água o Rio Itaqueri, além dos demais Ribeirão do Lobo, Córrego da Água Branca, Córrego do Geraldo e seus afluentes. Nesse estudo, resolveu-se desconsiderar uma área de 30km² da bacia por ser uma área onde se tem outro represamento bem próxima a cidade de Itirapina, no córrego do Água Branca, então se considerou a partir da jusante deste. O recorte final da bacia é ilustrado na Figura 5 e a Figura 6 mostra a divisão dela em sub-bacias, onde a sub-bacia 1, 2, 5 e 6 e são as bacias do rio Itaqueri, córrego do Geraldo, ribeirão do Lobo e córrego das Perdizes, respectivamente, e as sub-bacias 3 e 4 são bacias de córregos menores, cujo nomes não são apresentados nas cartas do IGBE.

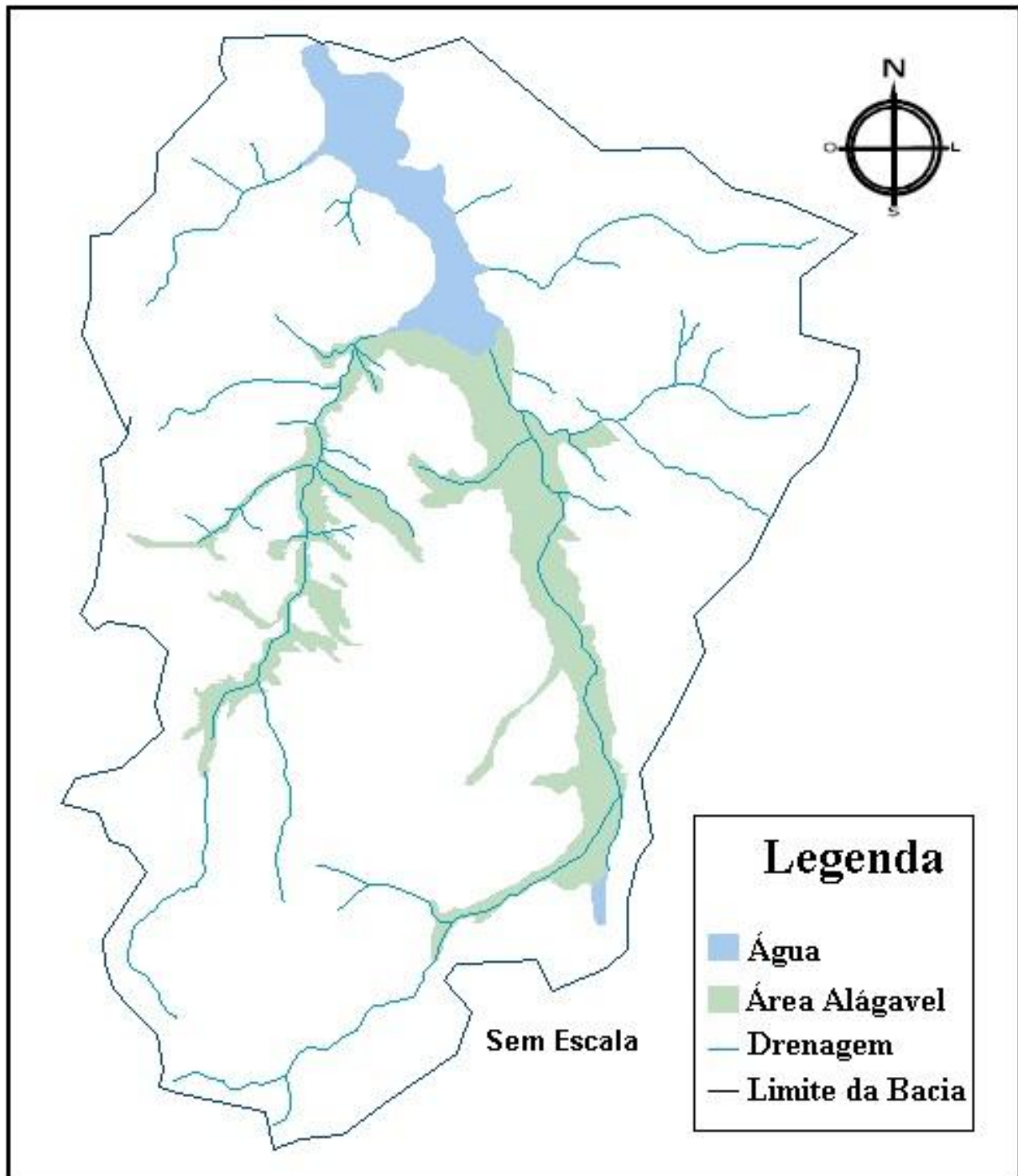


Figura 5 - Bacia Hidrográfica do Reservatório do Lobo, considerada no estudo

Fonte: Autor

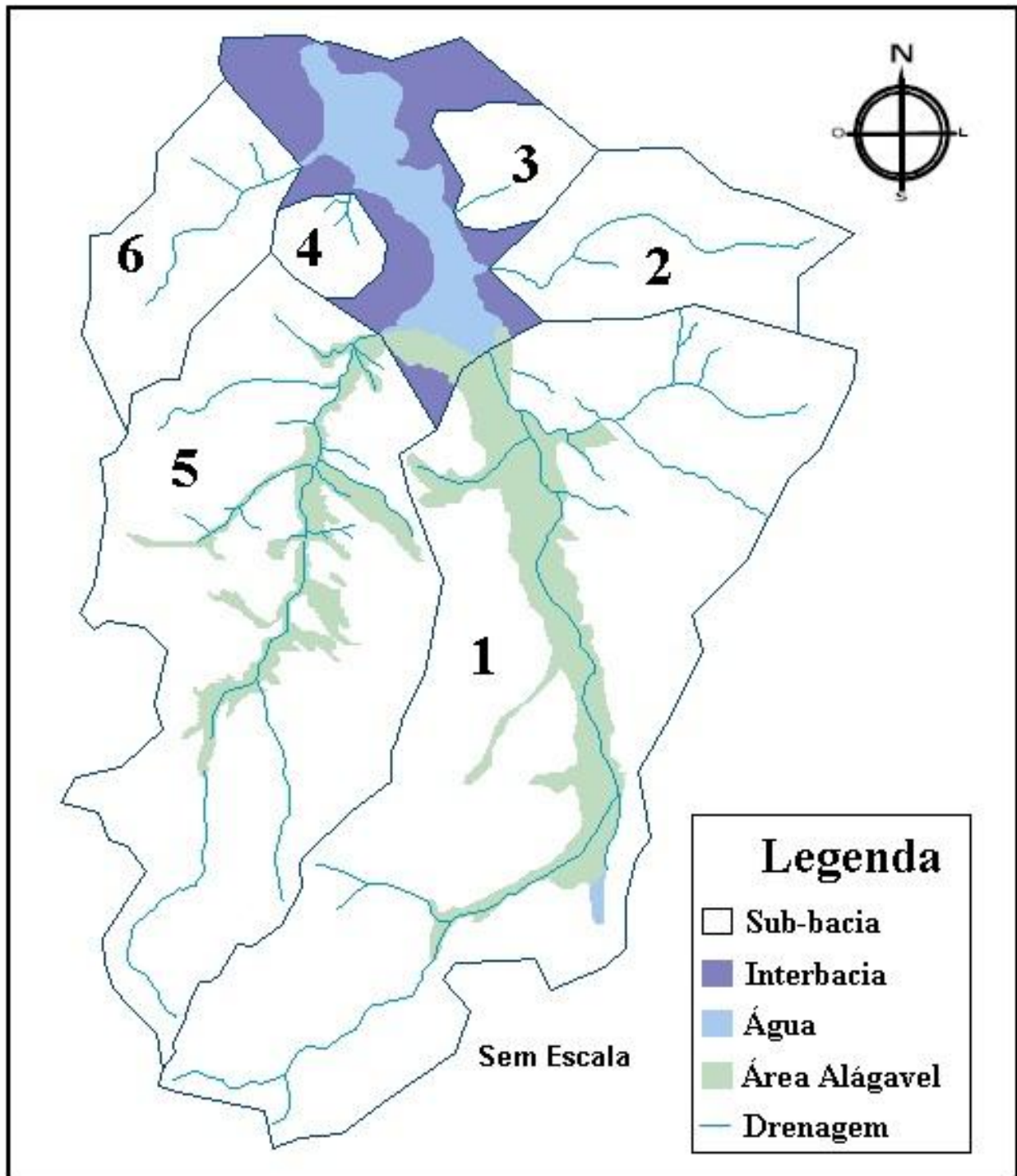


Figura 6 - Divisão da bacia em sub-bacias.

Fonte: Autor

4.2. Base Cartográfica

Um passo inicial de suma importância para a criação de um SIG é a elaboração da base cartográfica da área de estudo. A principal função desta base cartográfica é auxiliar o

referenciamento para os mapas temáticos (mapas complementares para representação de informações em múltiplas categorias), tornando-se assim de vital importância o uso de ferramentas computacionais para facilitar a entrada, manipulação e saída de dados. A elaboração da base cartográfica consiste na cartografia automatizada, seguida por uma modelagem cartográfica com a utilização de Banco de Dados (BD). A utilização desse banco de dados deve permitir a modelagem interna e externa ao sistema.

Utilizaram-se cartas em meio digital do levantamento topográfico em escala 1:50.000 obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de forma gratuita (Tabela 4).

Tabela 4 - Cartas obtidas junto ao IBGE

Carta IBGE	Articulação
São Carlos	SF-23-Y-A-I-1
Itirapina	SF-23-M-I-3

Fonte: Autor

4.3. Digitalização

Softwares utilizados: *AutoCAD MAP 2004* (Licença concedida a estudantes), *ArcGIS 9.3* (Licença adquirida pelo Núcleo de Hidrometria).

Inicialmente inseriram-se as cartas do IBGE no *AutoCAD MAP* para seu devido georreferenciamento utilizando o comando *Rubber Sheet*, utilizando 9 pontos de coordenadas conhecidas.

A partir das cartas topográficas, já georreferenciadas, são identificados e transcritos, no próprio *AutoCAD MAP*, os seguintes elementos gráficos: hidrografia (rios, espelhos d'água e áreas inundáveis), topografia (curvas de nível e pontos de cume) e uso e ocupação (culturas, vegetação e mancha urbana). Após esse processo são transferidas para o *ArcMAP* (do pacote *ArcGIS*) para acrescentar a carga de informações ou BD (Banco de Dados) na tabela de atributos, tais como:

- Cotas das curvas de nível;
- Altitudes dos pontos de cume;
- Cálculo das áreas de uso e ocupação identificadas nas cartas do IBGE (cana-de-açúcar, cerrado, cultura temporária, eucalipto, floresta, malha urbana, mata, pasto e café).

A partir desse ponto, criaram-se os demais mapas e posteriormente foi utilizada a ferramenta de recorte (*Extraction by Mask*) para a análise do local desejado, bacia e sub-bacias.

