UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOBO, ESTADO DE NARIÑO, COLÔMBIA

Victoria Benavides Mora
Zootecnista

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Junho de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOBO, ESTADO DE NARIÑO, COLÔMBIA

Victoria Benavides Mora

Orientadora: Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp - Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Junho de 2008

Benavides Mora, Vitoria

B456m Morfometria da bacia hidrográfica do rio Bobo no Estado de Nariño, Colômbia. / Vitória Benavides Mora - - Jaboticabal, 2008

xii, 56 f.: il.; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008

Orientadora:Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Banca examinadora: Sérgio Campos, Jairo Augusto Campos de Araújo

Bibliografia

1. Parâmetros físicos. 2. Bacia hidrográfica. 3. Morfometria. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 556.51

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Victoria Benavides Mora, nascida em 21 de agosto de 1967, em San Juan de Pasto, Nariño – Colômbia. É Zootecnista formada pela Universidade de Nariño (Colômbia), especializada em Ecologia e Gestão Ambiental na mesma Universidade, Vinculada à Empresa de Obras Sanitárias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P, a partir de 10 de maio de 2002 como profissional, coordenando a Área de Gestão Ambiental. Iniciou os estudos de pós-graduação em Agronomia, Programa Ciência do Solo, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal, na linha de pesquisa em manejo e conservação de solos e água em março de 2006.

O encontro é a busca de respostas vitais, que dão sentido profundo a nossa existência, é um espaço em nossas vidas, no qual descobrimos o ideal, amor, amizade, acolhida, conhecimento e sobre tudo a FÉ.

Obrigada Senhor por tuas bênçãos.

Dedico este trabalho ao meu adorado esposo, Alfredo, por seu apoio incondicional e credibilidade em minha pessoa, e a meus amados filhos Felipe e Sofia. Este momento é nosso, o construímos juntos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de estudo no mestrado.

Em especial, à Profª Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, por aceitar-me como orientanda e por do o ensinamento, pelo grande apoio e paciência, pela amizade construída e momentos compartilhados.

A Izilda Maria Máximo de Carvalho, Ronaldo José de Barros e Wilson Aparecido Zadra por toda sua colaboração, amizade e apoio.

Aos Professores da Pós-Graduação de Ciência do Solo e Produção Vegetal UNESP – Jaboticabal, especialmente aos Professores William Natalie e João Antonio Galbiatti por seu grande apoio.

À banca examinadora pela orientação textual da dissertação.

À bibliotecária Tiêko Takamiya Sugahara, por sua amizade e colaboração na parte das revisões bibliográficas e correções.

À Roberta Ângela da Silva pelas correções gramaticais.

Aos meus amigos Marcelo Laia e Janaina pela amizade e apoio incondicional.

Ao nosso colega Camilo Guerrero por seu acompanhamento e ajuda em nossa estada no Brasil.

A senhora Maria Faço e sua família pela acolhida e carinho.

A minha mãe que sempre me incentivou para progredir.

Aos meus queridos irmãos por serem referência na minha vida.

SUMÁRIO

		Página
	LISTA DE TABELAS	9
	LISTA DE FIGURAS	10
	RESUMO	11
	SUMMARY	12
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Geomorfologia e fisiografia	3
2.2	Evolução da paisagem terrestre	4
2.3	A Bacia Hidrográfica	5
2.4	Análise morfométrica	7
2.5	Hierarquização da rede drenagem	10
2.6	Seleção das Bacias Hidrográficas para análise morfométrica	13
2.7	Gestão ambiental	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	Localização e caracterização da área de estudo	16
3.1.1	Geologia e geomorfologia	17
3.1.2	Solos	17
3.1.2.1	Solos das lavas vulcânicas cobertas com cinza vulcânica LV) (Hydric Destrandept)	19
3.1.2.2	Solos de frentes estruturais escarpados cobertos com cinza .vulcânicas – FEQVc (Typic Placandept)	19
3.1.2.3	Solos dos depósitos coluvais cobertos com cinza vulcânica, DC (Typic Humitropet)	20
3.1.2.4	Solos das terras altas com depósitos espessos de cinza vulcânica TAD (Andic Humitropet)	20
3.1.3	Uso dos Solos	21

3.2 MATERIAIS..... 22
3.2.1 Carta Base..... 22
3.2.2 Equipamentos..... 22
3.3 MÉTODOS..... 22
3.3.1 Características dimensionais..... 24
3.3.2 Características da composição da rede de drenagem..... 24
3.3.3 Características do padrão de drenagem..... 25
3.3.4 Características do relevo..... 26
4 RESULTADOS..... 28
4.1 Identificação da rede de drenagem..... 28
4.2 Caracterização morfométrica..... 30
4.3 Gestão ambiental..... 44
5 CONCLUSÕES..... 49
6 REFERÊNCIAS..... 50

LISTA DE TABELAS

			Página
Tabela	**1**	Principais unidades de solos da área de estudo.....	18
Tabela	**2**	Uso atual do solo na bacia do Rio Bobo.....	20
Tabela	**3**	Valores das características dimensionais das microbacias de .2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.....	30
Tabela	**4**	Valores das características da composição da rede de drenagem das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño Colômbia.....	31
Tabela	**5**	Valores das características do padrão de drenagem das micro-bacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo Estado de Nariño, Colômbia.....	33
Tabela	**6**	Valores das características do relevo das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.....	35
Tabela	**7**	Metas e estratégias específicas da gestão ambiental.....	45

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 Localização da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Município de San Juan de Pasto (Estado de Nariño – Colômbia)..... 16

Figura 2 Delimitação e hierarquização da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia..... 29

Figura 3 Fonograma de agrupamento das características de 2º ordem de magnitude nas unidades do solo.....40, 41, 42

Figura 4 Agrupamentos das microbacias em função das características dimensionais..... 43

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOBO, ESTADO DE NARIÑO, COLÔMBIA

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia. A partir de cartas topográficas da área, na escala 1:25.000, foi gerado um mapa base da rede de drenagem e dos limites das microbacias de 2ª ordem de magnitude. As características morfométricas dimensionais, do padrão da rede de drenagem e do relevo foram determinadas para o estudo do comportamento hidrológico da bacia. A bacia hidrográfica do Rio Bobo apresenta extensão superficial de 224,97 km^2 e perímetro de 71,31km, sendo considerada de 6ª ordem de magnitude. Ela é formada por 176 canais de 2ª, 34 de 3ª, 9 de 4ª e 3 de 5ª ordem de magnitude. Apresenta densidade de drenagem média de 3,71 km/km², que reflete a alta densidade, com conformação bastante forte e dissecada. A região caracteriza-se por apresentar um padrão de uso típico das zonas andinas, com bosque nativo e predomínio de culturas temporárias de batata e hortaliças tradicionais.

Palavras-chave: parâmetros físicos; bacia hidrográfica; morfometria.

MORPHOMETRIC OF BOBO RIVER WATERSHED, NARIÑO STATE, COLOMBIA

SUMMARY - The objective of this work was to realize the morphometric characterization of the Bobo river watershed, Nariño State, Colombia. From topographical maps, scale 1:25.000, was created a map using as database the drainage net and the limit of each 2nd order microbasin. The dimensional, drainage net and relief morphometric parameters were evaluated for a previous hydrological study. The drainage area was 224.97 km^2 and 71.31 km of perimeter. The Bobo river watershed is considered as 6th order of magnitude, and has 176 drainage channel of 2sd order of magnitude; 34 drainage channel of 3rd order of magnitude; 9 drainage channel of 4th order of magnitude; 3 drainage channel of 5th order of magnitude. The average drainage density is 3.71km/km^2, which reflect the high density, with a string and dissecated geological formation. The area shows an andine land use, with native vegetation and productive system with potato.

Keywords : physical parameters; watershed; morphometry.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a sobrevivência humana e o desenvolvimento da sociedade. A espacialização dos recursos hídricos, bem como a obtenção de parâmetros qualitativos e quantitativos determina, em muitos casos, sua distribuição e a organização espacial, infiltrada no subsolo e nos rios, os quais, unidos à rede de drenagem, formam a bacia hidrográfica, que é delimitada pela topografia do terreno.

