

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**BRUNO PARMA RUELA**

**Caracterização Morfométrica da Microbacia Bom Jardim situada no Município de Rio Pomba, MG: Uma Análise de Áreas Críticas para a Possível Implementação do Programa Produtor de Água**

**VIÇOSA**

**2015**

Bruno Parma Ruela

**Caracterização Morfométrica da Microbacia Bom Jardim situada no Município de Rio Pomba, MG: Uma Análise de Áreas Críticas para a Possível Implementação do Programa Produtor de Água**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Viçosa, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia. Orientador: Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior.

**VIÇOSA**

**2015**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Bruno Parma Ruela

### **Caracterização Morfométrica da Microbacia Bom Jardim situada no Município de Rio Pomba, MG: Uma Análise de Áreas Críticas para a Possível Implementação do Programa Produtor de Água**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Viçosa, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia.

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior

---

Prof. André L L Faria

---

Eng. Antônio Gonçalves do Amaral

**VIÇOSA**

**2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família por me apoiar. A equipe AgroPlus onde me proporcionou um vasto conhecimento em administração rural e gestão de bacia hidrográfica. Ao professor Aziz Galvão pela confiança e orientação na monografia. Agradecer a ACOMADE e ao Eng. Antônio Amaral e Ivair que colaborou para realização deste trabalho. E por fim a todos os amigos que de forma direta ou indireta ajudaram nessa jornada final da graduação.

## RESUMO

Esta pesquisa propõe a caracterização morfométrica da micro bacia do Corrêgo Bom Jardim, situado no município de Pio Pomba, pertencente à bacia de mesmo nome.

Esta caracterização revela informações que ajudam a mapear áreas com potencial de armazenamento de água no solo, responsável pela regulamentação hídrica da micro bacia. Tais áreas, de perceptível potencial hídrico, são chamadas “produtoras de água” e passíveis de se implantar o Projeto PSA Hídrico, elaborado pelo Comitê de Bacias Hidrográficas do Paraíba e Sul.

Uma das ferramentas de trabalho utilizada que mais possibilitou evidenciar os três compartimentos topográficos foi o Modelo Digital de Elevação, indicando as áreas mais íngremes, os vales encaixados e os lugares aterracedos, sendo os topos de morro áreas de recarga proeminente e os locais mais favoráveis (estratégicos) para a produção de água. Desta forma são também os mais susceptíveis ao uso e ocupação irregulares, fomentando ainda mais a implantação do Projeto.

Palavras-chave: PSA Hídrico, produção de água, caracterização morfométrica, análise hidrográfica.

## ABSTRACT

This research proposes the morphometric characterization of the micro basin of stream Bom Jardim, in the municipality of Pio Dove, belonging to the eponymous Basin.

This characterization reveals information that help to map areas with water storage potential in the soil, responsible for water regulation of micro basin. Such areas, noticeably water potential, are called "water-producing" and capable of deploying the PSA Project Hydride, prepared by the Watershed Committee of Paraíba and South.

One of the working tools used more possible evidence the three topographical compartments was the Digital Elevation Model, indicating the steepest areas, enclosed valleys and ateraceados places, and the hilltops areas of outstanding recharge and the most favorable locations ( strategic) for the production of water. In this way they are also the most susceptible to irregular use and occupation by promoting further implementation of the Project.

Keywords: PSA leaf water, water production, characterization morphometric analysis river.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Bandas espectrais do sensor (OLI), a bordo do satélite LANDSAT8.

Tabela 2 – Características Morfométricas da bacia.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Modelo Índice de circularidade.

Figura 2: Localização da Bacia do Paraíba do Sul Fonte ANA.

Figura 3: Localização do Rio Pomba/ Microbacia Bom Jardim.

Figura 4: Ponto estratégico para contenção de enxurrada e erosão.

Figura 5: Modelo de Cálculo, densidade de drenagem.

Figura 6: Modelo Digital de Elevação.

Figura 7: Mapa de Declividade.

Figura 8: Mapa de rede drenagem.

Figura 9: Mapa de densidade de drenagem.

Figura 10: Mapa composição falca cor e NDVI.

Figura 11: Área de alta declividade.

Figura 12: Mapa de Áreas críticas.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	
JUSTIFICATIVA	
OBJETIVOS	
1. Geral.....	7
2. Específico.....	7
REFERENCIAL TEÓRICO.	
3. Pagamento Serviço Ambiental como Gestão do Recurso Hídrico (PSA Hídrico)	
4. (chamamento Público PSA HÍDRICO / 2014 – AGEVAP/CEIVAP)	
5. Bacia Hidrográfica	
4.4. Modelo Digital de Elevação (MDEHC).....	10
4.5. Análise Morfométrica.....	11
4.5.1. Índice de Circularidade.....	12
4.5.2. Ordem do Curso de Água.....	13
4.5.3. Declividade e Altitude.....	13
4.5.4. Sistemas de Drenagem.....	14
4.5.5. Densidade de drenagem.....	14
4.5.6. Fator de forma.....	15
4.5.7. Índice de sinuosidade.....	15
4.6. Utilização de Sensoriamento-remoto.....	16
ÁREA EM ESTUDO	
5.1. Bacias Hidrográfica do Paraíba do Sul	
5.2. Bacia Hidrográfica do rio Rio Pomba	
5.3. Município de Rio Pomba.....	20
MATERIAIS E MÉTODO	
6.1. Modelo digital de elevação	
6.2. Correção da Rede de Drenagem	
6.3. Delimitações da Sub-Bacia para Extração dos Parâmetros Morfométricos.	
6.4. Obtenção da Densidade de Drenagem.....	24
6.5. Elaboração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	
6.6. Mapa de áreas Críticas	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	
7.1. Morfometrias da bacia	

7.2. Padrão e forma de drenagem

7.3. Densidade de drenagem

7.4. Índice de Vegetação por Diferencia Normalizada (NDVI)

7.5. Análise de áreas Críticas

CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

## **1. INTRODUÇÃO**

A gestão do micro bacias é de grande importância e indispensável para vida. Tendo em vista a importância da bacia hidrográfica como Unidade de Gestão e de planejamento territorial, é importante caracterizá-la para o seu entendimento. Todavia, os recursos hídricos vêm se tornando escassos ao longo do tempo nos aspectos de quantidade e qualidade.

Cada manancial está relacionado à geologia, ao relevo, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal, ao grau e ao tipo de atividade antrópica existente na bacia hidrográfica onde ela está inserida.

O corte da mata atlântica originou-se a partir da expansão da fronteira agrícola, especialmente de café, que, com o passar dos anos, foi substituída por áreas de pastagens. Essa retirada da cobertura florestal, aliada à falta de adubação e à ausência de manejo adequado, ocasionou o processo de degradação que, ao longo do tempo, se intensificou (OLIVEIRA, 2007). Em todo Brasil e não diferente para Zona da Mata Mineira, a cobertura vegetal foi sendo fragmentada, cedendo espaço para as culturas agrícolas, para as pastagens e para as cidades (MARTINS, 2009).

De acordo com Arruda Júnior (2008), com a degradação dos ecossistemas se torna um desafio viabilizar sistemas de produção com eficiência energética e conservação do ambiente. Neste contexto, os mananciais hídricos enfrentam um grande desafio em produção de água em quantidade e qualidade. Alternativas de baixo impacto ambiental, como construções de terraços em nível, barraginhas, reflorestamentos, proteção de áreas de proteção permanente (APPs) e sistemas agroflorestais têm potencial pra reverter o quadro de degradação ambiental, mediante as ações antrópicas.

O “Produtor de Água” é um programa de adesão voluntária de pagamento por serviços ambientais no qual são beneficiados os produtores rurais que, por meio de práticas e manejos conservacionistas e de melhoria de cobertura vegetal, venham a contribuir para o abatimento efetivo da erosão e da sedimentação e para o aumento da infiltração de água, segundo o conceito provedor-recebedor.

Pelo caráter integrador das bacias hidrográficas, estas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais (GERRA & CUNHA,

1996). Nesta visão, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

A caracterização de uma bacia hidrográfica, seja qual for, é um dos primeiros e mais comuns procedimentos para análise hidrológica ou ambientais tais como enchente e qualidade do meio físico ambiental. Para tal caracterização, tem sido comum a utilização do sistema de Informação Geográfico (SIG) e, conseqüentemente, o surgimento de formas digitais consistente de representação do relevo como o Modelo Digital de Elevação, método automático para a delimitação e a caracterização de bacias tem sido desenvolvido a partir destes modelos.

Os Sistemas de Informações Geográficas podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas às varias questões sobre planejamento urbano e regional, meio rural e para o levantamento dos recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando o planejamento e o manejo dos recursos naturais de regiões específicas (FERREIRA, 1997).

## **2. JUSTIFICATIVA**

Este trabalho poderá ser utilizado como parâmetro de caracterização da bacia hidrográfica. Ele poderá também auxiliar na tomada de decisão na qual receberá Implementação do PSA através de Unidades Demonstrativas (UD`s) com práticas integradas de recuperação e de conservação de pequenas bacias hidrográficas (Chamamento Público PSA HÍDRICO / 2014 – AGEVAP/CEIVAP).

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Geral**

O objetivo geral do trabalho é contribuir com a identificação de áreas potenciais para a produção de água e com uma caracterização morfométrica no âmbito dos projetos de pagamento por serviço ambiental.

### **3.2. Específico**

Através de dados do IBGE e de imagens SRTM, pretende-se gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) para analisar as características morfométricas da microbacia Bom Jardim no que tange o compartimento plano altimétrico, a declividade, o índice de circularidade, o sistema de drenagem, a densidade de drenagem, o fator forma, o índice de sinuosidade, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e por fim, o mapa de localização de áreas crítica para a produção de água.

#### **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção, realizo alguns apontamentos teóricos no qual este estudo se apoia. Primeiramente, disserta-se sobre a gestão do recurso hídrico. Em seguida, aborda-se a questão do PSA hídrico bem como sobre a bacia hidrográfica. Logo após, tece-se explicações acerca do modelo digital de elevação seguida da análise morfométrica. Por fim, pontua-se sobre a utilização de sensoriamento-remoto.

##### **4.1. Pagamento por Serviço Ambiental como Gestão do Recurso Hídrico (PSA Hídrico)**

Esta seção realiza uma breve explicação e apresentação das possibilidades de incentivos econômicos que podem ser aplicadas àqueles que exercem as ações de preservação e de conservação do meio ambiente, mais especificamente o Pagamento Serviço Ambiental (PSA) com foco em Recursos Hídricos do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul através do Plano de Aplicação Plurianual da Bacia do Paraíba do sul, da deliberação CEIVAP N° 199/2012.