4.4. Geração do MDT (Modelo Digital do Terreno)

Com a base cartográfica, criou-se o MDT (Modelo Digital do Terreno) em formato raster, a partir da ferramenta *Topo to Raster*, que é um método de interpolação especialmente desenvolvido para a criação de MDT da forma mais precisa quanto à hidrologia. Esse método é baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Michael Hutchinson (1988, 1989). Para criação do MDT inserir os *shapesfiles* das curvas de nível, pontos de cume, drenagens e espelhos d'água e escolher seus respectivos campos da tabela de atributos onde se encontram os valores de cotas. O MDT é muito importante para geração de cartas de declividade e cartas Hipsométrica (Altitude), ambas as características do relevo da bacia que serão analisadas a seguir.

Para a elaboração da carta Hipsométrica, modificou-se o modo de apresentação do MDT no *Layer Properties (Symbology)* que era *Stretched* para *Classified* e ajustando os intervalos desejados em *Classify*. Para a carta de declividade utilizou-se a ferramenta *Slope* da extensão *3D Analyst Tools, Raster Surface* escolhendo a opção em porcentagem. Para cada célula ele calcula a taxa máxima de mudança de valor a partir dessa célula para os seus vizinhos.

4.5. Características Morfométricas da Bacia

Para melhor detalhamento a bacia foi dividida em 6 sub-bacias, e assim, analisou-se cada uma delas de acordo com as características já descritas e apresentadas na Figura 7.

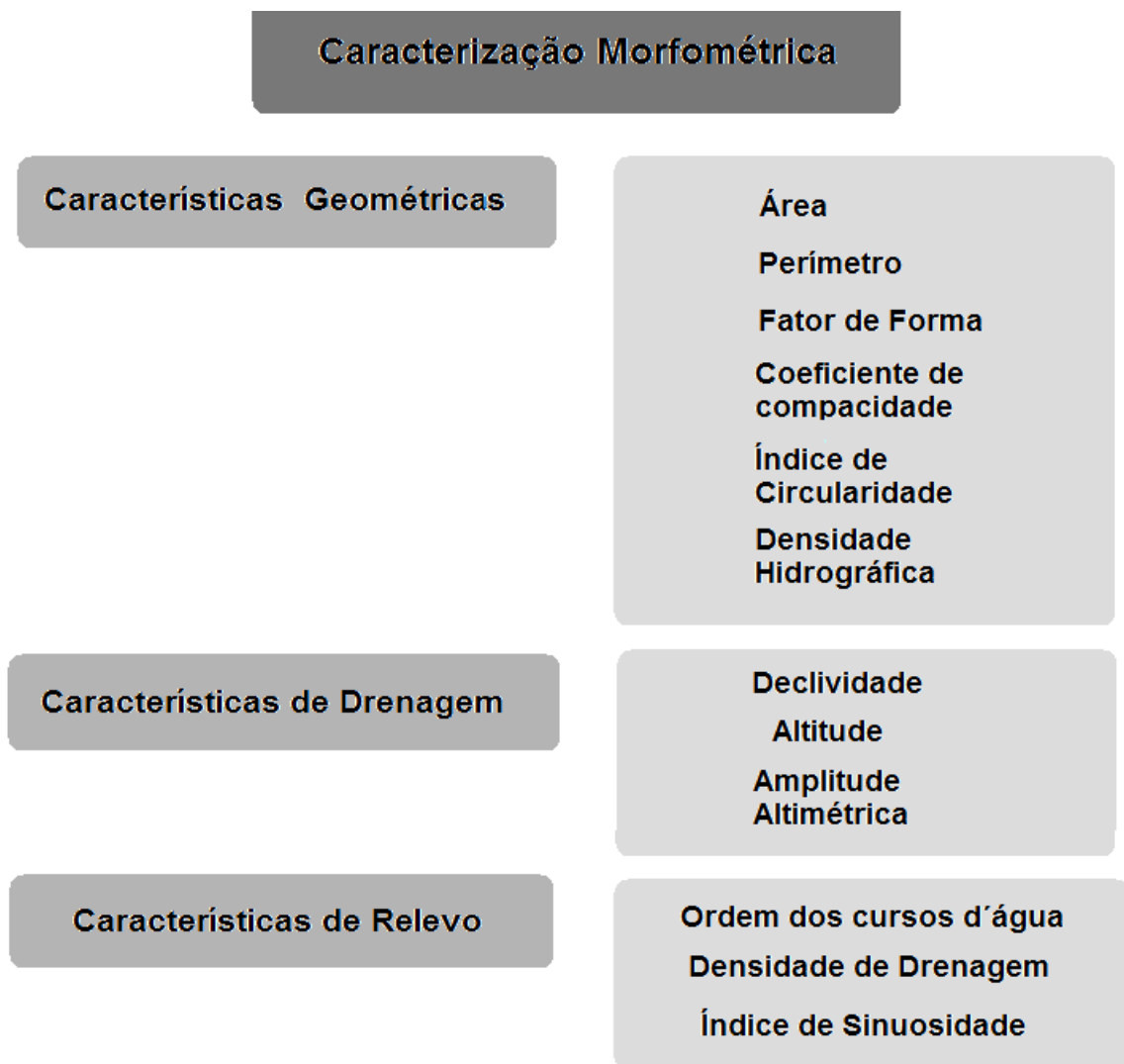


Figura 7 - Características morfométricas de bacia hidrográfica analisadas no estudo

Fonte: Autor

4.6. Imagens de Satélite CBERS

Para a caracterização dos diferentes usos de solo, foram utilizadas imagens da órbita 156 e ponto 125, nas bandas 1, 2, 3, 4 e 5, oriundas do satélite CBERS2, cena 1, e do satélite CBERS2B, cena 2, ambas provenientes do sensor CCD, uma câmera de alta resolução que cobre uma área de 113 km² com resolução espacial de 20 m. Foram escolhidas duas cenas disponibilizadas gratuitamente no sítio do INPE, nas quais não houvessem nuvens, que atrapalham a classificação, e com a maior distinção temporal. Portanto utilizaram-se a cena de 4 de novembro de 2003 e a cena de 29 de agosto de 2009, ambas sem nuvens no local de estudo e com cerca de 6 anos de diferença.

4.7. Classificação supervisionada de imagens CBERS

No trabalho com as imagens do CBERS utilizou-se a classificação supervisionada. Essa técnica consiste na extração de amostras de *pixel* (Valor ND) para ajudar o *software* a interpretar a imagem de forma automática, proporcionando uma classificação mais aferida.

Primeiramente há necessidade do georreferenciamento das imagens, logo é necessário determinar o sistema de coordenadas com o qual se irá trabalhar. No caso do estudo elegeu-se o Sistema de Coordenadas Planas (UTM), Córrego Alegre - UTM - Zone 23S, no sistema geodésico *SAD69*. Inseriu-se a imagem e iniciou-se o processo de georreferenciamento com 9 pontos de coordenadas conhecidas, utilizando a barra de ferramentas *Georeferencing*.

Após o devido georreferenciamento, iniciou-se a classificação supervisionada. Inicialmente criou-se um vetor de polígono para edição das amostras, em que cada amostra é um polígono distinto representando uma classe. Conforme se identificaram as possíveis classes, inseriu-se na tabela de atributos um novo *ID* e a classe correspondente para cada conjunto de amostras. Como a identificação das classes é visual é importante ter um bom conhecimento e acesso a área de estudo. Posteriormente às coletas e à estruturação da tabela de atributos, abriu-se a ferramenta *Create*

Signatures para transformar o vetor em estatística para a classificação.

O arquivo de assinatura gerado pela ferramenta é uma descrição estatística das classes derivadas a partir das amostras identificadas no raster, a imagem gerada do satélite. Ele consiste em duas seções:

- As informações gerais para todas as classes, tais como o número de camadas, nomes de varredura de entrada, número de classes, e assim por diante.

- Assinaturas estatísticas para cada classe, que consistem em um número de amostras e os meios e matrizes de covariância.

Posteriormente abriu-se a *Maximum Likelihood*, classificação por máxima verossimilhança. Ela considera tanto as variâncias e covariâncias das assinaturas para atribuir cada célula uma das classes representadas no arquivo de assinatura. Então, houve a inserção da imagem a ser classificada e o arquivo de assinatura criado anteriormente. Em seguida o software automaticamente realiza a classificação da imagem. Esse processo deixa um pouco de resíduo nas bordas, que podem ser ajustados com um procedimento de filtragem.

Existem outros modos de classificação supervisionada, como a Distância Mínima (*Minimum Distance*), que é um caso particular do método de Máxima Verossimilhança descrito anteriormente, pois considera as matrizes de covariância de todas as classes como diagonais e iguais (RICHARDS, 1986). Segundo RICHARDS (1995), quando as amostras são bem conhecidas, o procedimento *Maximum Likelihood* é recomendado, no entanto caso há preocupações sobre a qualidade na identificação das classes, o procedimento *Minimum Distance* com distâncias padronizadas devem ser utilizado. Sendo assim, realizou-se esse outro procedimento também, através da extensão *Image Analysis*, em que os passos são semelhantes à classificação por máxima semelhança.

As classes analisadas foram:

- Água;
- Agropecuária (Agruparam-se as áreas de pasto, áreas de várzea ou alagáveis, café, cultura temporária);

- Cana-de-açúcar;
- *Pinus sp* (Agruparam-se as áreas de reflorestamento com eucalipto e pinheiro);
- Vegetação (Agruparam-se as áreas de floresta, mata e cerrado);
- Urbanização (Malha urbana, estradas e rodovias, e solo exposto).

Por fim, a Figura 8 apresenta o fluxograma básico da metodologia empregada para a obtenção dos dados para a análise temporal do uso e ocupação.