O crescente emprego de técnicas matemáticas nos estudos geomorfológicos acabou por interesse na morfologia da paisagem física, que se tornou mais pronunciado na Geomorfológica Fluvial em que, de acordo com DURY (1970), abrangeu a morfometria numérica, permitindo a caracterização da estrutura das redes de drenagem, com base na comparação das diversas ordens.

As formas da superfície terrestre, a explicação do relevo, sua evolução e os processos de seu modelado são resultados da morfometria da região, a qual descreve as características físicas das microbacias hidrográficas. A análise do relevo permite sintetizar a história das interações dinâmicas que ocorrem entre o substrato litológico e o tectônico. O estudo da conformação atual do terreno permite deduzir a intensidade dos processos erosivos e de deposição, a distribuição, textura e composição dos solos.

Entre as unidades de análise da paisagem, a bacia hidrográfica é uma das mais utilizadas, porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso de água e seus afluentes, onde as interações são integradas, e assim, mais facilmente interpretadas.

O recurso hídrico descreve uma rota em seu talvegue que pode revelar a natureza do solo e topografia que modela, e ao mesmo tempo quão frágil se torna diante das diversas intervenções humanas.

Sendo assim, neste estudo foi realizada a análise das características geomorfológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Bobo mediante a aplicação

de análise morfométrica para avaliação da drenagem, susceptibilidade das microbacias ao processo erosivo e planejamento do uso/ocupação do solo.

Os objetivos específicos foram caracterizar e classificar a morfometria da rede hidrográfica da bacia do rio Bobo, relacionar as características morfométricas com a natureza e propriedades dos solos e integrar as informações no intuito de identificar as zonas de risco à erosão.

A bacia hidrográfica do rio Bobo foi escolhida para este estudo pelo seu potencial hídrico e localização estratégica, além disso, considera-se fonte de fornecimento de água para as atuais e futuras gerações da comunidade rural e urbana do Município de San Juan de Pasto no Estado de Nariño – Colômbia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GEOMORFOLOGIA E FISIOGRAFIA

Etimologicamente, a geomorfologia é definida como o estudo das formas da superfície terrestre. VIERS (1973) descreve o termo como ciência, cujo objeto é classificar e explicar as formas do relevo, DERRUAU (1966), determina-o como "a descrição das formas e a explicação do relevo, sua evolução e os processos de seu modelado". VAN ZUIDAM (1986) relaciona-o ao estudo que descreve as formas do terreno e os processos de sua formação.

A fisiografia é a descrição da natureza, mas tem diferentes enfoques. VAN ZUIDAM (1986) define fisiografia como "a descrição dos aspectos físicos (abióticos) da terra e a descrição da paisagem terrestre, incluindo aspectos de uso da terra, vegetação e influência humana".

Deve-se manifestar que a fisiografia contempla a possibilidade de subdividir as paisagens em unidades menores com base em aspetos morfométricos que podem ser semelhantes quanto à litologia, como também ao uso e manejo dos solos. Considera-se o grau de declividade da vertente, o tipo e grau de erosão, a condição de drenagem, a pedregosidade superficial etc. Um levantamento desta natureza é pré-requisito essencial para a aplicação em levantamentos geológicos, hidrológicos, florestais e edafológicos.

Para o estudo da geomorfologia, assumir-se-á de acordo com BUOL et al. (1973), a paisagem terrestre conformada de rochas, as que constituem seu esqueleto e cuja forma, tamanho e desenvolvimento estão influídos fortemente pela composição, propriedades físico-químicas, resistência, processos de origem e idade das rochas; também pela sua disposição e fatores climáticos.

As rochas constituem o fator mais importante na criação de relevos montanhosos, como as chamadas cordilheiras de dobramento do ciclo alpino. A sua ação é realizada por o vulcanismo, acumulando materiais ígneos efusivos e explosivos, determinando a formação de relevos.

Para estudos integrados da paisagem, os dados da geomorfologia são considerados imprescindíveis. A análise do relevo permite sintetizar a história das interações dinâmicas que ocorrem entre o substrato litológico e o tectônico. O estudo da conformação atual do terreno deduz a tipologia e a intensidade dos processos erosivos e de deposição, a distribuição, textura e composição dos solos, bem como a sua capacidade de uso (TONELLO, 2005).

2.2 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM TERRESTRE

Os agentes geomorfológicos são todos os elementos naturais móveis, capazes de desprender, transportar e depositar os produtos do intemperismo e da sedimentação. Estes agentes são os responsáveis diretos da maioria dos processos geomorfológicos exógenos que afetam a superfície terrestre.

De acordo com HARDY (1970), a evolução da paisagem por intemperismo considera a desintegração e decomposição das rochas para formar minerais secundários de diversos graus de complexidade, determinados por processos físicos, químicos e biológicos.

A remoção em massa na evolução terrestre abrange o conjunto de processos relacionados com a deformação do terreno por incidência das forças de deslocamento (gravidade, movimentos sísmicos), com participação maior ou menor da água, do gelo e outros agentes.

A erosão é um termo amplo aplicado às diversas maneiras, com atuação dos agentes móveis (água, vento, glaciais), que desprendem e transportam os produtos da meteorização e da sedimentação, produzindo diferentes materiais na superfície da crosta terrestre.

O desgaste do modelado da superfície terrestre produzido pode ser por um processo normal (erosão geológica) ou anormal (erosão acelerada do solo), de acordo com as condições dominantes em cada região e de acordo com a intervenção positiva ou negativa do homem.

Segundo RUHE (1975), numa seqüência de solos existe sempre uma relação entre a condição de formação do solo e a posição que ele ocupa na encosta, bem como o uso e manejo deste. A formação dos solos se faz por diversos fatores relacionados com as diferentes posições na vertente, como o nível do lençol freático, presença de superfícies erosionais ou deposicionais e quanto ao microclima.

A existência de relações entre forma do terreno e natureza do solo é explicada pelo fato do relevo se constituir na formação em que se desenvolvem as ações morfogenéticas da pedogênese, conforme PENTEADO & RANZANI (1971). Assim, o processo erosivo é natural e dinâmico, e desgasta a superfície terrestre, sendo afetado pelas transformações edafoclimáticas e inevitavelmente por ações antrópicas.

Portanto, pode-se afirmar que o conhecimento da geomorfologia e fisiografia de uma região é de importância fundamental para o estabelecimento, tanto do correto uso da terra, como para a seleção de práticas adequadas de conservação dos solos, PISSARRA (1998). E, o estudo geomorfológico no âmbito da bacia hidrográfica é realizado com o objetivo de identificar e delimitar as principais feições associadas ao comportamento hidrológico e pedológico.

2.3 A BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, isso se deve ao fato de suas características governarem, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Assim, vem sendo considerada uma unidade territorial ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais (PISSARRA, 1998, PISSARRA et al. 2004).

Segundo SANTOS (2005), pode-se utilizar a subdivisão de uma bacia hidrográfica em unidades menores por definição, a priori das potencialidades, fragilidades, acertos e conflitos centrados nas características da área. Dessa maneira, organiza-se a bacia de acordo com um critério estabelecido, o que torna menos complexo e efetivo para a espacialização dos dados, individualizando os fatores principais.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1986).

Para investigar as características das diversas formas de relevo, as bacias hidrográficas se configuram como feições importantes, principalmente no que se refere aos estudos de evolução do modelado da superfície terrestre. As redes de drenagem são a manifestação do fluxo superficial concentrado e hierarquizado através de um processo dinâmico que requer do movimento da água e da sua concentração progressiva dos coletores, cujas dimensões são proporcionais ao volume da vazão gerada (PERES FILHO, 1977).

De acordo com LIMA (1986), a bacia hidrográfica pode ser considerada como sistema aberto, como tal, ela se encontra, mesmo quando não perturbada, em contínua flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Ou seja, a adição de energia e a perda de energia do próprio ecossistema encontram-se sempre em delicado balanço. Desse modo, a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio.