O programa PSA vem sendo um dos mais discutidos na atualidade por diversos autores, pois tem sido um instrumento que auxilia a gestão ambiental do ecossistema, a conservação de florestas, a biodiversidade e recurso hídrico. Sendo assim, é um pagamento do serviço ambiental prestado pelos produtores rurais, quais reservem certas áreas da sua propriedade para a preservação e o uso de práticas conservacionistas do solo e água.

##### **4.2 Chamamento Público PSA HÍDRICO / 2014 – AGEVAP/CEIVAP**

Com o presente trabalho pretende-se avaliar as condições morfométricas das sub-bacias onde será implementado o projeto de PSA HÍDRICO. Para tanto, é necessário de antemão, entender o escopo do projeto e as diretrizes de implementação.

O projeto leva o nome de “Nascentes do rio Pomba e do rio Muriaé - Implementação do PSA”, através de Unidades Demonstrativas (UD's) com práticas integradas de Recuperação e Conservação de pequenas bacias hidrográficas de cabeceiras.

Almeja-se implantar o PSA de forma estratégica, através de Unidades Demonstrativas (UD's) contendo práticas de restauração/reflorestamento, de conservação de matas, nascentes e APP's, de melhoria das condições agroambientais de solo e de educação ambiental em pequenas bacias de afluentes do rio Pomba e do rio Muriaé. Essas áreas serão habilitadas à remuneração pelo PSA durante cinco anos (2015 a 2020) como estratégia de viabilização desses instrumentos em médio prazo (5 a 10 anos) para todas as propriedades rurais pertencentes às respectivas Áreas de Proteção Ambiental (APA's).

O projeto será implementado através de três modalidades estratégicas, a restauração, a conservação e a PSA, aplicadas simultaneamente. Essas estratégias se baseiam em três critérios: a localização, os resultados e os efeitos multiplicadores. As ações do projeto serão classificadas em quatro linhas sendo:

1ª - A restauração (68 ha) e a conservação (109 ha) com implantação de práticas vegetativas, com recurso do edital (PSA HÍDRICO / 2014 – AGEVAP).

2ª - A implantação efetiva de práticas mecânicas em pontos críticos de erosão e de assoreamento, drenagem nas estradas e pastagens das respectivas pequenas bacias, práticas de Educação Ambiental, comunicação e divulgação do projeto com recursos de contra partida das prefeituras envolvendo uma escola municipal de cada município durante a implementação do PSA.

3ª - O monitoramento e a manutenção, a partir da implantação das práticas (após 2016), das respectivas pequenas bacias pelos produtores e pelas prefeituras.

4ª - Apresentação de proposta de efetivação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para as propriedades rurais habilitadas para o período de cinco anos.

### **4.3. Bacia Hidrográfica**

As bacias hidrográficas são definidas como áreas na qual a água escoar para um único ponto de saída, conhecido como ponto exultório. Todos os corpos d'água que nascem nas cabeceiras de uma bacia fluem para o ponto exultório. Portanto, consiste em uma área na qual ocorre uma precipitação que é convertida em escoamento a partir de limitantes geográficos, conhecidos com divisores de água, e direcionamento do fluxo para o ponto exultório (ALVES SOBRINHO et al., 2010; PISSARRA et al., 2004).

A bacia hidrográfica geralmente faz parte de outra bacia de maior porte e assim sucessivamente, até as grandes bacias como do Paraíba do Sul e Rio Doce. Sendo assim, a doção do termo sub-bacias e microbacias hidrográficas podem ser mais apropriados, tendo em vista que os critérios de definição quanto ao tamanho são imprecisos (ANTONELI & THOMAZ, 2007).

Dentro dos elementos isográficos de uma bacia destaca-se a Rede de Drenagem que é extremamente importantes para sua caracterização e manejo das bacias hidrográficas, determinando suas características de escoamento superficial e potencial de produção e transporte de sedimentos (ANTONELI & THOMAZ, 2007).

Igualmente importante é o formato das bacias que geralmente apresentam dois formatos básicos, com tendências a serem circulares ou elípticas (alongadas). As formas têm importância especial no comportamento das cheias. As primeiras têm tendência de promover maior concentração de enxurrada em um trecho menor do canal principal da bacia. As bacias são mais alongadas e produzem maior distribuição da enxurrada ao longo do canal principal, amenizando, portanto as vazões (ANTONELI & THOMAZ, 2007).

### **4.4. Modelo Digital de Elevação (MDEHC)**

A geração de modelos digitais de elevação (MDE) através de imagens de sensores remotos possibilita análises de características morfométricas em bacias hidrográficas. Segundo Tonello et al. (2006), as características físicas e bióticas de uma bacia exercem importante papel nos processos do ciclo hidrológico influenciando, principalmente a infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e sub superficial.

De acordo com Valeriano et al. (2006), a utilização de MDE em conjunto com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) apresenta vantagens como os recursos digitais (velocidade, reprodutibilidade e integração com outras bases de dados), a redução de intervenções manuais e, portanto, a subjetividade e a possibilidade de representação paramétrica.

Assim como o MDE, atualmente vem surgindo algumas metodologias nas quais são usados mecanismos que dão maiores confiabilidades aos dados. Nesta pesquisa será usado o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente consistente, (MDEHC) para uma melhor confiabilidade nos dados gerados.

Esses modelos permitem que as delimitações automáticas das bacias sejam realizadas com maior precisão, pois consideram os dados altimétricos do terreno em suas etapas de processamento, além de apresentarem uma coincidência acentuada entre a rede de drenagem derivada numericamente e a hidrografia real, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiem o trajeto do escoamento superficial. (HUTCHINSON, 1989; RIBEIRO et al., 2005; MACHADO et al., 2010).

#### **4.5. Análise Morfométrica**

A subdivisão da uma bacia de maior ordem em microbacias permite a pontualização de problemas difusos, tornando mais fácil a identificação de focos e de problemas relacionados aos recursos naturais, dos processos de degradação ambiental. Além disso, tem sido considerada área territorial ideal para o planejamento integrado dos recursos naturais (ALVES SOBRINHO et al., PISSARRA et al., 2004). Primeiro, torna-se conveniente uma análise morfológica da bacia hidrográfica para que as formas possam ser separadas, descritas quantitativamente e comparadas de região para região (CARDOSO et al., 2006). Quando aplicada em estudos de bacias hidrográficas, a análise morfométrica possibilita a realização de uma análise quantitativa através dos valores de um conjunto de atributos para se obter as características principais de uma área razão. Este fato se tornou uma importante ferramenta de análise em estudos morfológicos para estabelecer unidades homogêneas nas áreas de estudo (ALVES & CASTRO, 2003; BARBOSA & FURRIER, 2009).

Segundo Alcântara & Amorim (2005) que abordam pedologia, relevo e rede hidrográfica, seus processos ambientais e descrevem a dinâmica das drenagens superficiais e as formas topográficas (FELTRAN FILHO & LIMA, 2007), o uso do método

morfométrico no estudo das bacias hidrográficas constitui-se num meio complementar para explicar as interações que ocorrem entre todos os elementos da paisagem.

Em locais onde a infiltração é menor ocorre maior escoamento superficial, sendo possível também maior esculturação da rede hidrográfica cuja consequência é uma densidade de drenagem mais alta. Demattê & Demétrio (1996) verificaram uma estreita correlação entre a densidade de drenagem e determinados atributos morfológicos, químicos e mineralógicos, ligados à intensidade de intemperismo dos solos estudados.

Dentre os elementos da paisagem utilizados para atributos morfométricos está a densidade de drenagem (SILVA & CARVALHO, 2002), portanto, a análise morfométrica da drenagem possibilita inferências sobre as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da bacia. Essa análise pode servir também como parâmetro para o planejamento do uso e ocupação do solo, pois os atributos físicos podem estabelecer níveis de fragilidades relacionados às características físicas e ambientais da área, indicando as possibilidades e restrições ao uso atual e futuro do solo.

#### **4.5.1. Índice de Circularidade**

Similar ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada. Na sua determinação utiliza-se a seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 A}{P^2} \quad (I)$$

Onde IC é o índice de circularidade, A área de drenagem (m<sup>2</sup>) e P o perímetro (m).

Figura 1: Modelo Índice de circularidade

#### **4.5.2. Ordem do Curso de Água**

A ordem dos cursos d'água é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação da rede de drenagem da bacia, indicando a posição hierárquica que um curso d'água ocupa na rede de drenagem. Segundo Chow (1964), designam-se todos os

pequenos canais que não se ramificam (podendo desembocar no rio principal ou em seus ramos) como sendo de primeira ordem. A junção de dois canais de primeira ordem forma um canal de segunda ordem e, quando dois rios de segunda ordem juntam-se, forma-se um rio de terceira ordem e, assim por diante. A ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia.

#### 4.5.3. Declividade e Altitude

O modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) foi utilizado como entrada para a geração do mapa de declividades e da altitude. A imagem declividade gerada foi do tipo contínua, por apresentar valores reais. As classes de declividade foram separadas em intervalos distintos, sugeridos pela Embrapa (1979).

De acordo com Righetto (1998), a declividade do terreno de uma bacia é responsável pela velocidade de escoamento superficial. Assim, a determinação do relevo de uma bacia hidrográfica é de grande importância para o estudo e sua caracterização. Grandes variações de altitude do terreno de uma bacia implicam em variações significativas na temperatura média, causando, portanto, variações na evapotranspiração e na precipitação anual (CHOW et al. 1998). Analiticamente, a elevação média da bacia é obtida através da soma do produto do ponto médio entre duas curvas de nível e a área compreendida entre elas é dividida pela sua área total, sendo:

$$E = \frac{\sum (P_i A_i)}{\sum A_i} \quad (\text{II})$$

onde  $P_i$  [L] é o ponto médio entre duas curvas de nível subsequentes e  $A_i$  é a área compreendida entre as curvas de nível.

Villela e Matos (1975) exprimem que a declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla, em boa parte, a velocidade com que se dá o escoamento superficial. Sendo assim, quanto mais íngreme for o terreno da bacia mais rápido será o escoamento superficial, o tempo de concentração será menor e os picos de enchentes na saída serão maiores.

#### 4.5.4. Sistemas de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído por todos os canais, sejam eles perenes, intermitentes ou temporários. Uma bacia bem drenada tem menor tempo de concentração, ou seja, o escoamento superficial concentra-se mais rapidamente e os picos de enchentes são altos. Destarte, as características da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica podem ser razoavelmente descritas pela ordem dos cursos d'água, pela densidade de drenagem, pela extensão média do escoamento superficial e pela sinuosidade do curso d'água.