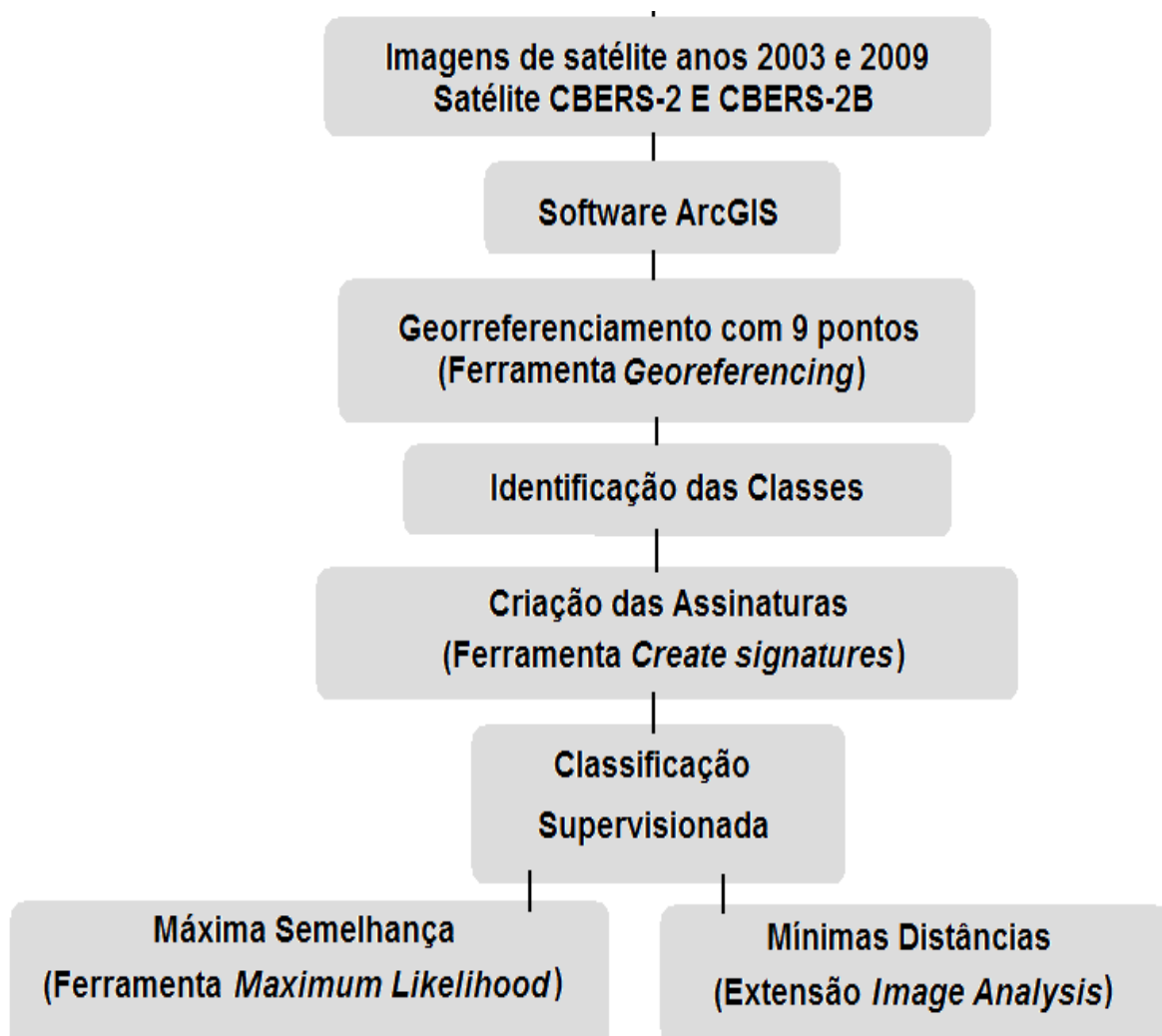


Figura 8 - Fluxograma da metodologia para obtenção dos dados de uso e ocupação do solo

Fonte: Autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. *Morfometria da Bacia e Sub-bacias*

Depois da elaboração da base cartográfica (Figura 9), calcularam-se os parâmetros da morfometria da bacia já descritos (Tabela 5).

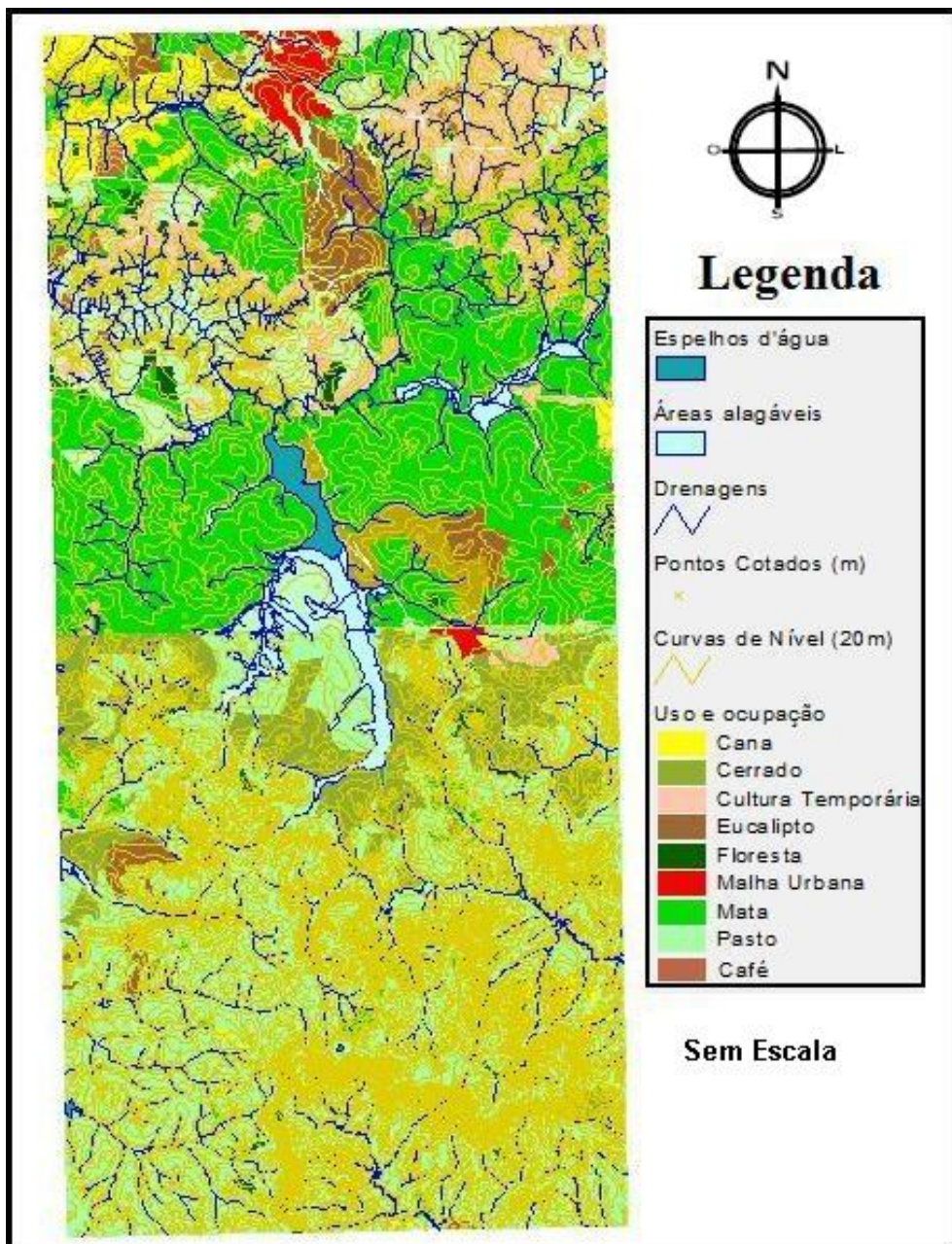


Figura 9 - Base Cartográfica oriunda das cartas do IBGE 1:50000

Fonte: Autor

Tabela 5 - Características Morfométricas da bacia e sub-bacias

Características Morfométricas							
	Bacia	Sub-bacia1	Sub-bacia2	Sub-bacia3	Sub-bacia4	Sub-bacia5	Sub-bacia6
Área de Drenagem (km ²)	196,857	83,850	14,077	4,844	3,073	59,703	13,205
Perímetro (km)	66,104	48,412	16,606	8,801	6,461	39,632	15,998
Comprimento do eixo da Bacia (km)	20,654	18,120	6,721	2,568	1,901	14,700	6,422
Comprimento do canal principal (km)	20,136	20,136	7,046	1,185	1,118	15,257	4,185
Distância vetorial do canal principal (km)	14,636	14,636	6,089	1,171	1,026	13,057	3,875
Somatório dos comprimento dos canais (km)	99,362	44,586	7,942	1,158	2,000	37,529	6,147
N° de canais	72,000	28,000	3,000	1,000	5,000	30,000	5,000
Fator de forma	0,461	0,255	0,312	0,734	0,851	0,276	0,320
Coefficiente de compacidade	1,319	1,480	1,239	1,120	1,032	1,436	1,233
Índice de circularidade	0,566	0,450	0,642	0,786	0,925	0,478	0,649
Densidade hidrográfica (canais/km ²)	0,366	0,334	0,213	0,206	1,627	0,502	0,379
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,505	0,532	0,564	0,239	0,651	0,629	0,465
Índice de sinuosidade	1,376	1,376	1,157	1,012	1,090	1,169	1,080
Altitude mínima (m)	640	640	700	680	700	680	700
Altitude média (m)	763	772	761	753	735	772	758
Altitude máxima (m)	964	960	825	806	766	964	819
Amplitude altimétrica (m)	324	320	125	127	66	284	119
Declividade mínima (%)	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Declividade média (%)	5,5	5,9	8,4	5,2	4,1	4,8	4,2
Declividade máxima (%)	62,8	47,9	36,1	19,6	11,9	62,8	21,1
Ordem dos canais	4 ^a	4 ^a	1 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a

Fonte: Autor

A bacia pode ser definida como de médio porte, pois possui 197 km² de área e 66 km perímetro. O índice de circularidade, fator de forma e índice de compacidade são definidores da forma da bacia, e, por conseguinte fornece informações sobre o potencial de escoamento da bacia. Ela possui baixo fator de forma (0,461) e 1,319 como índice de compacidade, indicando ter maior tempo de concentração que seria, a partir uma precipitação, o tempo utilizado para que a bacia inteira contribua para a saída. Além desses fatores, ter o índice de circularidade baixo (0,566), o que

indica que sua forma é mais alongada.

Por ter essa forma mais alongada ela apresenta menor risco de enchentes em condições normais de precipitação, fato comprovado por Villela e Mattos (1975), que mencionam que esse tipo de bacia tem menor concentração de deflúvio.

Há uma divergência na questão da densidade de drenagem. Para Christofolletti (1969) a densidade hidrográfica é baixa quando apresenta valores menores que $7,5 \text{ km/km}^2$; é média com valores entre $7,5$ e $10,0 \text{ km/km}^2$; é alta com valores acima de $10,0 \text{ km/km}^2$. Entretanto Villela e Mattos (1975) dizem que a escala seria entre $0,5 \text{ km/km}^2$ (drenagem pobre) e a $3,5 \text{ km/km}^2$ (bem drenadas). No caso do estudo percebe-se que a bacia em ambos está na classe de pouca drenagem com $0,495$, porém deve-se lembrar que a escala trabalhada foi $1:50000$, conseqüentemente canais podem não terem sido computados.

De acordo com Christofolletti (1974), a densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais. A bacia apresentou baixa densidade hidrográfica ($0,366 \text{ canais/km}^2$), ou seja, menos de meio canal por km^2 , outro fato explicável também pela pequena escala de trabalho.

A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela característica litológica, estrutura geológica e pela declividade dos mesmos, portanto, podemos analisar estes fatores que a influenciam pelo valor do índice. Valores próximos a $1,0$ indicam que o canal tende a ser retilíneo, já os valores superiores a $2,0$, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares (SCHUMM, 1963). Portanto, com $1,376$ de índice, o rio Itaqueri possui um canal mais retilíneo e de acordo com Antonelli e Thomaz (2007), esse tipo de canal favorece um maior transporte de sedimento, com isso existe grande possibilidade desses sedimentos se acumularem ao final do curso do canal, que é o reservatório e, por fim, acarretando na diminuição do volume útil do reservatório.

Também foram gerados mapas que ilustram características do relevo da bacia: o MDT, apresentado da Figura 10; o mapa hipsométrico apresentado na Figura 11 e o mapa de declividade,

apresentado na Figura 12. Assim, foi obtida a distribuição das declividades na área da bacia (Tabela 6).