A forma e o relevo, por outro lado, atuam sobre a taxa ou sobre o regime de produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas destas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são em grande parte controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica, determinando diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por HORTON (1945), STRAHLER (1957), CHRISTOFOLETTI & MACHADO (1977) e FRANÇA (1968).

De acordo com HORTON (1945), a formação da bacia hidrográfica depende da natureza dos processos de escoamento e infiltração da água das chuvas, porque a relação infiltração/deflúvio influencia de modo determinante a ação de escavamento do vale. Essa formação é bastante complexa e a avaliação das características geomórficas quantitativas é de extrema importância para elucidar a relação entre a rede de

drenagem e a bacia por ela drenada, bem como, para analisar as possibilidades e limitações quanto ao uso e manejo do solo.

Entre as unidades de observação e análise da paisagem, a bacia hidrográfica é uma das mais utilizadas, porque se constitui num sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso de água e seus afluentes. Neste espaço as interações físicas podem ser medidas e, portanto, mais facilmente interpretadas, (ALCÂNTARA & AMORIM, 2007, CARDOSO et al. 2006; CICARINI et al. 2007; LINDNER et al. 2007).

A hidrografia de uma bacia reflete a estrutura geológica (litológica e tectônica), a evolução morfogenética regional, o clima e as intervenções antrópicas. O uso das terras é a principal atividade humana que afeta a hidrografia de uma bacia, mas outras atividades, como a transposição, também podem causar consideráveis alterações (SNADDON et al., 1998; LATRUBESSE et al. 2005), definindo diferentes padrões ou modelos de drenagem básicos (dendrítico, paralelo, retangular, treliça, radial e anelar) e combinações de padrões (CUNHA, 1994; ALCÂNTARA & AMORIM, 2007)

2..4 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

A maior parte dos progressos importantes da análise morfométrica de bacias de drenagem nos últimos trinta anos teve sua origem na identificação da ordem dos cursos de água estabelecida por HORTON (1945). A partir das interações dos eventos hidrológicos e a geometria das bacias hidrográficas mostra-se como o sistema de drenagem pode ser dividido em componentes de ordens diferentes, propiciando a construção de modelos morfométricos relacionados com os processos de escoamento superficial.

A partir da década de 50, novos parâmetros foram definidos, conforme apresentado nos estudos de FREITAS (1952), STRAHLER (1952, 1957), SCHUMM (1956), TOLENTINO et al. (1968), CHRISTOFOLETTI (1970); CHRISTOFOLETTI & MACHADO (1977), dentre outros.

CHRISTOFOLETTI (1970), preocupado com o entendimento da importância e descrição dos variados aspectos da análise morfométrica de bacias hidrográficas, desenvolveu um trabalho bastante completo, integrando os índices e parâmetros desenvolvidos.

A partir desta contribuição, os dados fornecidos pela análise morfométrica permitem a caracterização da estrutura das redes de drenagem, com base na comparação das diversas ordens. Desde então, foi possível dedicar atenção crescente à noção de que os cursos de água são fenômenos ordenados e previsíveis, cujo desenvolvimento e expansão ocorrem até que a rede atinja o seu tamanho ótimo, alcançando o equilíbrio em função das condições ambientais CALDERINI & MACHADO (2000).

Para SOARES (2000), o movimento da água depende fundamentalmente da morfometria da bacia, por isto seu conhecimento é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo.

Em estudos das interações entre os processos, sob o ponto de vista quantitativo, utiliza-se o método de análise morfométrica através dos seguintes parâmetros: Densidade de drenagem, da composição da drenagem, do relevo da bacia, entre outros. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais (ALVES & CASTRO, 2003).

OLIVEIRA et al (1994) definem, resumidamente, a morfometria como sendo o estudo quantitativo das formas de relevo. No entanto, corresponde ao estudo das bacias hidrográficas com vista a uma análise linear.

A caracterização morfométrica objetiva obter índices quantitativos, os quais auxiliam os estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Com a análise das características morfométricas procura-se entender a relação solo-superfície, em decorrência dos processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas (PISSARRA et al. 2004).

A caracterização dos territórios pretende compreender e interpretar os elementos homogêneos que compõem a paisagem, estabelecendo sobre essas bases a aptidão natural, restrições de uso e suas pautas essenciais de manejo, tanto para gerar desenvolvimento socioeconômico, quanto para sustentá-lo no tempo e no espaço (CONIF, 2003).

A relação das características morfométricas, as quais descrevem a natureza de canais de drenagem superficiais foi utilizada por GLENNON & GROVES (2002) para analisar o escoamento superficial, produção de sedimento e a evolução morfológica da bacia hidrográfica da Mammoth Cave, em Kentucky, EUA. Os autores concluíram que os valores de densidade de drenagem estiveram entre 0,24 km/km² e 1,13 km/km².

MISSURA (2005) utilizou índices morfométricos para a análise da rede de drenagem e sua correlação com os controles morfoestruturais, seus resultados apontaram para uma boa correlação entre anomalias na distribuição espacial dos índices e ocorrência de controles tectônicos sobre a rede hidrográfica.

CARDOSO et al. (2006) realizaram a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ, a partir de alguns parâmetros físicos, como área da bacia, perímetro, densidade de drenagem, declividade, altitude etc, para o estudo do comportamento hidrológico da bacia.

CICARINI et al. (2007) determinaram os parâmetros morfométricos como: Comprimento da rede, área, perímetro, número de segmentos, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, altitude, etc de bacias hidrográficas do município de Campinas-SP, possibilitando uma análise temporal da evolução dos canais fluviais, a qual é fundamental para a aplicação de medidas mitigadoras voltadas para o gerenciamento dos rios.

Os parâmetros morfométricos devem ser considerados no conjunto para caracterizar a bacia e devem ser utilizados como importantes pressupostos na elaboração de projetos de prevenção e defesa contra eventos hidrológicos, como estiagens e enchentes que ocorrem na bacia hidrográfica (LINDNER et al. 2007).

2.5 HIERARQUIA E ORDENAÇÃO DE CANAIS DE DRENAGEM

O conceito central das análises morfométricas é o da ordenação dos canais, a qual fornece um meio objetivo para se subdividir as redes fluviais, dando a posição de cada canal na hierarquia dos tributários.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1974), a hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra.

De acordo com BOWDEN & WALLIS (1964), esta ordenação foi o ponto inicial para caracterizar a rede de drenagem e as principais características podem ser relacionadas entre si e com os processos hidrológicos e de erosão. O reconhecimento da hierarquia dos canais é de fato importante porque as diferentes feições morfométricas e hidrológicas associam-se a ela.

A ordenação dos canais passa a ser o primeiro passo para a coleta de dados morfométricos, decompondo a rede em determinado número de segmentos discretos, cada um composto de um ou mais segmentos, de acordo com as regras do sistema de ordenação empregado BOWDEN & WALLIS (1964).

Desde a formulação Hortoniana, muitas técnicas de ordenação foram propostas. Entretanto, a modificação introduzida por STRAHLER (1957), proporciona vantagens operacionais importantes, por sua simplicidade e liberdade de decisões, assegurando uma maior utilização entre as várias outras técnicas alternativas.

Para Stralher, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, extendendo-se desde a nascente até a confluência; Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem de afluentes de primeira ordem; Os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordem (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A partir da ordenação dos canais fluviais, as bacias hidrográficas, para fins de análise morfométrica, são identificadas de modo quantitativo pelas suas características dimensionais, da composição da rede, do padrão de drenagem e do relevo, que mostram seus aspectos ligados à morfologia e tamanho, HORTON (1945), STRALHER (1957), CHRISTOFOLETTI (1974). Sendo que essas características são afetadas por fatores geológicos e topográficos, os quais influenciam o comportamento hidrológico da bacia MORISAWA (1962).