#### 4.5.5. Densidade de drenagem

A densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica indica a eficiência de drenagem que representa a maior ou menor velocidade com que a água percorre a bacia hidrográfica. Segundo Lima (1986), a densidade de drenagem reflete a influência da geologia, da topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica e está relacionada ao tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. A densidade de drenagem, definida por Horton (1945), é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, sejam eles intermitentes ou perenes. A área total da bacia é definida por:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (\text{III})$$

onde  $L_i$  [L] é o comprimento dos cursos d'água e  $A$  [L<sup>2</sup>] é a área da bacia hidrográfica e  $D_d$  a densidade de drenagem [L/L<sup>2</sup>].

De acordo com Villela e Mattos (1975), uma bacia será pobremente drenada se o índice densidade de drenagem for menor que 0,5 km/km<sup>2</sup>. Caso esse índice esteja entre 0,5 e 3,0 km/km<sup>2</sup> a bacia será mediamente drenada e se o valor do índice for maior que 3,0 km/km<sup>2</sup> a bacia é classificada como ricamente drenada.

#### 4.5.6. Fator de forma

O fator de forma é a relação entre a largura média da bacia ( $\bar{L}$ ) e o comprimento axial do curso de água (L). O comprimento L é medido seguindo-se o curso de água mais longo, desde a cabeceira mais distante da bacia até a desembocadura. A largura média é obtida pela divisão da área da bacia pelo comprimento da bacia.

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L} \text{ , mas } \bar{L} = \frac{A}{L} \dots\dots\dots\text{(IV)}$$

Então,

$$K_f = \frac{A}{L^2} \text{ (V)}$$

Este índice indica a maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com  $K_f$  baixo, ou seja, com L grande, terá menor propensão a enchentes que outra com mesma área, mas  $K_f$  maior. Isto se deve a fato de que, numa bacia estreita e longa ( $k_f$  baixo), haverá menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão.

#### 4.5.7. Índice de sinuosidade

Este índice 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 perímetro em linha reta entre os dois extremos do canal principal. Ele mostra a influência da carga de sedimentos pela compartimentação litológica, pela estruturação geológica e pela declividade dos canais.

$$I_s = \frac{L}{D_v} \text{ (VI)}$$

Sendo:  $I_s$ - Índice de sinuosidade (adimensional), L- Comprimento do canal principal (Km) e  $D_v$ - Distância vetorial do canal principal

#### **4.6. Utilização de Sensoriamento-remoto**

As imagens de satélite são um conjunto de dados em formato matricial, cujos vetores X, Y (localização) e Z (valores radiométricos) são passíveis das mais variadas transformações algébricas para fins de realce espectral, espaciais e análises estatísticas (MOREIRA, 2007).

As transformações espectrais são particularmente importantes. Os índices de vegetação são largamente utilizados como intermediários na obtenção de parâmetros biofísicos e no acompanhamento dinâmico sazonal e fenológica. Os chamados modelos de mistura espectral, ao decompor o sinal de pixel em seus vários constituintes (solo, vegetação, água etc.), facilitam o mapeamento de classes, variações fito fisionômicas e solo exposto, bem como de importantes fatores abióticos, controlando estas distribuições (MOREIRA, 2007).

Os índices de vegetação são provavelmente a maneira mais simples e eficiente de se realçar o vigor da vegetação verde ao mesmo tempo em que minimizam as variações na irradiação solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991).

Muitos cientistas têm conseguido resultados positivos quanto à aplicabilidade do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para classificar a distribuição global da vegetação em conexão com o clima (GURGEL et al., 2003). O satélite usado para elaboração do NDVI foi o LANDSAT 8, com as banda b2- Azul, b3- Verde, b4- Vermelho, b5-Infravermelho Próximo, b6- Infravermelho Médio e b7- térmico.

### **5. ÁREA EM ESTUDO**

#### **5.1. Bacias Hidrográficas do Paraíba do Sul**

A bacia do rio Paraíba do Sul abrange uma área de aproximadamente 57.000 km<sup>2</sup> compreendida entre os paralelos 20°26' e 23° 38' sul e os meridianos 41° e 46° 30' oeste. Ao norte, seu divisor de águas se faz entre os rios Grande (bacia do Paraná) e Doce (sistema do leste brasileiro) por intermédio da Serra da Mantiqueira. Ao sul, a Serra do Mar separa esta bacia de diversos pequenos rios que fluem diretamente para o Oceano Atlântico. Na região leste, o isolamento da bacia do Paraíba se faz por meio de relevos

montanhosos localizados entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar que separa este sistema do rio Itabapoana. A oeste, o Paraíba do Sul apresenta divisores de água com o rio Tietê (bacia do Paraná) do qual é separado por meio de diversas ramificações dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira.

O rio Paraíba do Sul é formado pela união do rio Paraitinga com o Paraibuna. A direção do canal principal sofre sensíveis variações ao longo de seu traçado que corre, inicialmente, na direção sul-oeste, guinando abruptamente à direita, tomando direção noroeste, a qual é mantida na maior parte do percurso médio, exceto em um curto trecho compreendido entre Cachoeira Paulista e Barra do Piraí, onde o rio corre para leste.

Nos últimos 80 km de curso inferior, o rio Paraíba do Sul, após receber carga do rio Pomba, deixa as formações cristalinas e segue, em inúmeros meandros, para leste, atingindo o oceano Atlântico.

Ao longo do seu traçado e do curso da rede de tributários, a bacia do rio Paraíba do Sul encontra-se representada nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e de Minas Gerais. Destes, o Estado do Rio de Janeiro é o que exhibe maior área drenada pelo sistema com 37,9% da área total. Seguem-se os estados de São Paulo (37,7%) e Minas Gerais (24,4%) (COSTA, 1994).

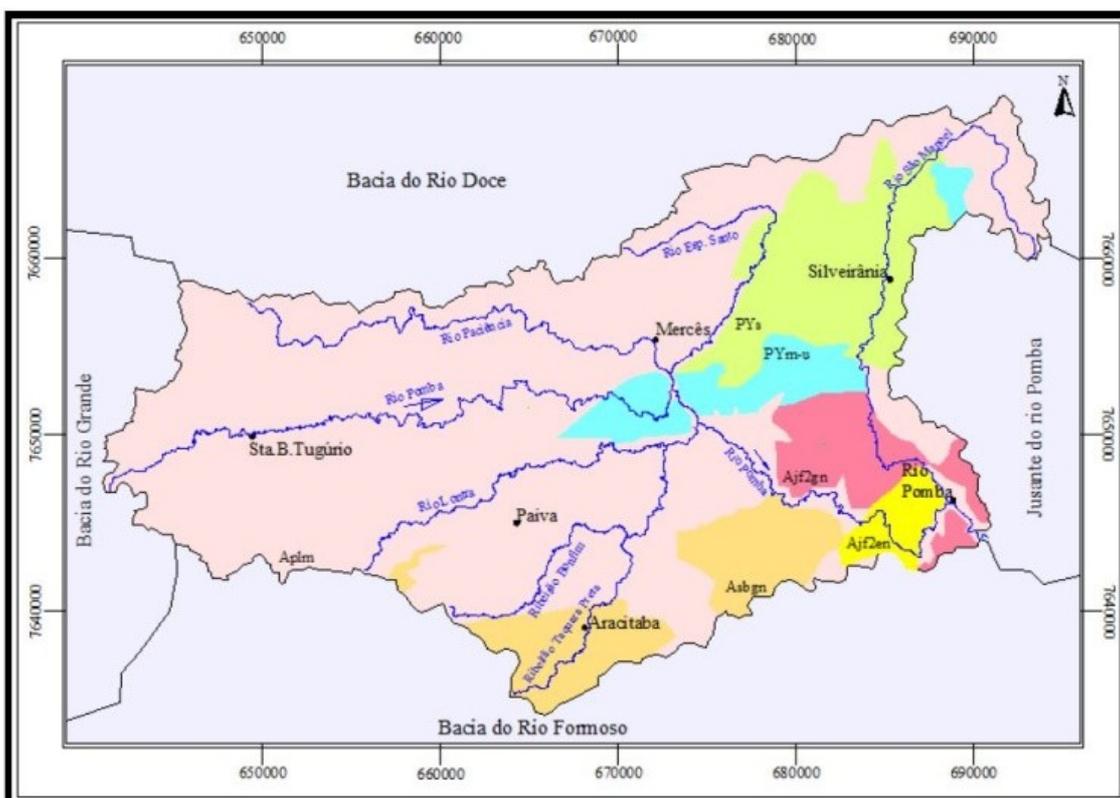
Integrando o perfil com o aspecto da paisagem dos diferentes setores da bacia, avaliado em campo e/ou em cartas topográficas do IBGE (Escala 1:250.000 e 1.500.000), pode-se reconhecer a existência de domínios fluviais (i.e. unidades ambientais). Bizerril (1996) reconheceu sete domínios assim denominados: DI - Domínio das Serras e do Planalto, DII - Domínio dos meandros com lagoas marginais, DIII - Domínio de meandros com condicionamento estrutural, DIV - Domínio das corredeiras, DV - Domínio das ilhas fluviais, DVI - Domínio dos depósitos fluviais e DVII - Domínio das lagoas, adotando uma terminologia para a denominação dos domínios que expressa a dominância de determinados elementos da paisagem. A localização de cada domínio dentro do perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul. Podemos observar a localização da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul a seguir na figura 2.



Tropical Quente e Úmido com verões quentes e chuvosos e invernos com estiagem de 4 a 5 meses. Nos pontos de altitude mais elevada, os verões são brandos e o clima é classificado como Tropical Superunido, sem seca ou com subseca. A precipitação média anual dessa região é de 1.200 a 1.600 mm e a temperatura média anual varia de 17,4 a 24,7 °C. O trecho denominado médio Rio Pomba se inicia no município de Astolfo Dutra percorrendo o município de Dona Euzébia e o vilarejo de Sinimbu, finalizando no município de Cataguases. Todos esses municípios pertencem ao estado de Minas Gerais e neste percurso se encontram os dois maiores afluentes na bacia os rios Xopotó e Novo.

Em toda sua área, a sub-bacia do Rio Pomba, segundo a CEIVAP (2006), o uso do solo encontra-se distribuída nas seguintes proporções: 3% florestas, 6% capoeiras, 2% área de cultivo, 86% Pastagem e 3% outros usos. O relevo desta região e o tipo de solo varia entre podizólico vermelho-amarelo, Latossolo vermelho-amarelo e cambissolo.