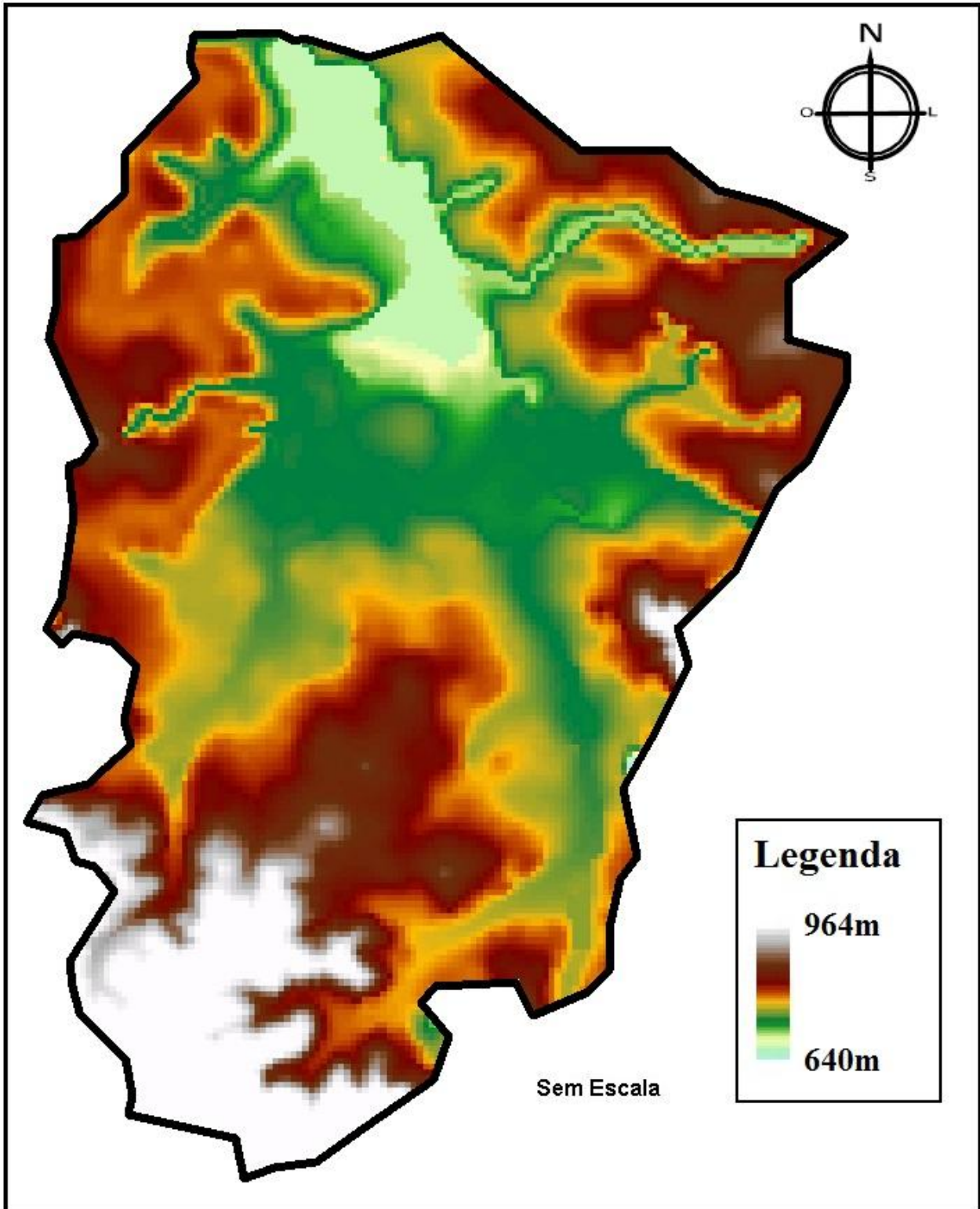


Figura 10 - Modelo Digital do Terreno (MDT)

Fonte: Autor

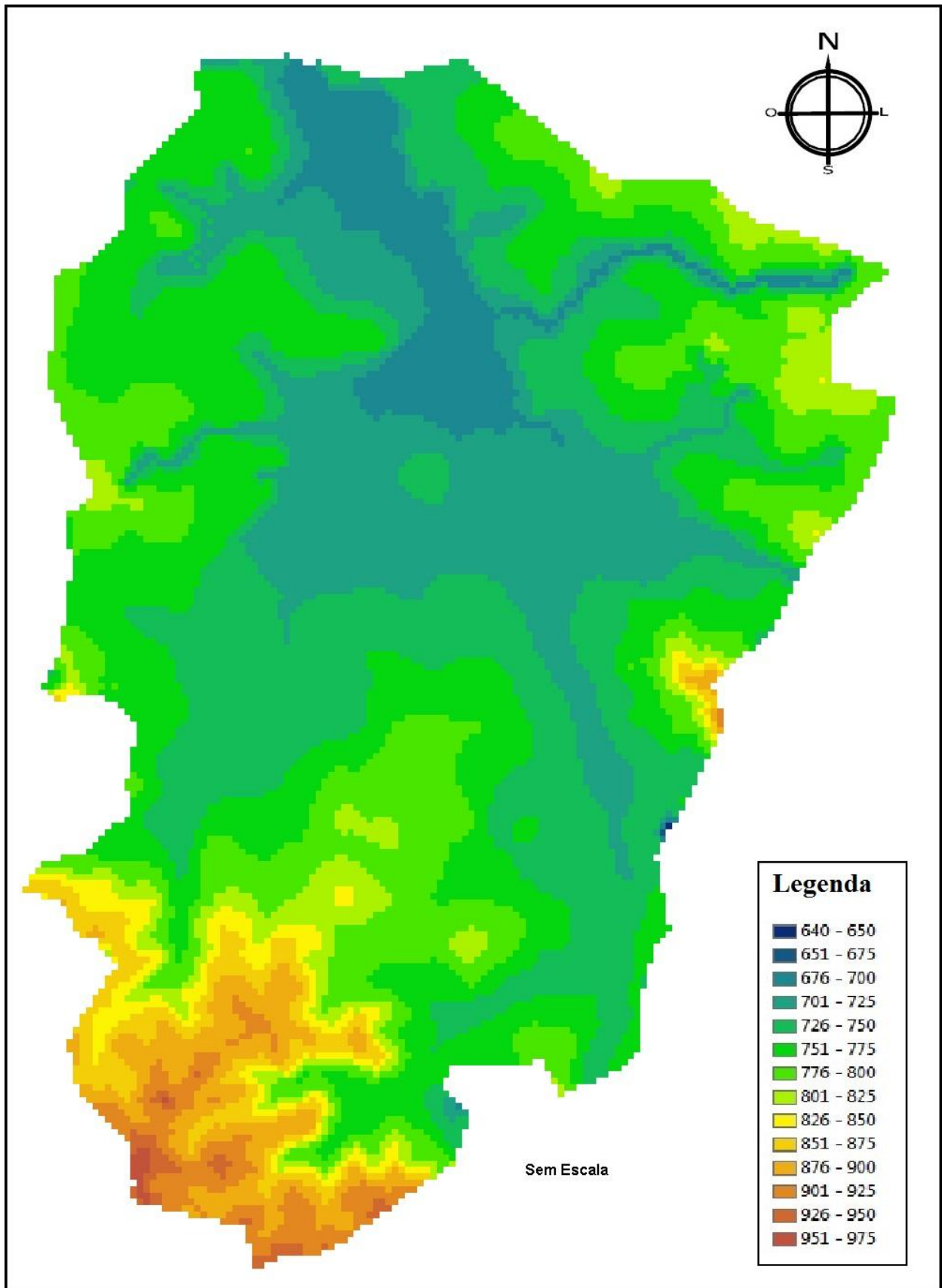


Figura 11 - Mapa Hipsométrico

Fonte: Autor

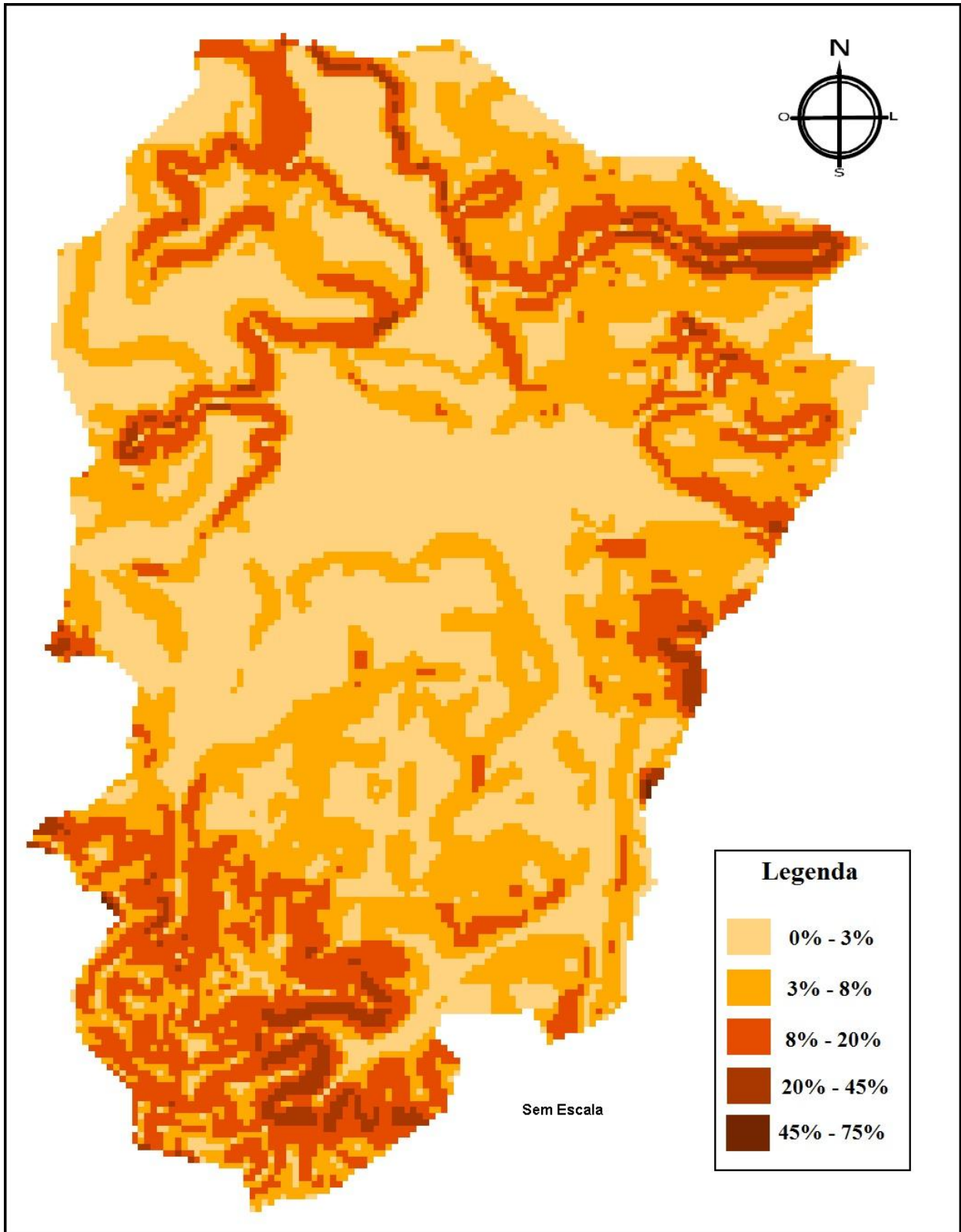


Figura 12 - Mapa Declividade

Fonte: Autor

Tabela 6 - Distribuição das classes de declividade na bacia

Declividade	Classificação	Área em km²	%
0 – 3	Plano	78,122	39,67
3 – 8	Suave-Ondulado	74,647	37,91
8 – 20	Ondulado	38,417	19,51
20 – 45	Forte-Ondulado	5,674	2,88
45 – 75	Montanhoso	0,058	0,03
>75	Forte-Montanhoso	0,000	0,00

Fonte: Autor

Observa-se que cerca de 80% do relevo da área da bacia é pode ser considerado como plano e suave-ondulado, ou seja, declividades menores que 8%. De acordo com Scarpinella (2012), terrenos com declividade maior que 12% são impróprios para futuros plantios de cana-de-açúcar, principalmente após o ano de 2017 com a proibição da queima da palha da cana, portanto existe a possibilidade de maior expansão da cana na bacia por ter terrenos mais planos. Esse autor ainda indica, que em carreadores formados por plantações de cana geralmente não há devido manejo e manutenção, e, portanto, tende a uma maior produção de sedimentos em períodos chuvosos. Sendo assim, há possibilidade de maior carreamento desses sedimentos para os corpos hídricos.