As características dimensionais, representadas pela área, perímetro, maior largura, maior comprimento e o comprimento total da rede, refletem as condições do meio físico, sendo que foram condicionadas pelo deflúvio e infiltração nas camadas superficiais e subjacentes. A intensidade e a distribuição das chuvas também afetam essas características. A área e a forma da bacia controlam o tempo de chegada do deflúvio até a rede de escoadouros (VILELA & MATTOS, 1975).

De acordo com RAY & FISHER (1963), as características da composição da rede de drenagem estão representadas pelo número de rios, comprimento total dos segmentos dos rios, comprimento médio do rio, razão de bifurcação, razão de comprimentos totais e razão de comprimentos médios. Refletem a espessura e a natureza do material superficial exposto. Segundo FREITAS (1952), essas características são boas indicadoras da natureza do solo, além de serem facilmente observadas pelo intérprete.

As características do padrão de drenagem, representadas pela densidade de drenagem, freqüência de rios, razão de textura, extensão do percurso superficial e coeficiente de manutenção, refletem o modelo da rede de drenagem de uma determinada paisagem retratando aspectos de forma, densidade, disposição e tamanho dos segmentos dos rios, RAY & FISHER (1963). Estas características refletem a influência da litologia, estrutura geológica e material superficial (solo) sobre o desenvolvimento da rede de drenagem VIEIRA et al. (1997).

As características do relevo representadas, principalmente pela amplitude altimétrica, razão de relevo, razão de relevo relativo, índice de rugosidade e declividade

média da encosta, têm sido utilizadas com o propósito de retratar a diversidade de formas da superfície terrestre; sendo que essa diversidade de formas é causada pelo conjunto de desnivelamentos de cada área, BOUL et al (1973).

O relevo de uma bacia tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente o tempo de concentração, são determinados pela declividade do terreno. Além disso, a temperatura, a precipitação, a evaporação etc., são funções da altitude da bacia (MOSCA, 2003). Portanto, é de grande importância a determinação de curvas características do relevo desta unidade de trabalho.

Segundo OLIVEIRA (1999), o relevo é discriminado em várias classes em função do grau de movimentação da superfície. As classes de relevo são: Plano, suave ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, sendo que essas refletem a espessura do manto superficial e o caráter litológico-estrutural.

As superfícies geomórficas geralmente são associadas com as unidades homogêneas do terreno, as quais se apresentam intimamente relacionadas com a distribuição dos solos, de acordo com GANDOLFI (1971).

O conceito da similaridade geométrica, proposta no trabalho de STRAHLER (1957), representa um importante passo na análise morfométrica da rede de drenagem, pois demonstra que todas as medidas correspondentes de comprimento de um conjunto de bacias hidrográficas semelhantes estão em uma razão fixa, e apresentam-se iguais ou próximas. Aceita-se que a maior similaridade geométrica implica uma maior homogeneidade nas características que definem as regiões, permitindo maior confiabilidade nas interpretações e extrapolações mais amplas. Este conceito estabelece as formas e dimensões do terreno e é de fundamental importância na comparação entre bacias; Pois na natureza, onde há homogeneidade geológica, a semelhança geométrica é aproximada, onde não há, a semelhança é definitivamente ausente.

2.6 SELEÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Segundo DURY (1969), a adoção do critério da ordem de magnitude da bacia como referencial básico na análise morfométrica sempre foi desalentada desde a preposição metodológica de HORTON (1945), sendo um dos principais fatores que contribuíram para a revolução dos estudos geomorfológicos. No entanto, a ordem de magnitude deve servir somente como padrão de referência em estudos comparativos, não sendo válida a comparação entre bacias de ordens de magnitude diferentes.

Um critério envolvendo a escolha de bacias menores, de 1ª e 2ª ordens de magnitude, para análise morfométrica de bacias hidrográficas de áreas representativas de condições geológicas e pedológicas foi adotado por POLITANO et al. (1992). Nessa pesquisa obtiveram-se indícios de que a localização da microbacia no sistema de drenagem pode afetar o seu desenvolvimento.

Na determinação das condições ligadas ao escoamento das águas das chuvas nas vertentes, a estabilidade das encostas, a produção de sedimentos e a vazão, verificaram a maior adequabilidade das bacias pequenas, como por exemplo, as de 1ª, 2ª e 3ª ordens de magnitude. Nessas ordens foram estabelecidas diversas inter-relações muito significativas entre as propriedades das microbacias e as condições geomórficas, PALLA (1994).

Um critério, que consiste na seleção de bacias hidrográficas de mesma ordem de magnitude de acordo com sua posição no sistema natural de drenagem, foi adotado por PISSARRA (1998). Os resultados obtidos comprovaram a influência do fator posição da microbacia no sistema de drenagem sobre as bacias hidrográficas de 1ª ordem. A autora ainda ressalta a alta variabilidade das características quantitativas, tendo em vista a evolução que o modelado sofreu.

2.7 GESTÃO AMBIENTAL

Os crescentes problemas relacionados ao crescimento populacional, distribuição desigual de renda e ausência de rígidos programas de fiscalização, implicam, entre outros, no comprometimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, aumentando a preocupação em proteger e recuperar as águas e na elaboração de diretrizes para o uso sustentável do solo. Sendo assim, o planejamento e gestão eficientes dos recursos naturais, respeitando-se as especificidades do meio, das suas potencialidades e limitações, são de primordial importância para o desenvolvimento.

Considerando o conceito de desenvolvimento sustentável, que consiste em continuar desenvolvendo as comunidades sem destruir o ambiente e com maior eqüidade e justiça social, de forma a garantir recursos em quantidade e qualidade que satisfaçam as necessidades das gerações atuais e futuras, surge a Educação Ambiental,compondo um instrumento fundamental para atingir esse desenvolvimento.

Como hipótese, a identificação dos problemas socioambientais que atingem o trecho que compreende a área da bacia do rio Bobo, reúne e analisa dados obtidos da análise em campo, gerando assim, informações. Essas informações poderão subsidiar a elaboração de trabalhos que visem proteger e recuperar a qualidade e disponibilidade de suas águas, de forma a sensibilizar e conscientizar a população sobre a responsabilidade de garantir o abastecimento de água em quantidade e qualidade para as gerações atuais e futuras, propondo diretrizes e ações que atendam as demandas, uma vez que todo esse processo é tido como instrumento ideal para se atingir o desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento humano sustentável obriga as empresas de serviço de água e esgoto a ampliar sua perspectiva, tendo em conta um manejo do recurso natural que é sua matéria prima com critérios de sustentabilidade e eficiência ambiental.

Ao contrário do que se pensa, a água superficial não se pode aumentar, e é por isso que se deve manejar de maneira racional. EMPOPASTO - Empresa de Obras

Sanitárias de Pasto - tem então a obrigação de trabalhar com a gestão ambiental, incluindo projetos tendentes a conservar e proteger os ecossistemas produtores de água, diminuindo a pressão antrópica exercida pelo homem nas bacias hidrográficas, que são fonte de água para a população.

Precisamente, o objetivo da gestão ambiental nas bacias hidrográficas é o de resolver os problemas da utilização da água, do solo e da vegetação natural, na base das leis da natureza em que todos esses recursos dependem uns dos outros, incluindo também o homem como parte do sistema.

Este processo precisa ser analisado com a comunidade assentada nas microbacias para que sejam identificados, através de oficinas, seus problemas em relação à oferta e procura da água. Assim, a partir de metodologias, cujo componente principal é a participação ativa da comunidade, são identificados os principais problemas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na parte sudeste do Estado de Nariño Colômbia, região administrativa dos Municípios de San Juan de Pasto e Tangua. (Figura 1).

A bacia hidrográfica apresenta uma extensão superficial de aproximadamente 22571 hectares, distribuindo-se entre as coordenadas UTM 66407,16m a 178704,12m N e 315537,93m a 232895,43m E, MC 78° W Gr., zona 18, conforme CONIF (2003) e cartas planialtimétricas elaboradas por CORPONARIÑO (1993).



Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Município de San Juan de Pasto (Estado de Nariño – Colômbia).

A variação da precipitação média anual é de aproximadamente 800 a 1500 mm, cuja distribuição mostra concentração de chuvas no período de março a maio e outubro a dezembro, e uma estação relativamente seca entre os meses de junho a setembro. A evapotranspiração oscila entre 800 e 1000 mm/ano e as temperaturas médias, máxima e mínima, são 6°C e 11°C, conforme CONIF (2003)

3.1.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

As rochas, sobre as quais está a bacia hidrográfica do rio Bobo, são de idades que oscilam entre o Terciário e o Quaternário. Os produtos litológicos são rochas ígneas vulcânicas piroclásticas superpostas sobre lavas andesíticas, dacíticas e cinzas vulcânicas, as quais se apresentam em diferentes estados de alteração. Na região, basicamente observa-se um sistema de falhas e um conjunto de estruturas vulcânicas que exercem controle sobre o traçado do rio (CONIF, 2003).

Os eventos geomorfológicos na área de estudo estão associados aos grandes eventos tectônicos e vulcânicos que originaram o maciço Andino, e ao gelo dos períodos glaciais e interglaciais, dando como resultado a acumulação de grandes volumes de terra. Assim como, a sucessiva remoção e deposição de material dendrítico, mesclado com cinzas vulcânicas.

3.1.2 SOLOS

Para a descrição das paisagens presentes na zona de estudo, CONIF (2003) divide as unidades de solos de acordo à modelagem do relevo, clima e pedologia (Tabela 1).

As características dos solos mais representativas são descritas a seguir, compilando descrições dos Planos de Ordenamento e Manejo da bacia, elaboradas na Corporación Autônoma Regional de Nariño - CORPONARIÑO (1993 e 2003).

Tabela 1. Principais Unidades de Solos da Área de estudo.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	
Solos Periglacial **TL, ZÉ,** Frentes estruturais rochosos e pedregosos **FEI**	Dystric Cryandept 80% Typic Cryandept 20%
Solos das Lavas Vulcânicas cobertos com Cinzas Vulcânicas (**LV)**	Hydric Dystrandept
Solos dos planos estruturais cobertos com Cinzas Vulcânicas **(PE, PECV, PEDS)**	Typic Placandept
Solos dos Frentes Estruturais Escarpados cobertos com Cinzas Vulcânicas **(FEQCV)**	Typic Placandept
Solos dos Frentes Quebrados cobertos com Cinzas Vulcânicas (**FQCV**)	Typic Dystrandept,
Solos dos planos Estruturais cobertos com Cinzas Vulcânicas (**PE, PECV**)	Umbric Vitrandept,
Solos dos Depósitos Coluviais cobertos com Cinzas Vulcânicas (**DC**)	Typic Humitropept
Solos as terrosas altas com Depósitos Espessos de Cinzas Vulcânicas (**TA)**	Andic Humitropept
Solos dos planos estruturais dissecção das cobertas com Cinza Vulcânica (**PEDS**)	Umbric Vitrandept
Solos das gargantas epiginias (**GE, GEQ**)	Lithic Troporthent
Solos dos Frentes Estruturais (**FE**)	Typic Vitrandept
Solos dos Frentes Denudados cobertos com Cinzas Vulcânicas (**DNCV, DE**)	Typic Dystrandept 60% Umbric Vitrandept 40%

Fonte: Plano de Ordenamento e Manejo (CONIF, 2003).

3.1.2.1 Solos das lavas vulcânicas cobertos com cinzas vulcânicas LV (Hydric Destrandept)

Localizados na parte média e alta da bacia. Compreendem solos profundos e moderadamente profundos, bem a moderadamente bem drenados. Família textural franco fino e franco grossa. Suscetíveis a remoção de massa.

Geralmente apresentam um horizonte delgado (menos de 3 cm), cimentado à profundidade variável. Horizonte superficial é de cor preta e a textura franca ao franco arenoso.

São de reação muito ácida, capacidade de troca catiônica alta, saturação de bases baixa, muito alto conteúdo de carvão orgânico e baixa quantidade de fósforo disponível; O alumínio de troca é alto no horizonte superficial. Em geral, a fertilidade muda de baixa a muito baixa.

3.1.2.2 Solos de frentes estruturais escarpados cobertos com cinzas vulcânicas – FEQVc (Typic Placandept)

Localizam-se nas partes altas das vertentes, relevo escarpado. Solos superficiais, limitados por presença de rocha perto à superfície. Compreende solos profundos e moderadamente profundos, bem a moderadamente bem drenados, da família textural franco fino e franco grossa. Suscetíveis à remoção de massa, geralmente apresentam um horizonte delgado.

São solos de reação muito ácida, capacidade de troca catiônica alta, saturação de bases muito baixa, muito alto conteúdo de carvão orgânico e baixa quantidade de fósforo disponível. O alumínio de troca é alto no horizonte superficial.

3.1.2.3 Solos dos depósitos coluviais cobertos com cinzas vulcânicas – DC (Typic Humitropept)

Localizados nas partes médias e altas de áreas coluviais. Solos desenvolvidos a partir de cinzas vulcânicas, profundos, bem drenados, de relevo quebrado a fortemente quebrado, com pendentes 25 a 50% de declividade.

Morfologicamente apresenta um horizonte superficial de 40 a 50cm de espessura, de cor preta ou muito escuro. Reação positiva ao fluoreto de sódio (NaF), textura franco argilosa a argilosa. Subjacente encontra-se o horizonte C de cor vermelho a amarelo.

O pH é ácido e varia regularmente entre 4,0 e 5,7 com tendência ao aumentar com a profundidade. Apresentam um alto conteúdo de carvão orgânico, alta capacidade de intercâmbio de cátions e de saturação.

3.1.2.4 Solos das terra altas com depósitos espessos de cinzas vulcânicas – TAD (Andic Humitropept)

Solos desenvolvidos a partir de cinzas vulcânicas, muito profundos, bem drenados, de relevo quebrado a fortemente quebrado. O epipedon é muito espesso, indo até 50 cm, de cor preta ou muito escuro, os horizontes seguintes apresentam cores mais claras, que vão de pardo escuro a pardo amarelo e de amarelo a vermelho, textura franca a franco arenosa muito friável.

O pH é ácido e varia regularmente entre 4,0 e 5,7 com tendência a aumentar com a profundidade. Apresenta alto conteúdo de carvão orgânico, alta capacidade de intercâmbio de cátions e de saturação.

3.1.2.5 Solos das frentes estruturais – FE (Typic Vitrandept)

Este conjunto localiza-se nas partes superiores e médias das vertentes. Compreende solos superficiais, bem a excessivamente drenados e de texturas franco grossas.

O perfil do solo apresenta um horizonte delgado (20 cm de espessura), de cor parda muito escura e de textura franco arenosa, que descansa sobre rochas não consolidadas.

Estes solos são desenvolvidos com composição mineralógica com mais de 60% em materiais piroclásticos que fornecem ao solo uma característica que retém umidade. Do ponto de vista químico são solos ligeiramente ácidos e altamente saturados. O conteúdo de carvão orgânico não passa de 2% nos primeiros 20 cm.

3.1.3 USO DOS SOLOS

A região caracteriza-se por apresentar um padrão de uso típico das zonas andinas, onde existem zonas abertas de intervenção do bosque nativo e predominando culturas temporárias de batata e hortaliças tradicionais. Além disso, existe criação de gado extensiva com rotação de potreiros.

Os bosques primários e secundários (tabela 2) constituem o sustento econômico e energético de grande parte dos habitantes da região que fazem intervenção para obter diferentes produtos, como é a transformação da madeira em carvão vegetal.

Tabela 2. Uso atual do solo na bacia do rio Bobo.