Figura 3: Localização do Rio Pomba.



Fonte: ANA

### 5.3. Município de Rio Pomba

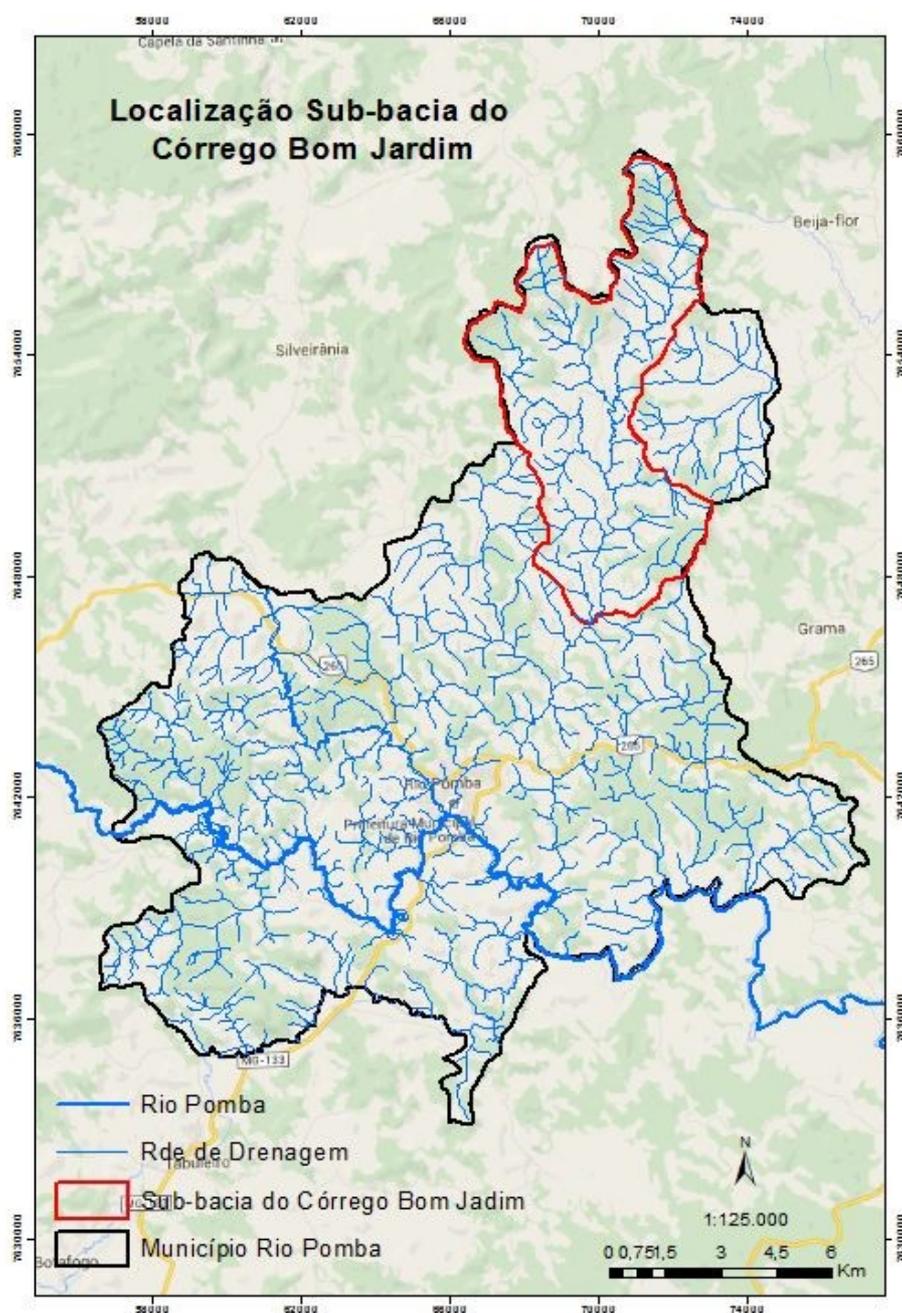
O município de Rio Pomba, localizado na Zona da Mata Mineira, em região com altitude máxima de 913 m e mínima de 419 m, apresenta temperatura média máxima anual de 27,9° e média mínima anual de 15,3°. O relevo dessa área é fortemente acidentado, caracterizando-se por ser 20% plano, 30% ondulado e 50% montanhoso. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb, ou seja, tropical de altitude na nascente e Cwa, ou seja, tropical quente úmido no restante da área da bacia (CEIVAP, 2006). A principal atividade econômica rural é a pecuária.

Rio Pomba destaca-se pela degradação do solo como resultado do manejo inapropriado dos recursos naturais. Nestas condições, verifica-se a baixa capacidade das atividades agropecuárias, a forte descapitalização dos produtores, o desestímulo destes frente às atividades econômicas e o indesejável êxodo rural.

A degradação do solo é um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e da capacidade de recuperação natural para sustentar os níveis de produção desejada. Além disso, perde-se a capacidade de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasores e surgem áreas de solo exposto, favorecendo o processo erosivo, ocasionado cada vez menos a infiltração hídrica e cada vez mais o deflúvio (KONDO & RESENDE, 2001).

A microbacia do córrego bom Jardim está localizada ao norte do município, na zona rural, onde também se localiza o instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais. O córrego bom jardim e seus afluentes são de grande importância para comunidade ali presente e também por ser um córrego de cabeceira apresenta uma maior fragilidade ambiental. Podemos observar sua localização no município na Figura 4.

Figura 4: Localização da microbacia do córrego Bom Jardim.



Fonte: Autor

## 6. MATERIAIS E MÉTODO

Neste estudo procurou-se utilizar softwares específicos para cada tipo de análise com intuito de obter precisão e acurácia nos processamentos de dados. Quanto à base de dados, ocorre o limitante da viabilidade econômica.

As fontes de dados disponíveis como o IBGE e INPE possuem certa limitação na questão de escala. A aquisição de dados “pagos” geralmente é inviável para o estudo em questão, uma vez que todos os dados utilizados estão no Sistema Coordenada Geográfica Datum SIRGAS2000 e projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) SIRGAS 2000 23S.

O Software usado no processamento de dados foi o ArcGis 10.1, aquisição das imagens, de elevação digital DEM/SRTM S09 W064 (NASA, 2000). Landsat 8 é um satélite americano de observação da Terra lançado em 11 de fevereiro de 2013 e observações empíricas nas imagens do Google earth pro. A base de dados do arquivo *shape file* da rede de drenagem foi disponibilizada pelo IBGE na escala 1: 50000, folha Tocantins, identificação: SF-23-X-D-I-2.

O trabalho foi elaborado a partir de pesquisas bibliográficas. Ao longo de toda elaboração houve o trabalho de campo e análise da microbacia. No objetivo de coletas de dados foi realizado um campo. No intuito de entender e analisar empiricamente a situação da microbacia do Bom Jardim foram coletados pontos de controle altimétricos e de pontos estratégicos através de GPS de navegação. A figura 5 abaixo ilustra as áreas de topo de morro, metade revestido de vegetação e a outra metade descoberta. Observa-se que na parte descoberta a encosta apresenta indícios de perda de horizonte “A” por erosão laminar, sendo assim, áreas prioritárias para intervenções.

Figura 5: Ponto estratégico para contenção de enxurrada e erosão.



Fonte: Autor

### **6.1. Modelo digital de elevação**

Conforme Valeriano (2004), a derivação de parâmetros morfométricos primários de MDE-SRTM, extraídos por processamento direto do MDE como declividade e aspecto do relevo, requer a melhoria de resolução de 90m para 30m. Conseqüentemente, o mesmo acontece na geração de parâmetros morfométricos mais complexos. Valeriano (2002) recomenda a aplicação da ferramenta topo *to raster* onde se leva em consideração a rede de drenagem (IBGE, 1: 50.000) que consiste do processamento geo estatístico de interpolação no qual não há perda da consistência hidrológica nem topográfica.

Para o modelo de declividade, utilizou-se a ferramenta *Slope* da extensão 3D *Analyst tools, Raster Surface*, sendo adotada a representação dos valores em porcentagem. Para cada célula foi calculada a taxa máxima de mudança de valores a partir dessa célula para os seus vizinhos.

### **6.2. Correção da Rede de Drenagem**

O próximo procedimento para a preparação dos dados é a geração das redes de drenagem vetorial, hidrológicamente consistente para a bacia do Córrego Bom Jardim. Foi utilizada a compilação de duas metodologias. A primeira é obtenção digitalizada da

hidrografia da carta topográfica na escala de 1: 50.000 do IBGE. A segunda é a correção da mesma a partir de fotointerpretação das imagens do Google *Earth Pro*. Esses processos facilitam a aplicação em pequenas áreas de estudo (PISSARA et. al., 1999; POLITANO & PISSARA, 2003; FELTRAN FILHO & LIMA, 2007).

### **6.3. Delimitações da Sub-Bacia para Extração dos Parâmetros Morfométricos**

A etapa de delimitação da sub-bacia hidrográfica do Córrego Bom Jardim foi feito a partir do método automático usando o *raster* de entrada *Flow Accumulation* da ferramenta *basin*. Em seguida, foi feito uma correção qualitativa a partir de fotointerpretação com auxílio das curvas de nível da carta topográfica do IBGE, conforme discutido em Christofolletti (1970), Silva e Herpin (2006). Relativa homogeneidade geológica e moderada amplitude altimétrica são aspectos imprescindíveis na definição das bacias, garantindo assim resultados mais precisos para cada uma das bacias analisadas.

Segundo Cardoso et al. (2006), simultaneamente ao índice de compactidade (Kc), o índice de circularidade (IC) tende para a unidade à medida em que a bacia se aproxima da forma circular e diminui sempre que a forma se torna alongada. Os cálculos geométricos, de circularidade, índice de compactidade e sinuosidade, foram executados na tabela de atributos do *shape file*, limite da bacia, usando a *Field calculator* de acordo com suas respectivas formulas citada anteriormente. Observou-se uma uniformidade na rede de drenagem, por tanto optou em fazer uma média para a bacia toda.

### **6.4. Obtenção da Densidade de Drenagem**

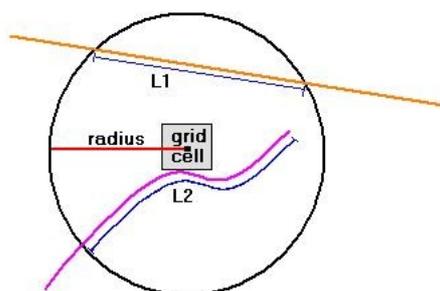
Na obtenção da densidade de drenagem, procurou-se um método que melhor represente espacialmente os dados. Sendo assim, a localização das máximas e mínimas e sua distribuição na área de estudo podem ser apuradas. Importante ressaltar a obtenção da média e desvio padrão dos dados.