5.2. Uso e Ocupação

A partir dos mapas gerados das classificações das imagens e as informações de uso e ocupação advindas da base cartográfica, calcularam-se as áreas de cada classe de uso e ocupação em cada cenário. A Tabela 7 mostra os resultados encontrados em área.

Tabela 7 - Descrição em área dos tipos de uso e ocupação de cada cenário estudado

Uso e Ocupação	Área em km ²				
	1971	2003		2009	
		Mínimas Distâncias	Máxima Semelhança	Mínimas Distâncias	Máxima Semelhança
Agropecuária	79,1045	22,4470	2,8430	26,5225	29,3329
Água	6,7491	6,2027	4,5998	5,4697	4,2534
Cana-de-açúcar	0,1365	14,0651	17,1201	50,9884	47,9496
Pinus <i>SP</i>	16,3973	62,8473	32,8913	50,8754	33,4911
Urbanização	5,0925	50,6028	117,5150	42,1981	51,3614
Vegetação	89,3767	40,6918	21,8873	20,8025	30,4582
Total	196,8566	196,8566	196,8566	196,8566	196,8466

Fonte: Autor

É possível observar nitidamente que em 1971 a maior parcela do solo havia cobertura vegetal nativa e área com pasto, e com o decorrer dos anos a distribuição se tornou mais homogênea. Perda de aproximadamente 60 km² de vegetação e de 50 km² de áreas de agropecuária. Posteriormente calculou-se a representatividade de cada classe em cada cena, em porcentagem de área, apresentado na Tabela 8, onde podemos observar melhor essa distribuição.

Tabela 8 - Área em porcentagem dos tipos de uso e ocupação em cada cenário

Uso e Ocupação	Área em (%)				
	1971	2003		2009	
		Mínimas Distâncias	Máxima Semelhança	Mínimas Distâncias	Máxima Semelhança
Agropecuária	40,18	11,40	1,44	13,47	14,90
Água	3,43	3,15	2,34	2,78	2,16
Cana-de-açúcar	0,07	7,14	8,70	25,90	24,36
Pinus <i>sp</i>	8,33	31,93	16,71	25,84	17,01
Urbanização	2,59	25,71	59,70	21,44	26,09
Vegetação	45,40	20,67	11,12	10,57	15,47

Fonte: Autor

A Figura 13 apresenta o mapa do uso e ocupação para o ano de 1971. Como já explicado, a classe “Área Alagável” fora agrupada com a classe “Agropecuária” e áreas com eucalipto como *Pinus sp.*

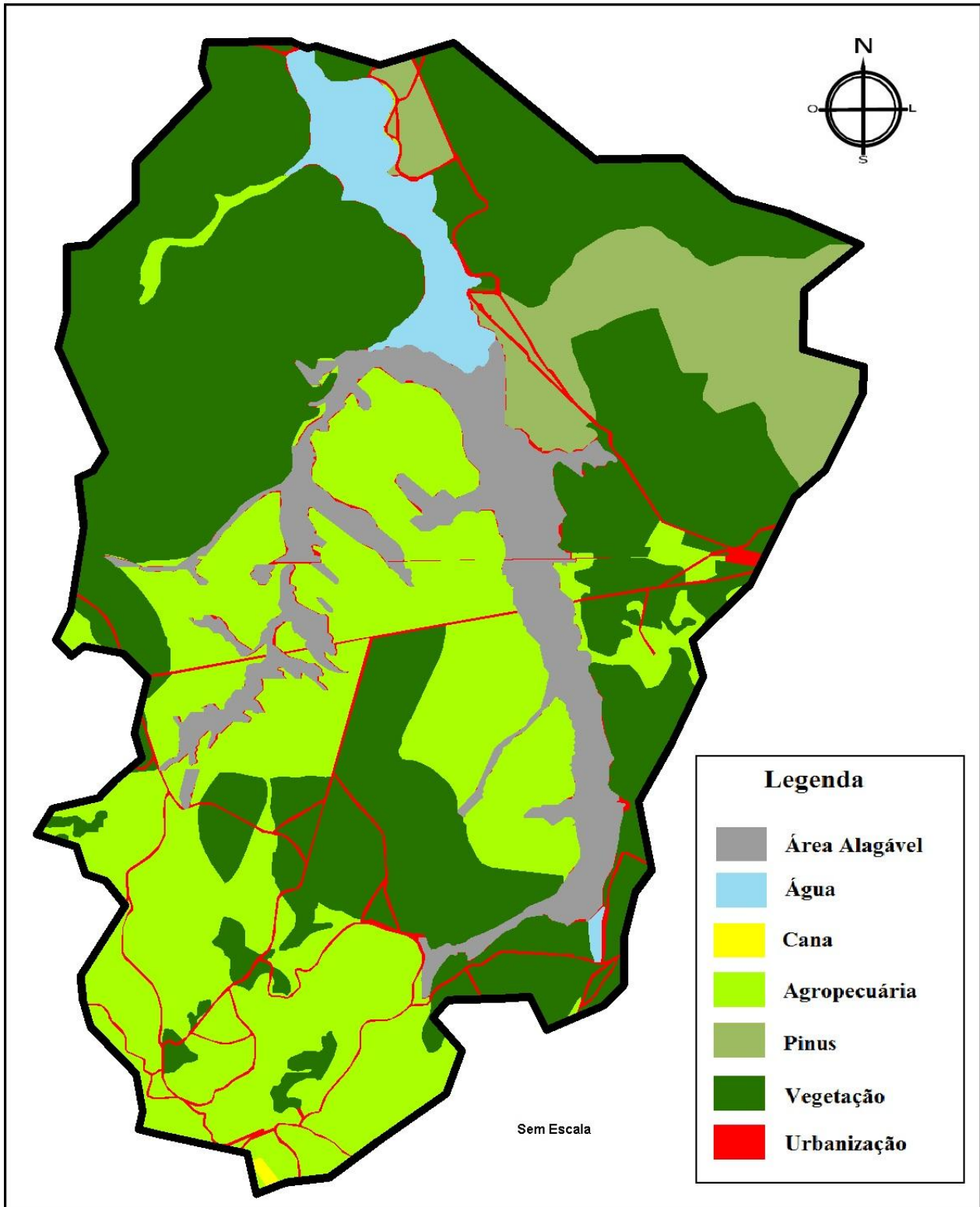


Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação em 1971

Fonte: Autor

As Figura 14 e Figura 15 mostram os mapas da classificação supervisionada da cena de 2003, utilizando o método das Mínimas Distâncias e o da Máxima Semelhança, respectivamente.