Tipos de uso	ha	%
Páramo	3885	17,51
Bosques primários	393	1,77
Bosques primários com intervenção	3623	16,33
Bosques secundários	1896	8,54

Restolho	583	2,62
Bosques plantados	183	0,82
Culturas agrícolas	3580	16,14
Pastos	7800	35,15
Área urbana cidade	–	–
Espelho da barragem	244	1,10
Total	22187	100

Fonte: Plano de Ordenamento de Manejo da Bacia do Rio Bobo (2003)

3.2 MATERIAIS

3.2.1 CARTA BASE

Como material básico neste estudo foram utilizadas as cartas topográficas planialtimétricas da rede de drenagem, de solos, de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Bobo, editadas pela Corporação Autônoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO) - Colômbia, de 1993, em escala 1:25000, eqüidistância vertical entre curvas de nível de 25 m.

3.2.2 EQUIPAMENTOS

Os seguintes equipamentos foram utilizados:

Estereoscópico de espelho marca WILD modelo ST4, para observação estereoscópica do traçado da rede de drenagem, divisores de água, cobertura vegetal, solos e erosão;

- Curvímetro marca Derby, para medida de alinhamentos curvos;
- Planímetro polar marca A. OTT, para medida de áreas;
- Escalímetro, para medida de alinhamentos retos;

- Sistema de computação: Microcomputador PENTIUM 4 com memória RAM de 64Mb, disco rígido de 4.2 Gb, monitor SVGA 17", teclado, CD, impressora; mesa

. Programa de desenho Autocad 2008.

3.3 MÉTODOS

Para a identificação da área de estudo, traçado e análise morfométrica da rede de drenagem, incluindo os cursos de água permanentes e temporários, segundo recomendações de STRALHER (1957), CRHISTOFOLETTI (1970) e COELHO et al. (1996), foram utilizadas as cartas planialtimétricas com a delimitação da bacia hidrográfica.

O traçado da rede de drenagem da área de estudo foi realizado para a elaboração da carta base, na qual se identificaram e delimitaram topologicamente, as microbacias de contribuição para cada segmento da rede hidrográfica.

A classificação dos canais de drenagem de todas as microbacias hidrográficas foi realizada de acordo com a metodologia proposta por HORTON (1945), modificada por STRALHER (1957), considerando os canais de 1ª ordem como àqueles que não apresentam ramificações, canais de 2ª ordem quando recebem dois de primeira ordem, e assim por diante.

A caracterização hidrográfica foi elaborada mediante análise morfométrica de cada microbacia de segunda ordem, sendo determinadas as características dimensionais, de composição da rede de drenagem, do padrão de drenagem e do relevo.

As características dimensionais determinadas, como área, perímetro, maior comprimento, maior largura e comprimento total da rede, adotando a metodologia proposta por HORTON (1945) e STRALHER (1957), são definidas a seguir:

3.3.1 As características dimensionais

Área (A): É toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal. É o elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos, expressa em quilômetros quadrados (km^2) (HORTON, 1945);

Perímetro (P): Constitui o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas, expresso em quilômetros (km) (SMITH, 1950);

Maior comprimento (C*):* Representa a linha reta que une a foz até o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, seguindo a direção aproximada do vale principal, expresso em quilômetros (km) (SCHUM, 1956);

Maior Largura (L): Maior dimensão linear que a bacia apresenta num eixo transversal ao vale por ela formado, expresso em quilômetros (km) (STRAHLER, 1958);

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

As características da rede de drenagem foram reunidas em dois grupos, de acordo com sua natureza: Composição da rede de drenagem e do padrão de drenagem, segundo FRANÇA (1968), definidas da seguinte maneira:

3.3.2 Características da composição da rede de drenagem:

Ordem de ramificação ou magnitude (w): Os canais de drenagem serão classificados de acordo com o sistema de HORTON (1945), modificado por STRAHLER (1957). A ordem de ramificação dos segmentos dos rios será designada pela letra w (w_1, w_2);

Número de segmentos de rios (N): Serão considerados o número de segmentos dos rios em cada ordem e o total da bacia, sendo identificados por Nw (Nw_1, Nw_2) e Nt, respectivamente, de acordo com HORTON (1945), STRAHLER (1957) e FRANÇA (1968);

Comprimento total de segmentos de rios (Ctw): Representa o comprimento total dos segmentos dos rios em cada ordem, sendo identificados por Ctw (Ctw_1, Ctw_2) FRANÇA (1968);

Comprimento médio de rios (Cm): É a relação entre o comprimento total de segmentos dos rios e o número de segmentos dos rios determinado para cada ordem, identificados por Cmw (Cmw_1, Cmw_2): Cm = Ct/Nt, FRANÇA (1968);

Razão de ramificação ou bifurcação (Rb*):* É a relação entre o número de rios de uma ordem e da ordem imediatamente superior, definida por HORTON (1945) e aplicada por STRAHLER (1957) para calcular o número de segmentos de rios entre duas ordens consecutivas: $Rb = Nw_1/Nw_{2;}$

Razão de comprimentos totais (Rlw): É a relação entre a soma dos comprimentos de segmentos de rios de uma ordem dada e da ordem imediatamente superior (STRAHLER, 1957): $Rlw = Ctw_1/Ctw_{2;}$

Razão de comprimento médio (Rlm): É a relação entre o comprimento médio de segmentos de rios de uma ordem dada e da imediatamente inferior, de acordo com HORTON (1945): $Rlm = Cmw_2/Cmw_1$ e,

Relação entre comprimento médio e razão de ramificação (Rlb): É a relação entre a razão de comprimento médio (Rlm) e a razão de ramificação (Rb), de acordo com STRAHLER (1958):Rlb = Rlm/Rb.

3.3.3 Características do padrão de drenagem

Os índices do padrão de drenagem expressam a textura topográfica da bacia; Estes são definidos a seguir:

Densidade de drenagem (Dd): Obtida pela relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A), expressa em quilômetro/quilômetro quadrado (km/km^2): Dd = Cr/A, (HORTON, 1945);

Freqüência de rios (F): Obtida pela relação entre o número de segmentos de rios e a área da bacia, expressa pelo número de segmentos de rios/quilômetro quadrado (N/km^2): F = Nt/A, (HORTON, 1945);

Razão de textura (T): Obtida pela relação entre o número de segmentos de rios e o perímetro da bacia, expressa pelo número de segmentos de rios/quilômetro (N/km): T= Nt/P (FRANÇA, 1968 e SMITH, 1950);

Extensão de percurso superficial (Eps*):* Obtida em função da densidade de drenagem, expressa em quilômetro (km): Eps= 1/(2Dd), (HORTON, 1945);

Coeficiente de manutenção (Cm): Obtido em função da densidade de drenagem, proporcionando uma estimativa da área mínima que é exigida para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver. Expresso em metro quadrado (m^2): **Cm = (1/Dd)x 1.000**, (SCHUMM, 1956);

3.3.4 Características do relevo

Para a determinação das características quantitativas do relevo foi utilizada como base cartográfica a Carta Planialtimétrica da bacia do rio Bobo:

Amplitude altimétrica (H): Altura representada pelo desnível entre o ponto mais baixo da microbacia (foz) e o ponto de maior altitude, expressa em metros (m); (STRAHLER, 1952);

Os dados altimétricos foram obtidos num único ponto, expressando a cota máxima em relação ao maior comprimento da bacia, obtendo-se desta maneira, a amplitude altimétrica relativa de cada microbacia hidrográfica analisada.

Razão de relevo (Rr): É a relação entre amplitude altimétrica e o maior comprimento, expressa em metro/metro (m/m): Rr = H/C, (SCHUMM, 1956);

Razão de relevo relativa (Rrl): É a relação entre amplitude altimétrica e perímetro da bacia, expressa em metro/metro (m/m): Rrl = H/P, (STRAHLER, 1958);

Declividade média da encosta (DME): Determinada através do índice de rugosidade, segundo preceitos de STRAHLER (1958). Inicialmente são obtidos os valores das tangentes utilizando-se o índice de rugosidade (tg θ = 2HD). Em seguida, estes valores serão transformados, para declividade média da encosta, em porcentagem (%).