O mapa de densidade de drenagem foi gerado a partir da análise estatística dos canais de rede de drenagem, na escala de 1: 50.000 corrigido. Utilizou-se ainda o estimador de densidade *density line* que é parte integrada de uma interface que se encontra na

extensão *Spatial Analyst tools* do software *ArcGis 10.1*. O estimador foi configurado para que fossem indicadas as extensões dos cursos de drenagem existentes por Km<sup>2</sup>.

Conceitualmente, um círculo é desenhado em torno de cada centro de célula *raster*, usando o raio de busca. O comprimento da porção de cada linha que cai dentro do círculo é multiplicado pelo seu valor de campo. Estes números são somados e o total é dividido pela área do círculo. A figura abaixo ilustra esse conceito.

Figura 5: Modelo de Cálculo, densidade de drenagem.



Fonte: *Esri Software Productis*

## 6.5. Elaboração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Para retratar a cobertura da vegetação na microbacia Bom Jardim foram utilizadas imagens do sensor Operacional Terra Imager (OLI) a bordo do satélite LANDSAT 8. As imagens foram disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagem (DGI) da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT) do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) pelo endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br>. De acordo com a NASA (2010), este sensor opera em onze bandas, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1. Bandas espectrais do sensor (OLI), a bordo do satélite LANDSAT8.

Landsat-8 Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fonte: <http://www.usgs.gov> USGS/NASA (2013).

Estas imagens foram utilizadas no ambiente computacional *ArcGis 10.1*. Os processamentos foram executados nas seguintes ordens: Aquisição da imagem, confecção de um mosaico de imagem com todas as bandas utilizadas (b2, b3, b4, b5, b6, b7), correção radiométrica e o cálculo do NDVI usando a calculadora de *raster* mostrada na equação a seguir.

$$NDVI = \frac{(IV - VN)}{(IV + VM)} \quad (VII)$$

em que NDVI é índice de vegetação por diferença normalizada, IV a banda do infravermelho e VM a banda do vermelho.

## 6.6. Mapa de áreas críticas

O mapa de áreas críticas tem a função de mostrar as áreas suscetíveis à erosão entre sulcos e, principalmente, a laminar, conseqüentemente áreas de maior escoamento superficial da precipitação na microbacia. Sendo assim, serve como um instrumento para escolha de áreas potenciais e prioritárias para produção de água.

O mapa foi desenvolvido a partir de outros três mapas de Altimetria (MDE), declividade (%) e, por último de Densidade de drenagem. No primeiro processamento foi realizado uma reclassificação dos três mapas, separando em um novo *shape file*, respectivamente, os seguintes valores: altimetria > 700 m; declividade > 50%; densidade de drenagem > 2,5 canais/Km<sup>2</sup>. Em seguida, foram agrupados os *shp* em um único arquivo, formulando assim o mapa. Este mapa foi elaborado no *software Arcmap* 10.1, todos na Coordenada Geográfica Datum SIRGAS 2000; Projeção UTM SIRGAS 2000 23 S.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresenta-se os resultados obtidos neste estudo. Inicia-se a discussão sobre as morfometrias da bacia. Em seguida, explica-se sobre o padrão e forma de drenagem seguida de discussões acerca da densidade de drenagem. Logo após, disserta-se sobre o índice de vegetação por diferencia normalizada (NDVI) e finaliza-se a seção realizando uma análise sobre as áreas críticas.

### 7.1. Morfometrias da bacia

Depois da elaboração da base cartográfica, calcula-se os parâmetros da morfometria da bacia do Bom Jardim.

Tabela 2 – Características Morfométricas da bacia.

Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	41,98	Densidade de Drenagem (Km/Km <sup>2</sup> )	2,4
Perímetro (Km)	41.28	Altitude Mínima (m)	456
Comprimento do eixo da Bacia (Km)	12,08	Altitude Média (m)	602
Comprimento do canal Principal	11,18	Altitude Máxima (m)	913

(Km)			
Somatória dos comprimentos dos canais (Km)	101,76 5	Amplitude Altimétrica	457
Número de Canais	187	Declividade Mínima (%)	0,0
Fator de Forma	0,29	Declividade Média (%)	26
Coeficiente de compacidade	1,7	Declividade Máxima (%)	98
Índice de Circularidade	0,31	Ordens dos Canais	5 <sup>a</sup>
Índice de sinuosidade	1,5		

Fonte: Autor

A bacia pode ser definida como de pequeno porte, pois possui 42 Km<sup>2</sup> de área. O índice de circularidade, fator de forma e índice de compacidade, são definidores da forma da bacia e, por conseguinte, fornecem informações sobre o potencial de escoamento da bacia. Ela possui valores muito baixos de fator forma (0,29) e 1,7 como índice de compacidade, indicando ter maior tempo de concentração que seria, a partir de uma precipitação, o tempo utilizado pra que a bacia inteira contribua para a saída (ponto exultório). Além desses fatores, há um índice de circularidade muito baixo (0,31), o que indica sua forma mais alongada.

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

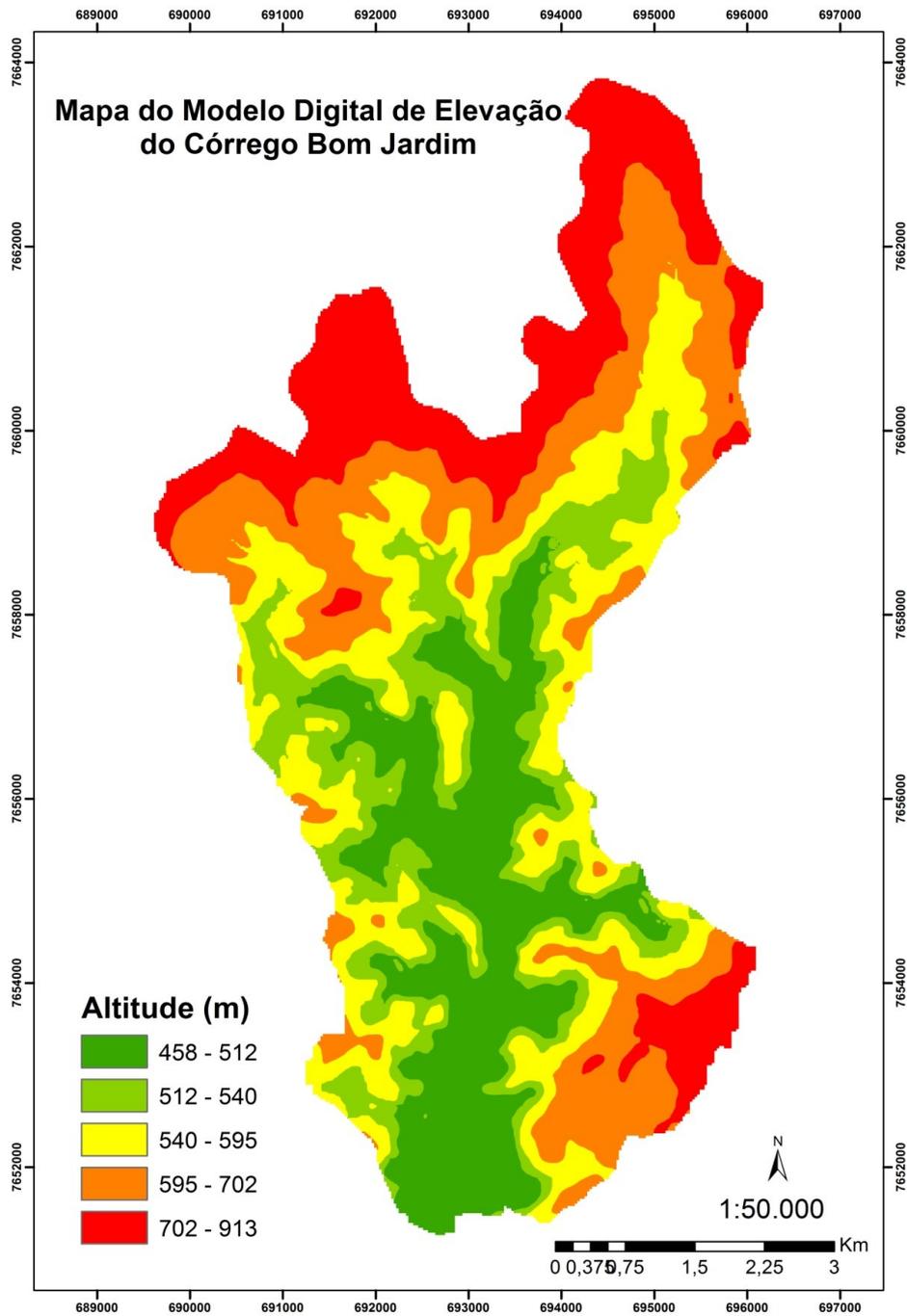
Há uma divergência na questão da densidade de drenagem. Para Christofolletti (1969), a densidade é baixa quando apresenta valores menores que 7,5 Km/Km<sup>2</sup>, média com valores entre 7,5 e 10,0 Km/Km<sup>2</sup> e alta com valores acima de 10,0 Km/Km<sup>2</sup>. Entretanto, Villela e Matos (1975) dizem que a escala seria entre 0,5 Km/Km<sup>2</sup> (drenagem pobre) e 3,5 Km/Km<sup>2</sup> (bem drenadas). No caso deste estudo, percebe-se que a bacia, em ambos os casos, está na classe pouco drenada devido à média tirada para

toda a bacia. A escala do trabalho foi de 1: 50000, conseqüentemente, os canais podem não ter sido computados. Mais à frente discutirei a distribuição da densidade de drenagem ao longo da bacia.

A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela sua característica litológica, pela estrutura geológica e pela declividade da bacia, portanto, podemos analisar estes fatores através do valor de índice. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser mais 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). Dessa forma, com 1,5 de índice, o rio do bom jardim possui um canal intermediário de sinuosidade.