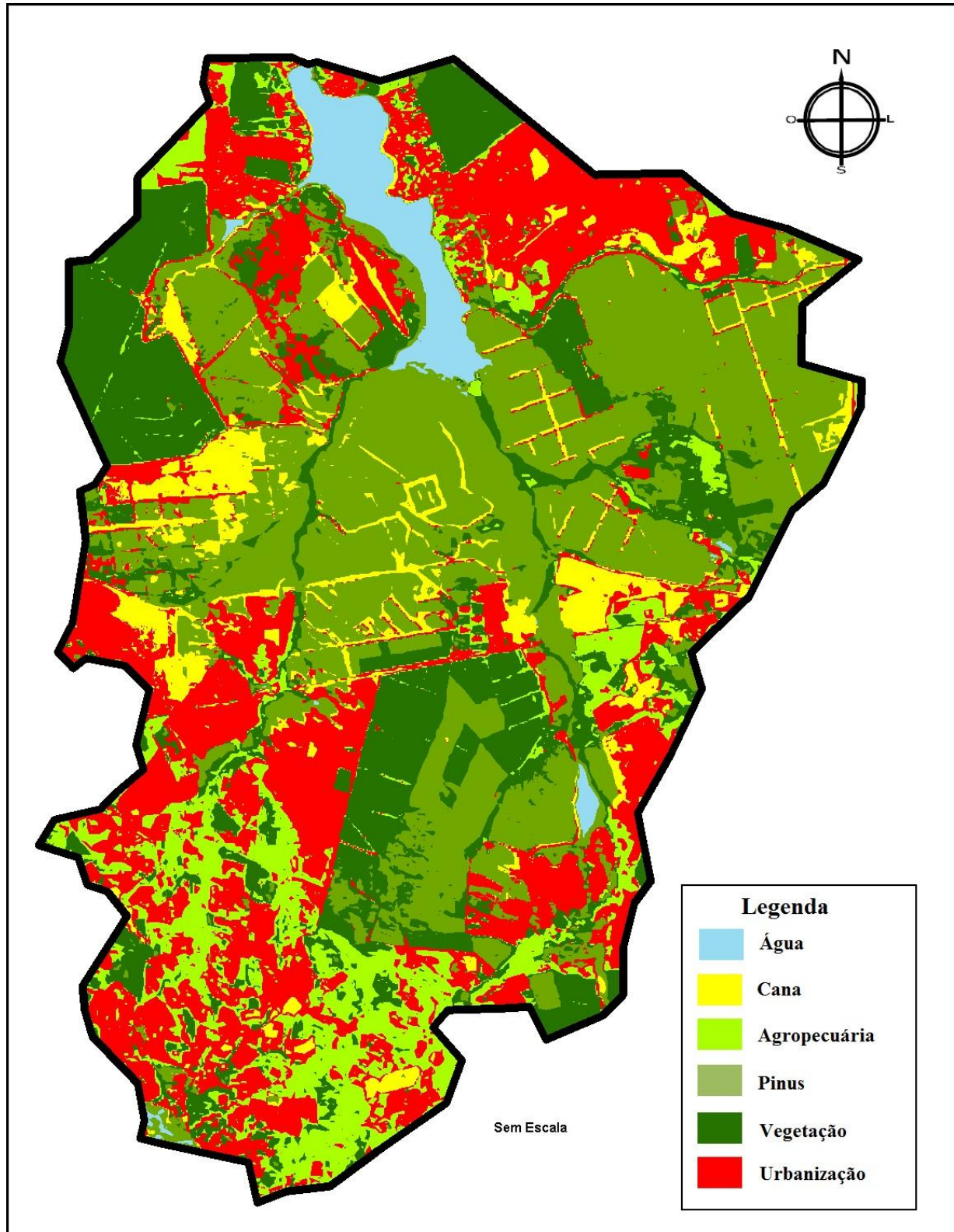


Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Mínima Distância

Fonte: Autor

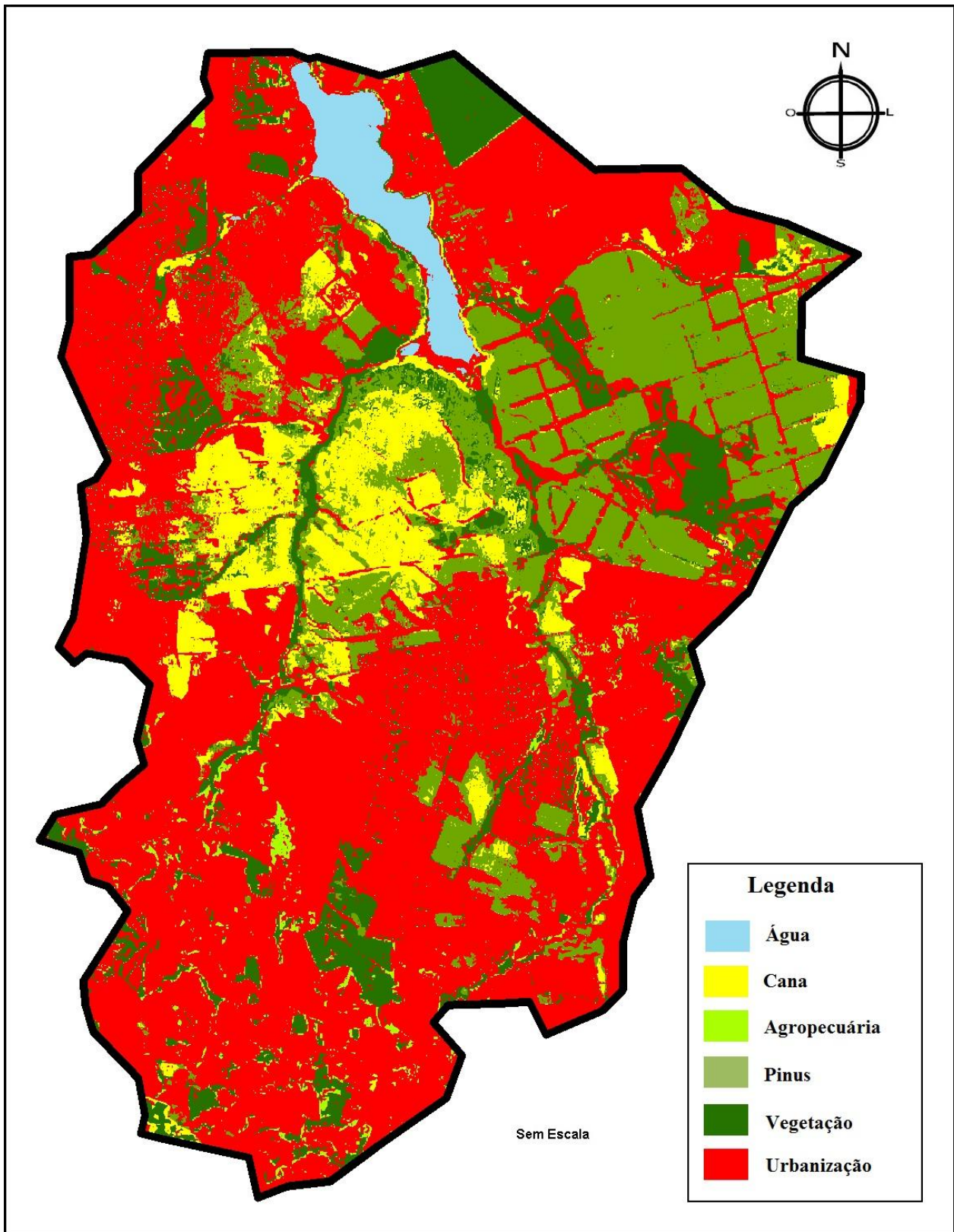


Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação em 2003 – Máxima Semelhança

Fonte: Autor

Por fim, foram gerados os mapas de uso e ocupação da cena de 2009 com os métodos de Mínimas Distâncias e Máxima Semelhança, ilustrados pelas Figura 16 e Figura 17 respectivamente.

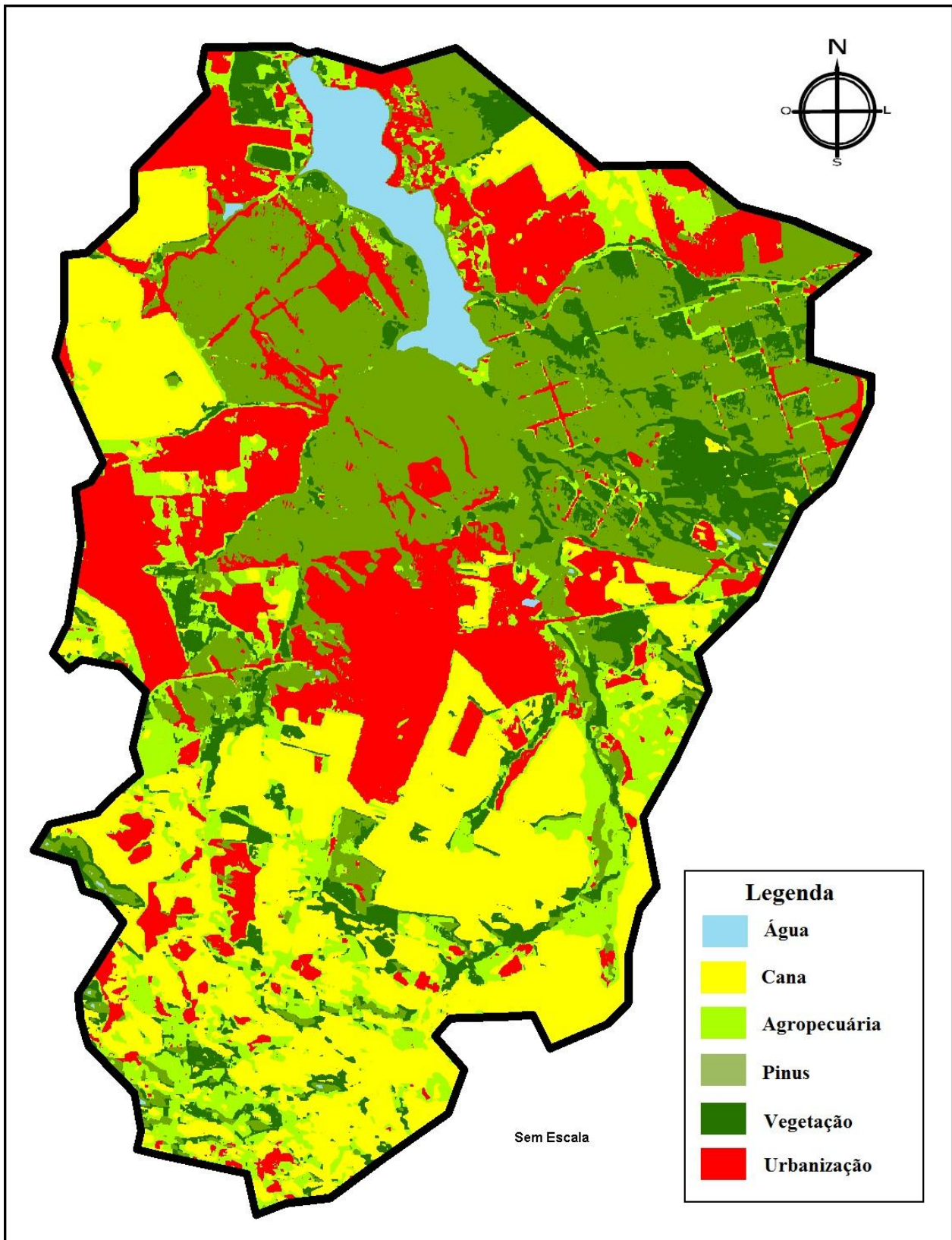


Figura 16 - Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Mínima Distância

Fonte: Autor

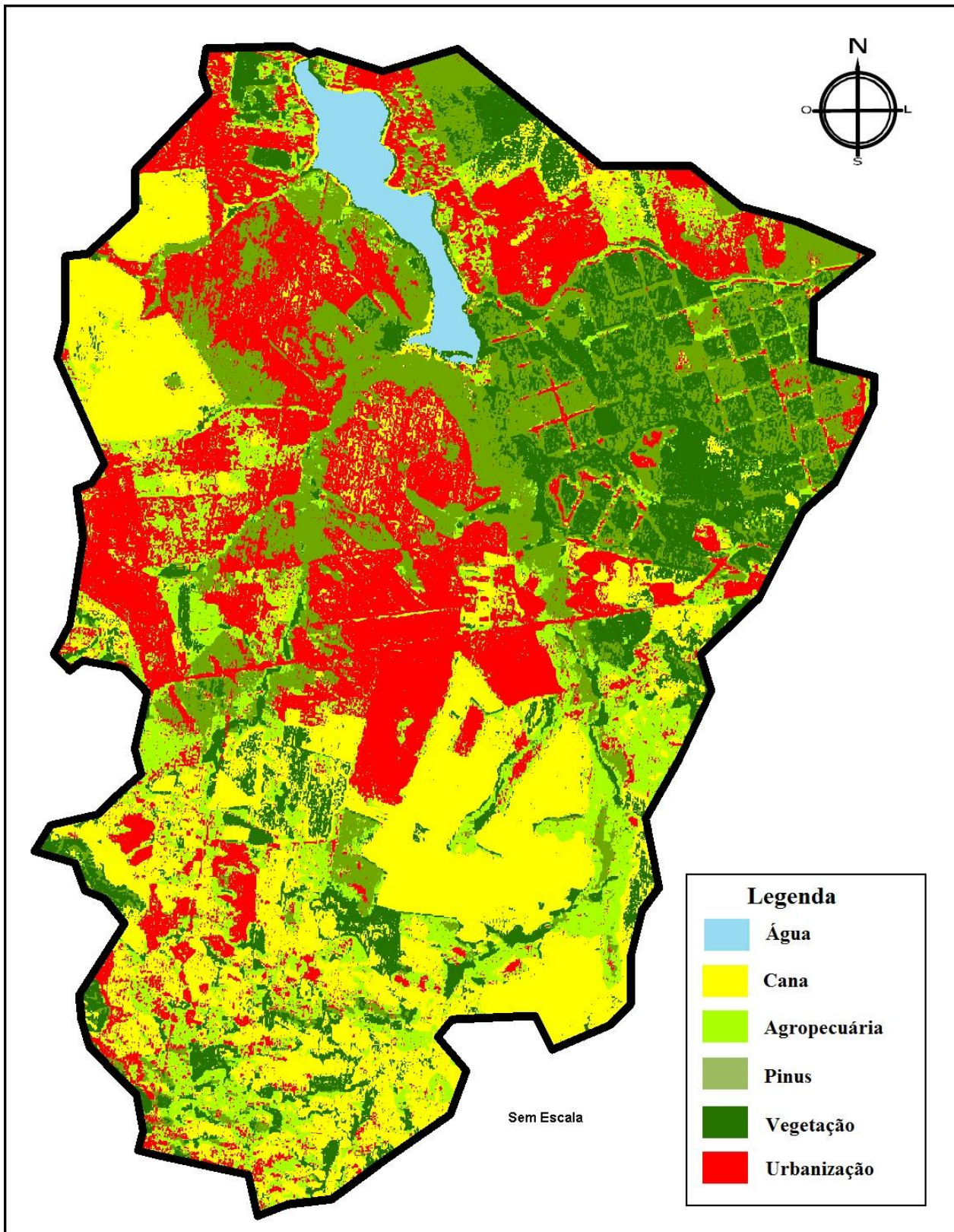


Figura 17 - Mapa de Uso e Ocupação em 2009 – Máxima Semelhança

Fonte: Autor

Para melhor análise a evolução das classes de uso no tempo elaborou-se gráficos da área de ocupação de cada classe com o decorrer do tempo. As retas desses gráficos são meramente

ilustrativas e não apresentam as reais tendências no tempo, ou seja, apenas representam a variação média da classe no tempo de maneira mais grosseira.