Para avaliação dos resultados obtidos, foram considerados diversos aspectos relacionados com a variação das características morfométricas das microbacias no contexto de cada condição estudada, sendo empregados para testar contrastes entre os dados ligados à variância conforme BANZATTO & KRONKA (1995).

Mediante a adoção de métodos de análise multivariada, CURI (1983), procurou-se identificar a formação de agrupamentos de microbacias por meio da utilização de coeficiente de semelhança, a distância euclidiana média, conforme permite o método de agrupamentos.

Neste método de análise, a partir de um conjunto maior de unidades definidas através de uma série de características (as microbacias hidrográficas), procurou-se identificar uma possível formação de agrupamentos ou subconjuntos que reúnam unidades semelhantes, mas não obrigatoriamente homogêneas.

4. RESULTADOS

4.1 IDENTIFICAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM

A carta planialtimétrica com a delimitação rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Bobo foi decalcada, incluindo-se os cursos de água permanentes e temporários. Após a identificação dos canais de drenagem, o divisor topográfico foi delimitado em função das curvas de nível, estruturando topologicamente as microbacias de contribuição para cada segmento da rede hidrográfica (Figura 2).

Os canais de 1ª ordem não apresentam ramificações (sem tributários), entendendo-se desde a nascente até a confluência com um canal de 2ª ordem de magnitude. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordem. Os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores. Os canais de quinta ordem surgem da confluência de dois canais de quarta ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores. Os canais de sexta ordem surgem da confluência de dois canais de quinta ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores.

Figura 2. Rede de drenagem e microbacias de 2.ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.

A bacia hidrográfica do Rio Bobo apresenta uma extensão superficial de 224,97 km^2 e um perímetro de 71,31 km, sendo considerada de 6.ª ordem de magnitude, sendo formada por 176 canais de 2.ª ordem de magnitude; 34 canais de 3.ª ordem de magnitude; 9 canais de 4.ª ordem de magnitude e 3 canais de 5.ª ordem de magnitude.

4.2 Caracterização Morfométrica

As áreas das microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude variavam de 0,88 km^2 a 3,66 km^2. Estas microbacias indicam que as maiores microbacias localizam-se nos solos FE e LV e, nos solos FEQVc, TAD, DC apresentam-se as menores. Estas localizações, de acordo com o tipo de solo, indicam, de modo geral, que o escoamento superficial das águas ocorre em redes menores nos solos FEQVc, TAD e DC.

A rede de drenagem apresenta extensão de 0,43 km a 8,95 km, mostrando a alta variabilidade deste parâmetro, concordando com os valores da área, perímetro e maior comprimento.

As características da composição e do padrão de drenagem refletem o processo morfogenético do terreno na escultura da paisagem (Tabelas 4 e 5).

Tabela 3. Valores médios das características dimensionais das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.

		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
A	(km²)	0,64	3,66	0,08	0,62	97,22
P	(km)	3,73	65,40	1,12	4,94	132,24
C	(km)	1,39	11,13	0,36	0,99	71,10
L	(km)	0,67	2,70	0,21	0,37	55,43
Cr	(km)	1,87	8,95	0,43	1,36	72,56

Tabela 4. Valores das características da composição da rede de drenagem das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.

		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
Nt		3,77	11,00	3,00	1,32	34,99
Ctw1	(m)	1220,89	4912,50	250,00	828,51	67,86
Ctw2	(m)	641,89	4150,00	10,00	570,03	88,81
Cmw1	(Ctw1/Nw1)	438,47	1162,50	65,00	209,69	47,82
Cmw2	(Ctw2/Nw2)	641,89	4150,00	10,00	570,03	88,81
Rb	(Nw1/Nw2)	2,77	10,00	2,00	1,32	47,61
Rlw	(Ctw1/Ctw2)	3,34	52,50	0,22	4,79	143,54
Rlm	(Cmw2/Cmw1)	1,74	18,44	0,04	2,17	124,61
Rlb	(Rlm/Rb)	0,61	4,61	0,02	0,56	92,14

As microbacias apresentam (tabela 4), em média, um número total de rios de 3,77 rios, com comprimento médio de rios de 1.ª ordem de magnitude de 1220,89m e de 2ª ordem de magnitude de 641,89m.

Os valores apresentam uma freqüência, ou quantidade de cursos de água, maior nas partes mais elevadas da bacia.

As razões entre os valores apresentam números médios mais próximos dos valores mínimos, indicando que o comprimento da rede de drenagem é pequeno, o que caracteriza a formação de microbacias de 2.ª ordem de magnitude pequenas, principalmente à montante da bacia do Rio Bobo.

O padrão de drenagem, de acordo com CHRITOFOLETTI (1974), refere-se ao arranjamento espacial dos cursos fluviais que podem ser influenciados em sua atividade

morfogenética pela natureza e disposição de camadas rochosas, resistência litológica variável, diferenças de declividade e evolução geomorfológica da região, podendo estar englobadas na caracterização de determinado padrão.

A bacia hidrográfica do Rio Bobo apresenta um padrão de drenagem dendrítico, assemelha-se à configuração de uma árvore, onde os ramos formados pelas correntes tributárias distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno; Refletindo, em parte, a geologia da região, sendo que, em geral, este padrão é observado na presença de rochas com resistência forte uniforme.

Os valores das características do padrão de drenagem são apresentados na Tabela 5. A densidade de drenagem repercute no comportamento hidrológico e litológico de cada microbacia e no conjunto delas. Em locais onde a infiltração é mais dificultada, há maior escoamento superficial, sendo maior a esculturação da paisagem, tendo como conseqüência uma densidade de drenagem mais alta. À medida que diminui o valor da densidade de drenagem, diminui os componentes fluviais das bacias hidrográficas, observado nas microbacias a jusante da bacia do Rio Bobo.

Tabela 5. Valores das características do padrão de drenagem das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.

		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
Dd	(km/km²)	3,64	10,05	0,96	1,31	36,08
F	(Nt/km^2)	10,12	38,79	1,04	7,00	69,12
T	(Nt/km)	1,25	3,04	0,08	0,48	38,20
Eps	(km.)	0,16	0,52	0,05	0,07	44,34
Cm	(m^2)	316,47	1041,13	99,49	140,34	44,34

A bacia do Rio Bobo apresenta uma densidade de drenagem média de 3,64 km/km². Correlacionando os dados da Figura 2 e Tabela 5, pode-se constatar que o valor médio reflete a alta densidade de drenagem observada na área, principalmente em regiões à montante. Os valores se apresentaram de 10,05 a 0,96 km/km², máximo e mínimo, respectivamente.

Os valores das características do padrão de drenagem refletem a litologia da área com conformação bastante forte e dissecada. Segundo os trabalhos de VILLELA & MATTOS (1975), este valor pode estar entre 0,5 km/km² para bacias com menor intensidade de drenagem e acima de 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas. CARDOSO et al. (2006) determinaram que o rio Dobossan, RJ, com uma densidade de drenagem de 2,35 km/km², indica uma capacidade de drenagem média. Portanto, a bacia hidrográfica do Rio Bobo apresenta alta capacidade de drenagem. O índice da densidade de drenagem encontrada na bacia da Mammoth Cave em Kentucky EUA foi de 0,24 km/km² e 1,13 km/km², o que mostra que aquela bacia apresenta baixa capacidade de drenagem (GLENNON & GROVES, 2002). A bacia hidrográfica de Rio do Peixe, SC, obteve valores de densidade de drenagem para bacias de áreas equivalentes a 801,07km^2, 2016,64 km^2, 3721,09 km^2, 5238,39 km^2 foi

de 0,28, 0,32, 0,36, 0,37 km/km^2, respectivamente. De acordo com o autor, essas bacias são enquadras como baixamente drenadas (LINDNER et al. 2007).

Para todas as bacias estudadas (Anhumas Atibaia Capivari, Capivari –Mirim, Jaguari Quilombo) por CICARINI et al. (2007), a densidade de drenagem apresentou-se baixa, com valores variando de 1,6 a 1,5 km/km^2.