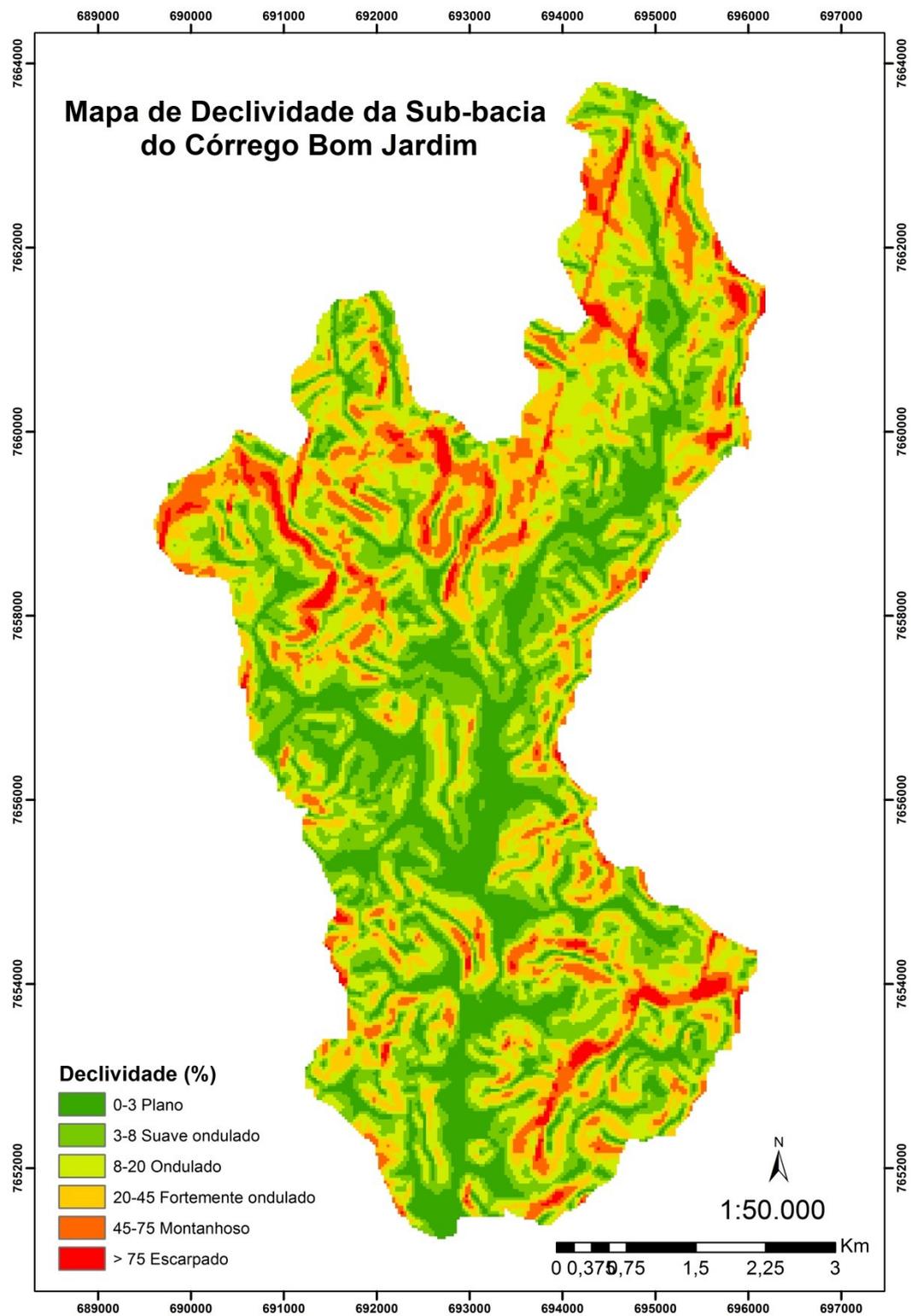
De acordo com Antonelli e Thomaz (2007), esse tipo de canal favorece um transporte de sedimento de média intensidade em condições normais, podendo se agravar com o uso e ocupação do solo desordenado. Sendo assim, existe uma grande possibilidade desses sedimentos acumularem ao final do curso do rio que é o reservatório. Por fim, ao diminuir o volume útil do reservatório, é de grande importância intervenções como a readequação de estradas e de contenção de enxurradas para amenizar esses processos.

É também importante o estudo da capacidade de transporte de um rio. Assim devemos entender esse processo de transporte como sistêmico, pois uma bacia que apresenta uma maior amplitude altimétrica tende a um esculpimento do relevo, acarretando maior risco de erosão, ainda mais em altas declividades. Dessa forma, a cobertura vegetal funciona com um agente regulador deste processo. A interferência antrópica deste sistema pode ocasionar em mudança na dinâmica do canal, ou seja, mudando a trajetória do rio (construção e desconstrução de meandros) aumenta sua velocidade e muda a máxima e mínima da vazão.



Fonte: Autor

Figura 7: Mapa de Declividade.



Fonte: Autor

## 7.2. Padrão e forma de drenagem

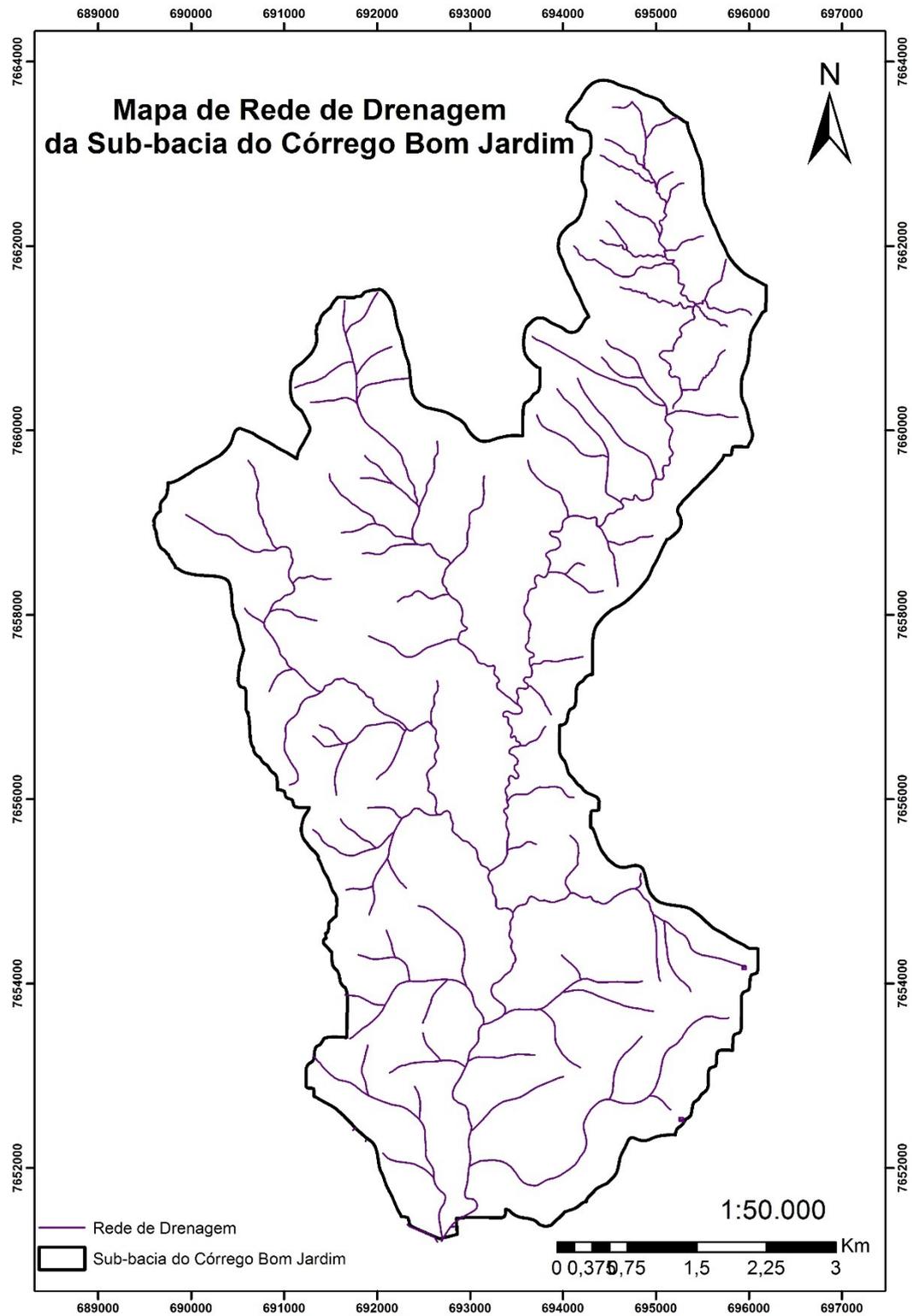
A rede de drenagem quando traçada sistematicamente e uniforme, pode fornecer importantes informações sobre a estrutura e as variações litológicas da área. O arranjo do traçado da drenagem que forma uma bacia hidrográfica é o que se denomina de padrão de drenagem. Estes padrões são analisados quanto ao grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação e grau de controle cujas características estão relacionadas com as estruturas geológicas, condições climáticas, características físicas do solo, variação da densidade de vegetação.

O Grau de integração refere-se à ligação existente entre os canais de drenagem, ou seja, o deslocamento e o traçado devem ser o mais simples e direto. Em todos os setores da bacia o grau é alto, indicando integração direta entre os canais, sendo esses, reflexo da baixa permeabilidade do solo.

O Grau de controle indica o controle relativo dos canais, sendo refletido na direção do curso d'água, ou seja, um alto controle quer dizer uma direção predominante no padrão de drenagem. Toda a microbacia apresenta um baixo grau de controle. Sinuosidade está associada ao traçado curvo dos canais fluviais sendo estes classificados como retilíneo curvo e misto. A ocorrência de uma abrupta sinuosidade pode indicar uma anomalia no terreno. Toda a bacia de drenagem apresenta sinuosidade mista.

Este padrão de drenagem da microbacia do Bom Jardim é característico de uma bacia sub-dedritica que são padrões transicionais onde a estrutura geológica pode ter influenciado levemente no traçado dos rios, principalmente na bacia dos Dias.

Figura 8: Mapa de rede drenagem.



Fonte: Autor

### 7.3. Densidade de drenagem

O mapa de densidade de drenagem indica onde estão concentradas as áreas de fraqueza em maior ou menor quantitativo que, conseqüentemente, representa a razão da concentração de canais a serem transpostas. As áreas com maiores ou menores quantidades de barreiras naturais podem influenciar na dinâmica hidrológica de uma bacia. Foram estabelecidas quatro Zonas distintas no mapa e cada uma corresponde a quantidade de rios dentro de um raio de 1 Km<sup>2</sup> em classes de cores diferentes que variam de 0 a >3 Km/Km<sup>2</sup>.