Os gráficos para a agropecuária (Figura 18) e vegetação (Figura 19), apresentados a seguir, reforçam que houve decaimento de suas áreas.

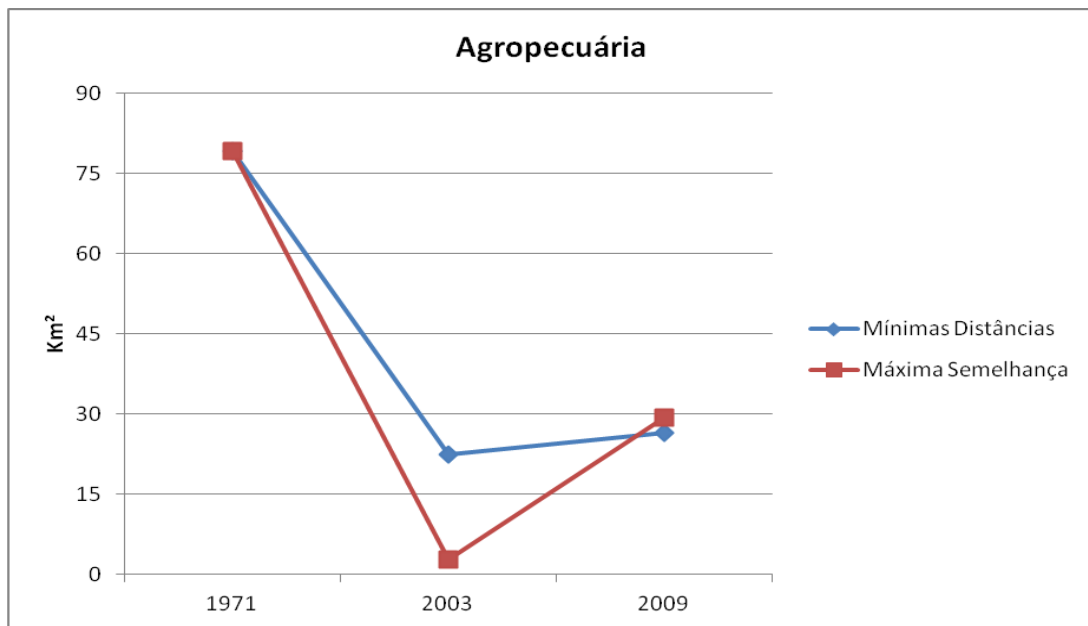


Figura 18 - Gráfico da evolução das áreas de agropecuária entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

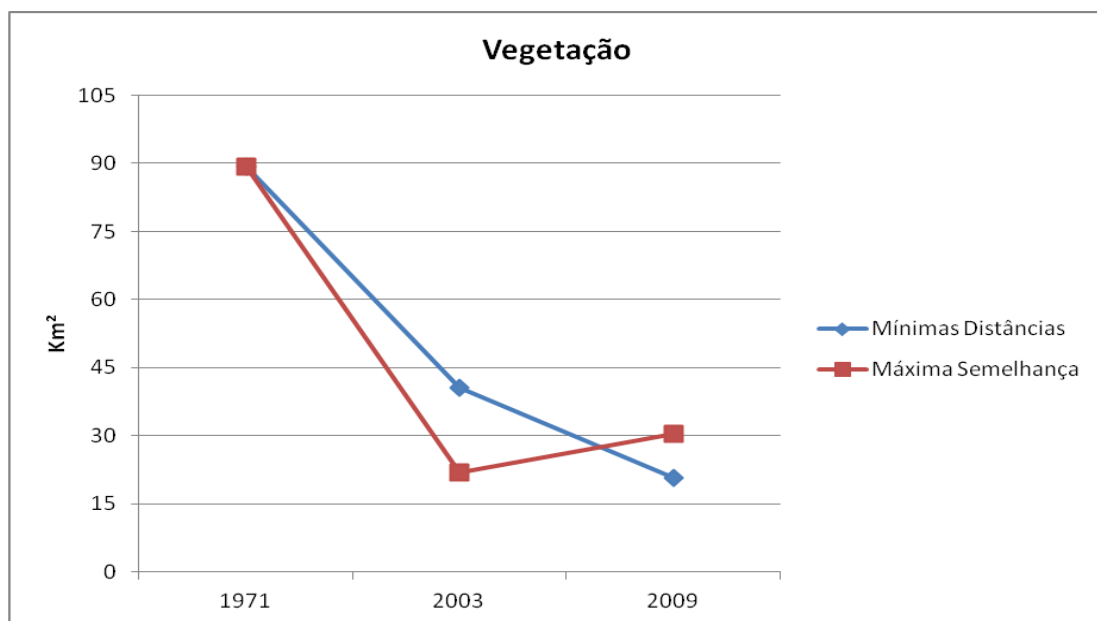


Figura 19 - Gráfico da evolução das áreas de vegetação entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

Nota-se uma pequena variação da área de água com o decorrer do tempo (Figura 20), fato também observado na maioria dos reservatórios do planeta, fato consequente pelo aquecimento global que, segundo MENDONÇA (2007), independente das dificuldades conceituais, fica claro que é validado pelo IPCC3 (Intergovernmental Panel on Climate Change) como um fato consolidado.

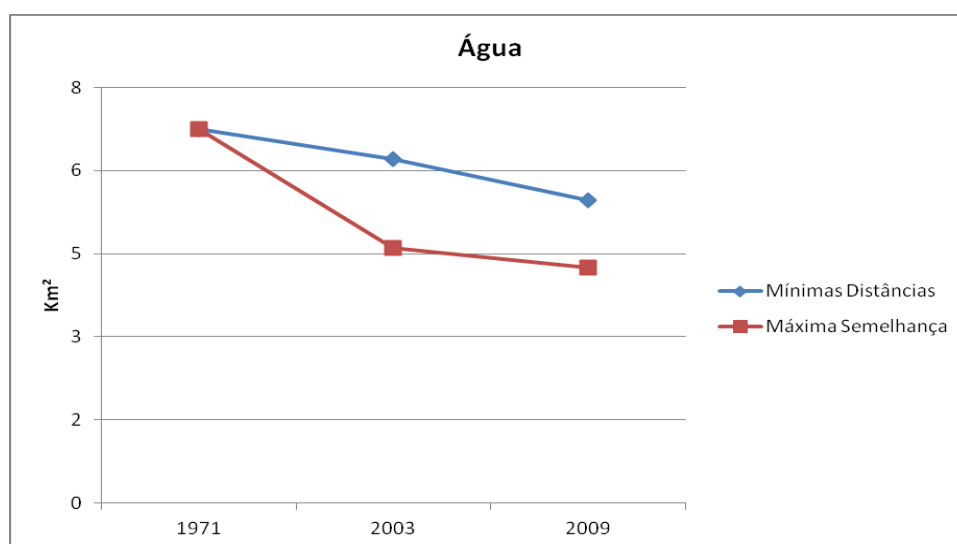


Figura 20 - Gráfico da evolução das áreas com água entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

A cana-de-açúcar, já tem uma história mais contextualizada ao Brasil. Entre 1971 e 2003 teve o lançamento do programa pró-álcool (em 1975) depois da crise do petróleo em 1973. Portanto as áreas de vegetação e pasto foram substituídas por plantações de cana-de-açúcar para a fabricação do combustível, cerca de 50 km², como ilustrado pelo gráfico da Figura 21.

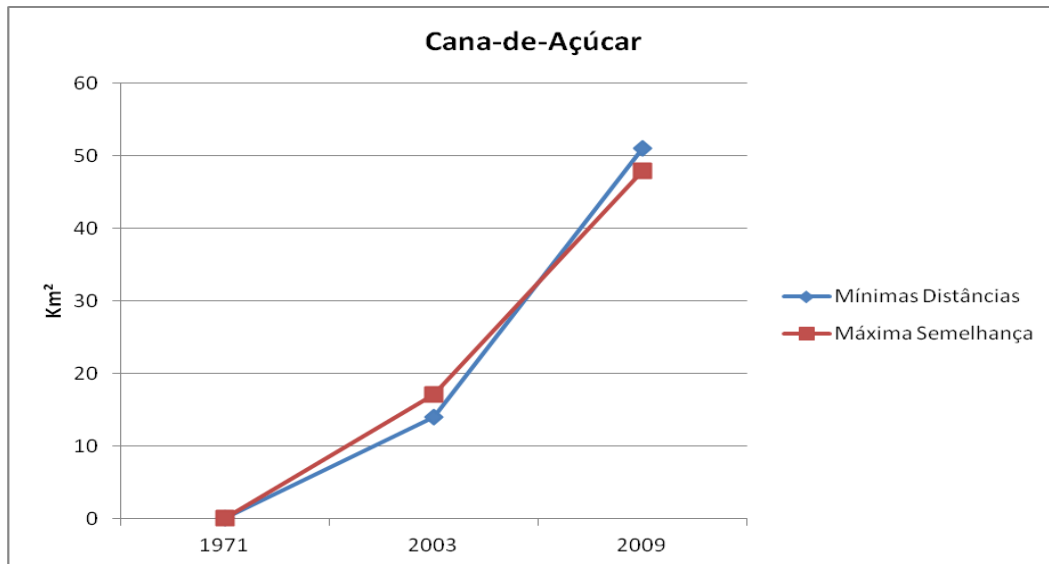


Figura 21 - Gráfico da evolução das áreas de cana-de-açúcar entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

Como já mencionado, no estudo agrupou-se, no momento da classificação, a cultura de pinheiro, para obtenção de matéria-prima de produtos de limpeza, e o eucalipto, para fabricação de papel, mostrado apenas como *Pinus*, apesar de não terem nenhum grau de parentesco em imagens eles apresentam características semelhante. Ambas as culturas foram crescentes na região desde 1971, tendo um aumento em área de aproximadamente 20 km² (Figura 22)