**Zona 01 - Baixa densidade (de 0 a 1,5 Km/Km<sup>2</sup>):** Esta zona é geralmente representada por solos mais porosos e com uma maior permeabilidade, ou seja, há um maior deflúvio da precipitação e menor canalização do escoamento superficial. Estas áreas se destacam sua utilização para traçado de estradas e rodovias.

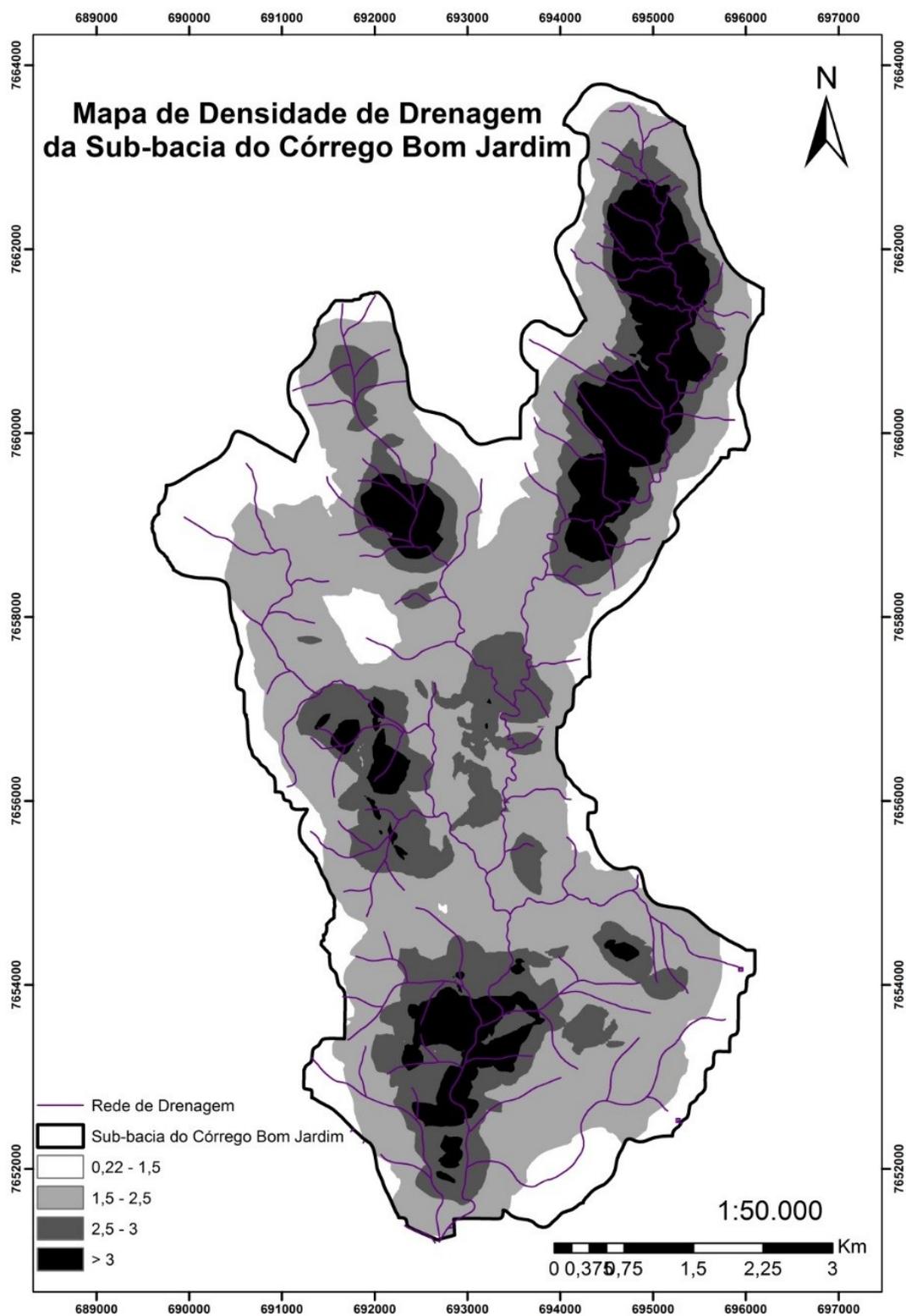
**Zona 02 - Média densidade (de 1,5 a 2,5 Km/Km<sup>2</sup>):** Destaca-se por áreas onduladas, com canais hidrológicos um pouco mais espaçados com pouco esculpimento do relevo.

**Zona 03 - Média Alta densidade (de 2,5 a 3 Km/Km<sup>2</sup>):** Ocorre principalmente junto aos canais principais e suas confluências. Existe um grande quantitativo de pequenos canais que deságuam nos rios principais, criando zonas de alta densidade devido à proximidade de canais nessas áreas. Outra característica que ilustra este tipo de drenagem é o comportamento meandrítico dos canais, tenha visto que muito das vezes possuem entre uma e outra, geralmente menor que 100 metros. Estas áreas são de alta importância, pois são áreas de sedimentação.

**Zona 04 - Altas densidades (maior que 3 Km/Km<sup>2</sup>):** Este tipo de padrão de densidade, geralmente esboçado por áreas de alagamento (solos hidromórficos), possuem características de hidrografia mais meandricas, áreas aplainadas ou de cabeceiras.

As distribuições da densidade de drenagem podem ser observadas no mapa a seguir, no qual estão situadas as áreas de uma maior densidade de drenagem. As áreas de encosta acima do cinza escuro e pretas são áreas prioritárias para intervenções que proporcionam a produção de água, ou seja, as áreas de média alta densidade e alta densidade.

Figura 9: Mapa de densidade de drenagem.



Fonte: Autor

#### 7.4. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), o *Offset* refere-se à quantidade em valores dos números digitais suficientes para compensar a resposta do detector mesmo quando este não recebe qualquer quantidade de radiação incidida. O ganho, por sua vez, refere-se a um valor normalmente ajustado para impedir que o valor medido sature positivamente, quando observa um objeto claro, e negativamente quando observa um objeto escuro, ou seja, proporciona um ajustamento ou uma sensibilidade para objetos que não absorvem radiação solar com tanta eficácia, distinguindo assim o solo exposto de cobertura vegetal.

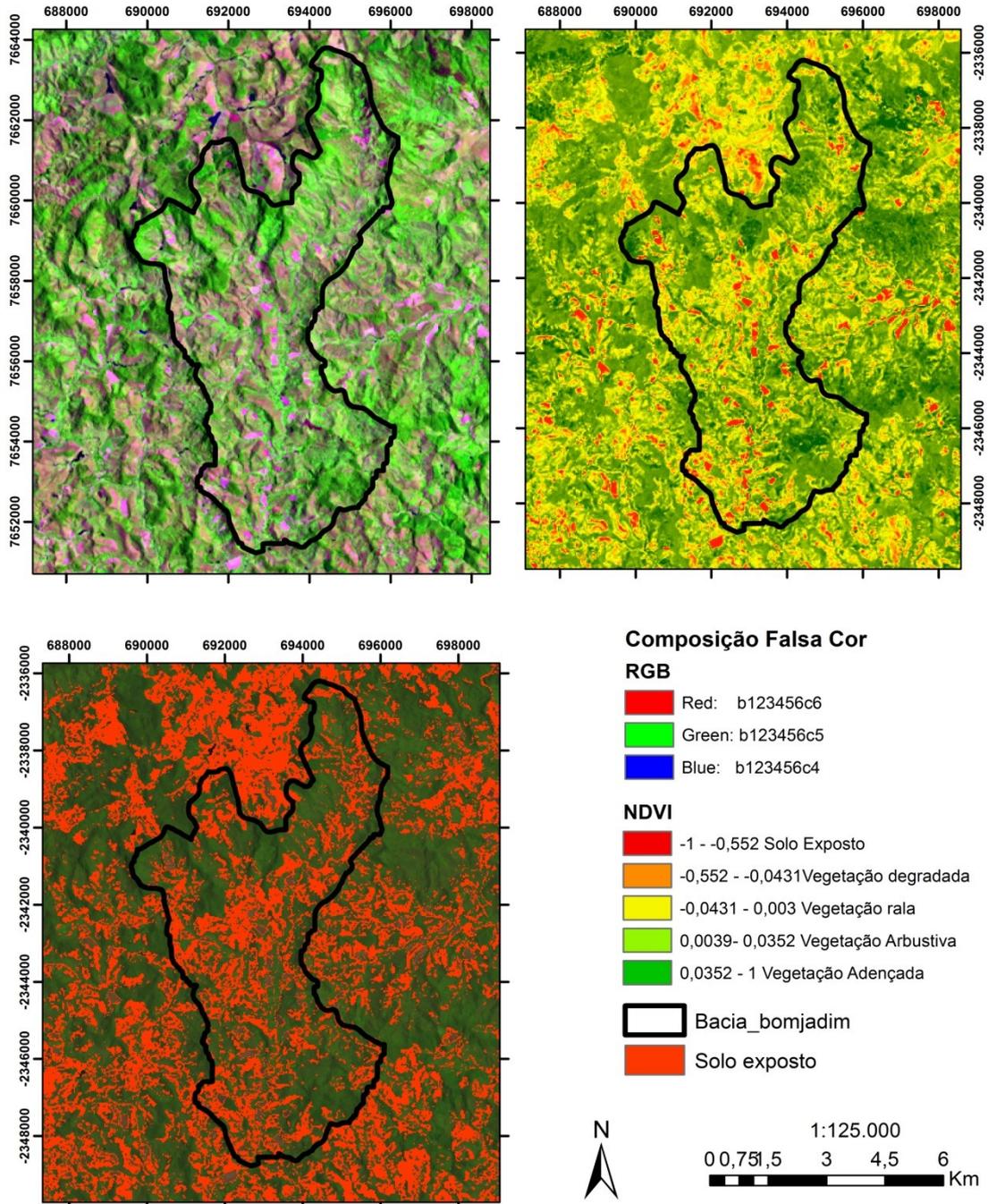
Existem diversos índices de vegetação disponível a partir da utilização técnica de sensoriamento remoto e os mais utilizados são os índices de vegetação por diferença normalizada (ROUSE et al., 1974). Estes índices baseiam-se em simples combinações das refletâncias do visível e infra vermelho próximo e médio. Para o presente estudo, foram utilizadas, com fins de medição de cobertura florestal, suas transições arbóreas, a pastagem e o solo exposto com o objetivo de mensuração e de localização espacial dos mesmos.

De acordo com o mapa, essa relação transita do verde escuro (vegetação mais densa), passando pelo verde mais claro, pelo amarelo, até chegar ao vermelho (solo exposto). Podemos observar, então, que os topos de morro são os que compõem o maior valor de densidade de vegetação, mas que ainda sim apresentam áreas sem cobertura florestal. Estas áreas de topo de morro são onde ocorrem, com maior eficiência, a recarga hídrica, mas que na imagem Landsat8 falsa cor. podemos observar que estas áreas estão localizadas perto do ponto e xultório da bacia, onde também possui maior números de fazendas.

As vertentes com solo exposto estão, em sua maioria, localizadas em encostas mais íngremes e com direção voltada para o norte ou noroeste onde recebem uma maior incidência de radiação solar. Sendo assim, estes locais recebem maior incidência de calor e, por consequência, maior evapotranspiração e menor armazenamento, portanto, estes locais são propícios ao projeto devido ao uso, à ocupação e ao manejo destas áreas, tendo em vista que um manejo degradante do solo ocasiona perda da fertilidade natural do solo e maior potencial de erosão.

Figura 10: Mapa da composição falsa cor e NDVI.

## Mapeamento de Cobertura Vegetal



Fonte: Autor

## 7.5. Análise de áreas críticas

O mapa de áreas críticas tem uma importante função de mostrar as áreas susceptíveis à erosão entre sulcos e principalmente a laminar, conseqüentemente, áreas de maior escoamento superficial da precipitação na microbacia. Sendo assim, serve como um instrumento para escolha de áreas prioritárias para produção de água.

Podemos observar que, os três valores, declividade, altimetria e densidade de drenagem se coincidem, ou seja, onde tem um valor altimétrico alto, existe uma alta declividade e por fim uma grande densidade de drenagem. Estas áreas com grande potencial erosivo e carreadoras de sedimentos destacam-se nas regiões de cabeceiras da pequena bacia dos Dias, localizadas a direita da cabeceira, que também apresenta uma forma mais alongada.

Este mapa de áreas críticas juntamente analisados com o mapa de NDVI podem nos fornecer a localização das áreas com menor índice de vegetação, de maior densidade de drenagem e maior declividade. São também áreas com umas grandes limitações de práticas mecânicas devido à alta declividade, sendo mais viáveis práticas vegetativas, barraginha e sistemas integrados de produção.

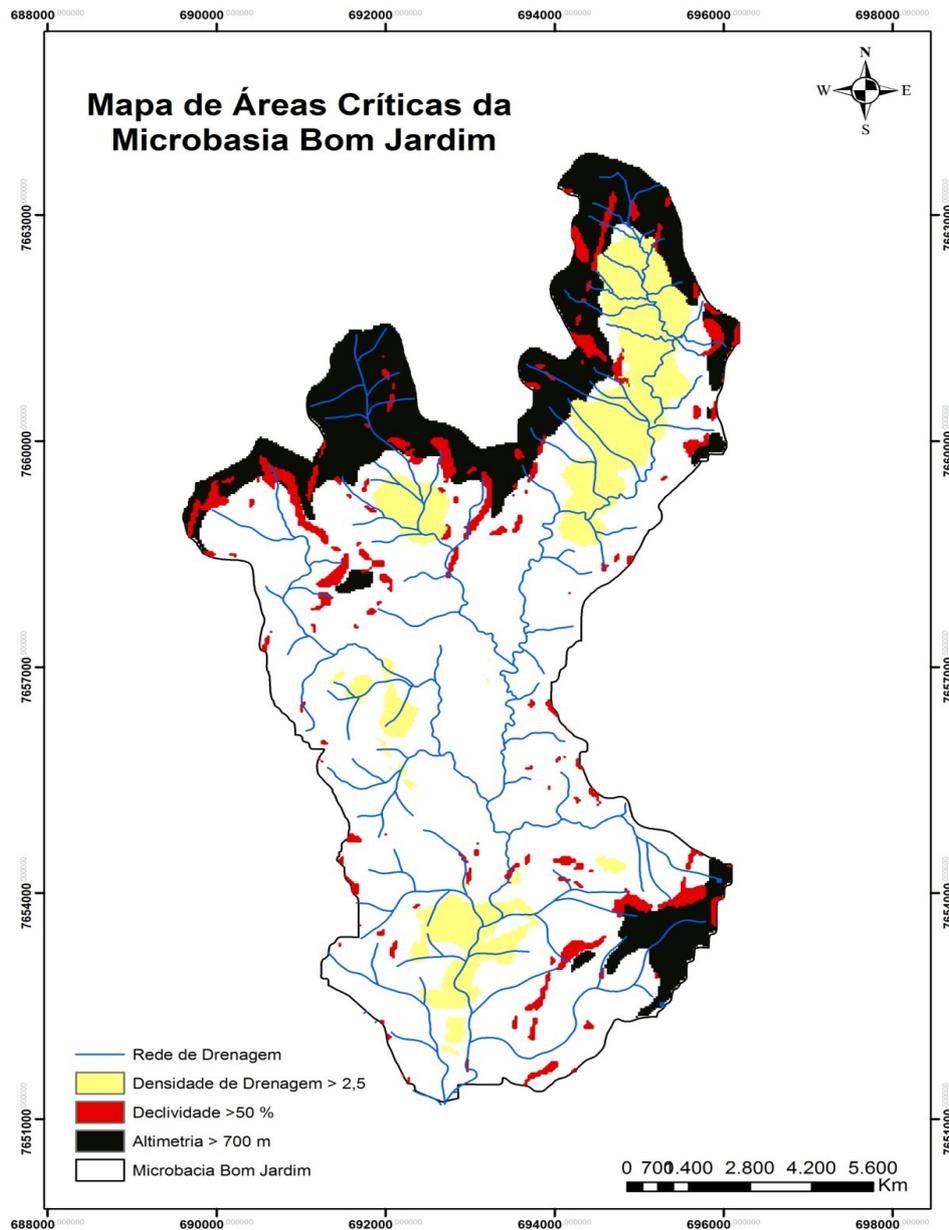
Uma característica percebida, na microbacia Bom Jardim, é um padrão de drenagem diferenciada no leito principal do rio, característicos de ares de sedimentação, evidenciado pelo seu aspecto meandrante. Estas áreas, principalmente, a região inferior da bacia, apresentam altos valores de densidade de drenagem e de exposição do solo.

Figura 11: Área de alta declividade.



Fonte: Autor

Figura 12: Mapa de Áreas críticas.



Fonte: Autor

## 8. CONCLUSÃO

Um gerenciamento adequado que vise à redução dos impactos gerados ao longo dos anos pela agricultura e pecuária principalmente deve fundamentar-se na compreensão das dinâmicas que ocorrem na bacia hidrográfica como forma de unidade de planejamento. Dessa forma, poderemos executar uma proposta de intervenções que vise à produção de água e, posteriormente, o PSA-Hídrico.

Nota-se que a dinâmica hídrica está sendo comprometida em relação ao comportamento normal da bacia, pois as intervenções sócio econômicas duradouras no uso e ocupação do solo têm afetado negativamente a rede de drenagem, principalmente quando associadas à expansão das áreas de pastagem nos topos de morro, na meia encosta e nas planícies fluviais, ao processo de desmonte do solo e à intensificação dos processos erosivos que contribui para agravar o quadro ambiental (compactação do solo, assoreamento dos canais de drenagem, redução da capacidade de transporte fluvial, perda da produtividade da terra, etc.) gerando uma deseconomia para o município. Confirma-se que, à medida que a bacia vai desenvolvendo, vão ocorrendo maiores dessecações topográficas dos interflúvios (LIMA et al., 2007).

A localização de pontos críticos é uma escolha estratégica para implementações de práticas que produzem água, seja mecânica, vegetativa na qual proporcione maior eficiência na recarga hídrica. Os principais pontos são as áreas de topo de morro localizadas na parte inferior da bacia (de forma que proporcione a criação de corredores ecológicos) e áreas de pastagens com solo exposto (mostrados no mapa de NDVI); as áreas de alta declividade e que mostram altos valores de densidade de drenagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.46-57, 2010.
- 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**, v.33, p.117-127, 2003.
- ANTONELLI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. Ver. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, 2007.
- BRAGA, R. AP. **Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de floresta e águas, com o estudo de caso na bacia do Corumbataí – SP**. Tese de Doutorado, USP, 2005.
- CARDOSO, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B; Sebastião Venâncio Martins, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, p.241-248, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto**.
- CRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica**. Notícia Geomorfológica, n.18, 1969.
- de Poços de Caldas. 1970. 215p. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia,
- FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. **Considerações morfométricas da bacia do rio**.
- FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. Viçosa, MG**: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 158p.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Degradação ambiental**. In: CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

Jaboticabal: UNESP, v.18, n.4, p.123-131, jun. 1999.

LIMA, K. C.; SANTOS, J. M. & SILVA, L. A. **Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Bom Sucesso**, Nordeste da Bahia. In: Encontro baiano dos estudantes de Geografia. 5, 2007. Anais. Feira de Santana.

LOUREIRO, B.T. Águas subterrâneas. Irrigação; produção com estabilidade. **Informe Agropecuário**, v.9, n.100, p. 48-52, 1983.

MAAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 1, p. 139-152, 1999.

MARTINS, S. V. **Recuperação de Áreas Degradadas**: Ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa: Editora Aprenda Fácil,

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa, MG: UFV, 3ª edição, 2007, 320 p. IN: JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**. V. 11, n. 2, p. 185-200, 1991.

PAGANO, S. N. & DURINGAN, G. **Aspectos da Ciclagem de Nutrientes em Mata ciliares do Oeste do Estado de São Paulo, Brasil**. IN: Mata Ciliares – Conservação e Recuperação, p. 109-123. EDUSP/FAPESP. 2000.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; SILVA, H. R.; Simetria de microbacias de primeira ordem de magnitude na região de Ilha Solteira, SP. **Engenharia Agrícola**.

POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Relações entre característica morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2º ordem de magnitude. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: UNESP. v. 23, n.1, p.179-186, jan. 2003.

PONZONI, F. J.; SHIMABURUKO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2007. 150p.

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

SILVA, A. M.; HERPIN, U. Caracterização morfométrica de sete bacias hidrográficas de mesoescala no estado de São Paulo. **Caminhos da Geografia**. Uberlândia: UFU, v. 17, n. 3, p. 20-30, fev. 2006.

Uberabinha – Minas Gerais. Sociedade E Natureza. Uberlândia: UFU. v. 19. n. 1, p.65-80, jun. 2007. Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1970.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004, 72p.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE, 2002, 56p.

VEIGA & NETO, F.C DA. **A construção dos mercados de serviços ambientais e suas implicações para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Tese de Doutorado, UFRRJ, 2008.

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