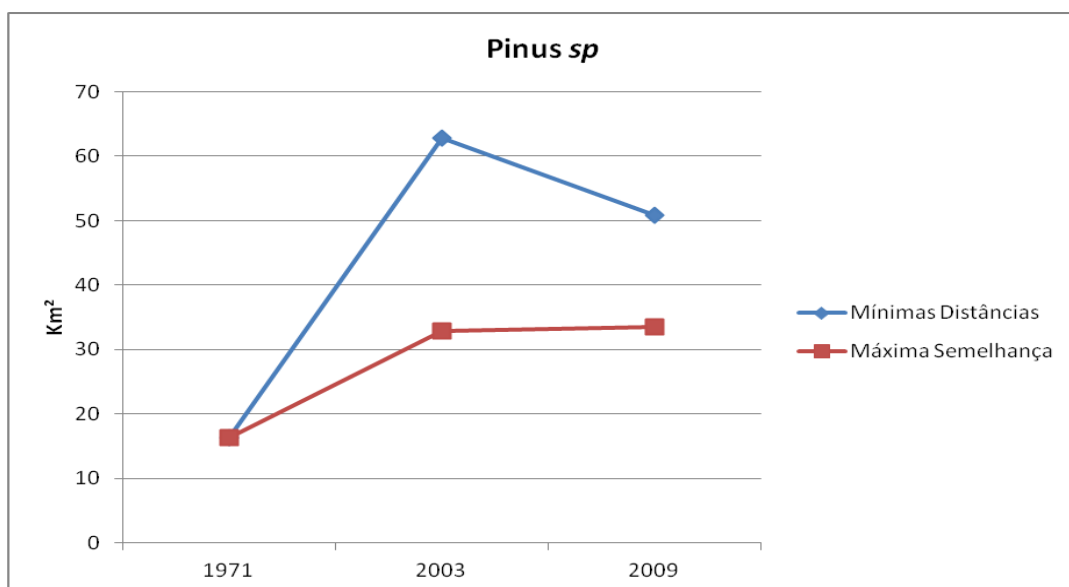


Figura 22 - Gráfico da evolução das áreas de Pinus sp entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

O caso da urbanização (Figura 23) é explicado pelo fato da crescente expansão da malha urbana, mas também pelo fato da mudança do uso da barragem, que de acordo com o tempo perdeu-se sua importância energética para se tornar uma área mais de lazer, portanto supressão das matas e campos para dar espaço a condomínios e clubes. Uma questão a ser relevada também sobre a urbanização é a instalação de indústrias na região. Percebe-se na evolução da urbanização, uma discrepância em 2003 no método de máxima semelhança. Isso se deve ao fato de áreas sem cobertura serem considerados como urbanização, e, portanto em caso de pós-colheita, no caso da cana-de-açúcar, apresentar solo exposto.

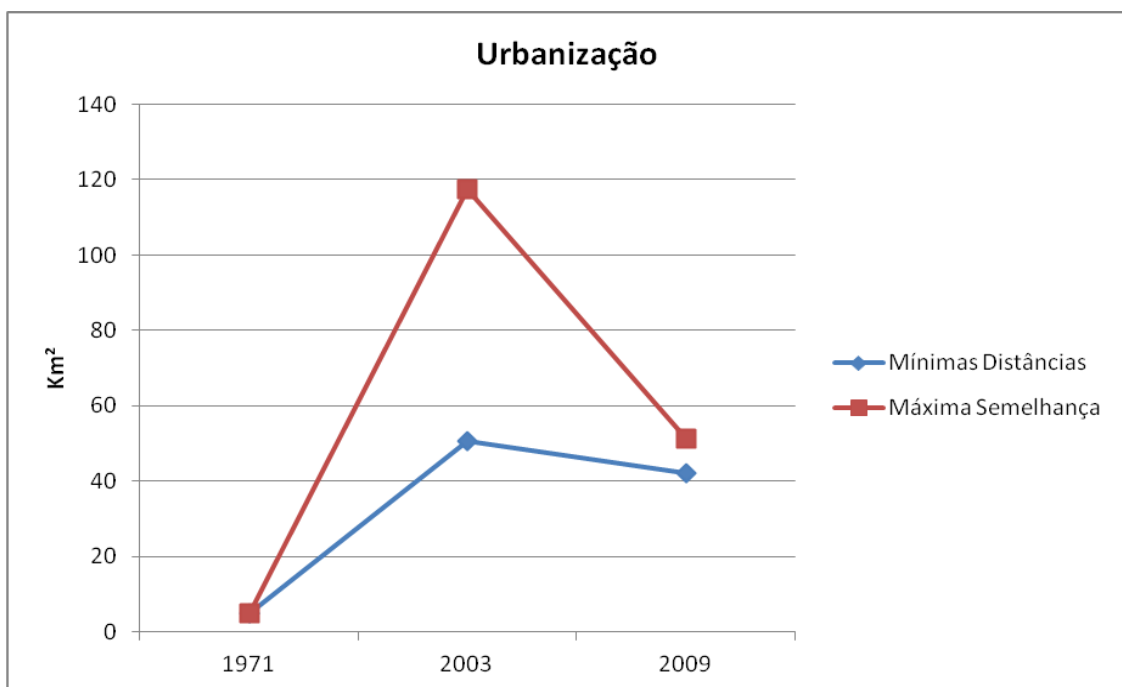


Figura 23 - Gráfico da evolução das áreas de urbanização entre os anos de 1971, 2003 e 2009

Fonte: Autor

6. CONCLUSÕES

A partir cartas do IBGE e dos softwares *AutoCad Map* e *ArcGIS*, conseguiu-se obter uma boa base cartográfica digital para esse e futuros estudos na região. A o georreferenciamento e digitalização foram bastante facilitadas pelas ferramentas do *AutoCad Map*.

A morfometria da bacia apresentou-se de forma esperada, sendo uma bacia média de forma mais alongada, com poucos canais de drenagem, que apesar de apresentar baixa probabilidade de inundações deve ser bastante monitorada quanto ao transporte de sedimento por ter canais bem retilíneos. Transportes esse muito importante no gerenciamento de reservatórios, principalmente quanto ao aporte de sedimentos e conseguinte diminuição do volume útil.

Os satélites CBERS2 e CBERS2B forneceram imagens que permitiram o mapeamento do uso da terra da bacia de maneira rápida. O *ArcGIS* permitiu o georreferenciamento das imagens e suas classificações digitais do uso da terra por meio de seus diferentes métodos, máxima semelhança e mínima distância, além de, a partir do estudo, fornecer um banco de dados para a classificação supervisionada e para futuros planejamentos nessa área.

A alteração do uso da terra na região da bacia da Represa do Lobo está influenciando negativamente as microbacias, pois a área de vegetação representa menos de 20% da área total. Porem existe a justificativa de ter reflorestamento com pinheiro e eucalipto, o que pode ajudar, no entanto não é o ideal, e as áreas de pasto, que por sua vez são degradadas pelo gado, compactando seu solo e dificultando a drenagem do solo e aumentando o escoamento superficial e conseguinte transporte de sedimento. Não se pode deixar de considerar que o aumento da área de cultivo de cana-de-açúcar, aumenta atividades de manejo do solo e, portanto, maior aporte de sedimento.

Com todas essas alterações do uso do solo com o tempo podendo alterar significativamente a qualidade ambiental da região, conclui-se que há a necessidade de ter um maior cuidado e preocupação com o planejamento, além de mais estudos de quantificação desses efeitos, assim como maior monitoramento.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se pesquisas e estudos semelhantes na bacia em questão em uma escala maior, talvez com as cartas na escala 1:10000 do levantamento topográfico do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo), e/ou imagens de satélites com resolução maior, com a finalidade de atingir resultados mais precisos e com nível de detalhamento ainda maior. Ressalta-se também que tais estudos podem ser realizados nas diversas bacias do país e do mundo.

Vale ressaltar também, que é interessante realizar novos estudos com métodos de classificação diferentes ou realizar reclassificações para afinar a classificação apresentada, para amenizar as variações nos resultados encontrados para cada método.

8. REFERÊNCIAS

ALVES, D. S. Sistemas de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Anais. São Paulo: Edusp, 1990. p. 66-78.

ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, 2003.

ANTONELLI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia, 2007.

ARGENTON, E.C. (2004). Limnologia, balneabilidade e impactos ambientais: uma análise temporal e espacial da represa do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas – SP. 146p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2004.

ARROIO JUNIOR, P. P. Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica di Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas – SP. São Carlos. 2013

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990.

BROOKS, K.N.; FFOLLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M. & THAMES, J.L. Hydrology and the management of watersheds. Ames, Iowa State University Press, 1991.

CAMARGO, R.S.N. (1991). Regulamentação da APA Corumbataí – SP. In: TAUK, S.M. (ed.) Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: EdUNESP.

CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. *Árvore*, Viçosa, 2006.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática. 2ª Ed. Rio de Janeiro-RJ, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, n. 18, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, 1978.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, Unicamp, Gráfica Universitária 170p., 1993

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FREITAS FILHO, M. R.; MEDEIROS, J. S. Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da Chapada do Araripe-CE, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, 2005.

GONÇALVES, C. S.; Rheinheimer, D. dos S.; Pellegrini, J. B. R.; Kirst, S. L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2005.

INPE. SPRING - Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em:

< <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/.html>>. Acesso em: 14 de abril de 2013.

KUWAJIMA, J. I. Análise do modelo SWAT como ferramenta de prevenção e de estimativa de assoreamento no Reservatório do Lobo. São Carlos. 2012

MENDONÇA, F. de A.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MORAES, E. C. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE, 2002.

MOREIRA, M.A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MOURA, A. C. M. *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2003

OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; VESTENA, L. R. e THOMAZ, E. L. Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. In: V SimpGeo (Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, UFPR, Anais, 2010, 36-51 p.

PAREDES, E. A. - "SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES". São Paulo - SP, Ed. Érica, 1994.

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, L. M. N. O DE; FORESTI, C. Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

RICHARDS, John A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Ed. Spring Verlag Berlin Heidelberg, Alemanha 1986.

RICHARDS, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis:An Introduction, Springer-Verlag, 1995.

Rosa, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 7ª ed. 2009. EDUFU

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2006.

SCHUMM, S.A Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. Bulletin of Geological Society of America., 1963.

SOARES, A. K; OHNUMA JR, A. A.; BORGES, A. C.; PAGNOSSI, A. A.; ANGELOTTI NETO, A.; CORRÊA FILHO, C. R. R.; BRITO, C. M. S. de; VELA, F. J.; BENINI, R. de M.; MENDIONDO, E. M. Análise do Balanço Hídrico serial da bacia da Represa do Broa, SP. São Paulo: Grupo de Hidrologia Física. 2003.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4)

VIEIRA, Francisco Pedro. Importância do Georreferenciamento. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Georreferenciamento, da Faculdade de Rolim de Moura – Farol em Cacoal/RO. 2007

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975.

ZACHAR, D. Soil erosion: developments in soil science. New York, Elsevier Scientific, 1982.