Segundo CARDOSO et al. (2006), a densidade de drenagem é formada pelo rio principal e seus tributários, indicando a menor ou maior velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Assim, pode-se inferir que este índice indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Bobo, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Esses valores podem auxiliar substancialmente no planejamento do manejo da bacia hidrográfica.

A densidade de drenagem também exerce um papel importante para a elucidação da dinâmica da bacia hidrográfica. Uma vez que seu estudo permite evidenciar a atuação de certos controles como clima, vegetação, litologia e outros fatores que caracterizam a área drenada. Além disso, a densidade de drenagem também reflete o comportamento do escoamento e permite, até mesmo, avaliar os níveis de equilíbrio ambiental de uma paisagem, (MISSURA, 2005).

Os valores das características do relevo são os que mais refletem o modelado da paisagem na bacia hidrográfica, apresentando um coeficiente de variabilidade menor (Tabela 6).

Os altos valores de amplitude altimétrica, como os observados na Tabela 6, refletem à formação de canais com alta escavação, explicando os valores mais altos de Dd encontrados.

Tabela 6. Valores das características do relevo das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, Estado de Nariño, Colômbia.

		Média	Máximo	Mínimo	DP	CV (%)
H	(m)	225,38	625,00	9,40	109,57	48,62
Rr	(m/m)	0,40	1,32	0,01	0,24	60,46
Rrl	(m/m)	0,07	0,21	0,00	0,04	51,63
HD		0,77	1,88	0,03	0,36	46,72
2*HD		1,54	3,76	0,06	0,72	46,72
DME	(%)	153,92	375,68	5,64	71,91	46,72
Dmbac	(%)	69,26	169,06	2,54	32,36	46,72
Maior Alt	(m)	3330,11	3900,00	3000,00	181,84	5,46
Menor Alt	(m)	3104,73	3480,00	2815,62	137,16	4,42

A declividade influencia na relação entre precipitação e deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz a possibilidade de infiltração da água no solo.

De acordo com CARDOSO et al. (2006), a bacia do Rio Debossan, RJ, apresenta uma declividade de 47,6 % correspondente a um relevo forte ondulado, indicando assim que a bacia do Rio Bobo, com uma declividade média da encosta de 153,92 %, é considerada como relevo escarpado. De acordo com a classificação da declividade segundo EMBRAPA (1999), as declividades maiores apresentam-se acima de 75%, consideradas como relevo fortemente montanhoso.

LINDNER et al. (2007) mostram que a relação entre o relevo da bacia (Rr de 3 a 6,5%) e a declividade do rio apresenta predominância de áreas onduladas. Os autores classificam a área em cinco faixas de declividade, com um enfoque ambiental. Faixas de 30 a 100% são passíveis de utilização, porém, não de parcelamento e as declividades superiores a 100% ou 45º são áreas de preservação permanente.

A cobertura vegetal exerce função hidrológica de interceptação e redistribuição da água da chuva, permitindo a infiltração da água no solo com menor intensidade, desta forma, evita o processo de erosão acelerada do solo. A remoção da vegetação leva a processos erosivos fortes, gerando degradação do ambiente e podendo se propagar para áreas adjacentes (CARDOSO et al. 2006).

Portanto, a declividade e a cobertura vegetal tornam-se fatores importantes na tomada de decisão de um manejo adequado da bacia hidrográfica, visto que, influenciam na precipitação efetiva, escoamento superficial e fluxo de água no solo, dentre outros.

As características do relevo indicam a proporção na qual a erosão se desencadeia naturalmente, visto que descrevem os processos relacionados com o desenvolvimento da topografia e da conformação das bacias hidrográficas. Este processo é governado pela força de transporte que tem a água de escoamento superficial, quando o este excede o limite de infiltração. Iniciam-se, assim, os processos de transporte, deposição e sedimentação das partículas do solo. Desta maneira, num terreno naturalmente exposto, este processo ocorre de maneira intensa, degradando mais a paisagem.

Ao analisar os valores médios das características do relevo (Tabela 6), os valores de declividade altos indicam as condições favoráveis à formação de canais. Conseqüentemente, houve maior velocidade de escoamento nas bacias à montante, as quais apresentaram valores superiores. Nestes locais, a conservação da vegetação ciliar deve assumir maior relevância para a preservação e manutenção da qualidade do recurso hídrico, bem como para minimizar o processo de erosão do solo.

A declividade, entre outros fatores, é relevante no planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação, quanto para garantir a eficiência das intervenções antrópicas. O índice de rugosidade (HD) entre as bacias variou consideravelmente, resultado das diferenças na amplitude altimétrica (CHRISTOFOLETTI & MACHADO, 1977).

Ressalta-se que o uso e ocupação do solo, como a agricultura intensiva, principalmente no sistema produtivo da batata, pode intensificar as alterações na paisagem geomorfológica, devido à utilização dos recursos hídricos, sugerindo que, na região, a contaminação de água poderá se tornar crítica no futuro.

Os valores do coeficiente de manutenção (Cm) que representam a área mínima para o desenvolvimento de um canal de drenagem e os valores da extensão de percurso superficial (Eps) não mostraram acentuada diferença entre as bacias; Nas quais os valores médios da extensão do percurso superficial (Eps) e do coeficiente de manutenção (Cm), ao contrário das demais características, diminuem à medida que o relevo torna-se mais movimentado, o mesmo verificado em PISSARRA (2002), o que contribui para o aumento do escavamento vertical dos vales, criando, conseqüentemente, superfícies mais inclinadas

De acordo com CARDOSO et al. (2006), em altitudes elevadas, a temperatura é baixa, tendendo a receber maior quantidade de precipitação. Além da perda de água ser menor nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, o que ocasiona um suprimento de água que mantém o abastecimento regular dos aqüíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos de água.

A variabilidade das características apresenta-se média, tendo em vista as condições de forte conformação do modelado na formação da paisagem.

As análises estatísticas foram utilizadas para comparação das microbacias. A análise multivariada de agrupamento foi aplicada para observação da conformação geomorfológica das microbacias de segunda ordem de magnitude, no intuito de determinar o grau de similaridade entre estas, relativo às características dimensionais e do relevo.

Esta análise pode ser muito útil para assegurar as características em relação à formação da rede de drenagem e conformação da área ao redor, bem como informar a inter-relação entre essas características.

O fenograma apresentado na Figura 3 refere-se à análise do efeito das características dimensionais sobre a formação dos agrupamentos das microbacias de 2ª ordem, nas unidades de solos (FEQCv, TAD, DE, FE, LV).

Neste fenograma, pela distância euclidiana apresentada na escala de 0 a 140, observa-se a definição de dois grupos distintos de microbacias hidrográficas, Grupo 1 e Grupo 2. O grupo 1 é caracterizado, principalmente, pelas bacias nos solos FEQVC, TAD, DE. Este agrupamento é mais definido que o Grupo 2, pois expressa bem a similaridade das microbacias quanto às características dimensionais nesta unidade.

O grupo 2 é caracterizado, principalmente, pelas microbacias localizadas no sudoeste da bacia hidrográfica, nos solos FE (Solos dos Frentes Estruturais) e LV (Solos de Lavas Vulcânicas cobertos com Cinzas Vulcânicas), caracterizando-se por serem solos de montanha e clima extremamente frio e úmido, compreendendo superfícies de relevo muito variáveis, fortemente escarpado a moderadamente escarpado, e ondulado, suavizados por depósitos espessos e delgados de cinzas vulcânicas, além de serem solos profundos, de textura franca arenosa e arenosa, bem drenada e de baixa retenção de umidade. São solos moderadamente ácidos, com alto conteúdo de carvão orgânico, baixo conteúdo de Ca, Mg, Na, K e P, e altos níveis de alumínio intertrocável (andizoles).

Verifica-se, assim, o poder discriminatório das características avaliadas. Essas microbacias (Grupo 2) apresentam maior área, perímetro e comprimento de rede de drenagem.

As microbacias do grupo 1 (esquerda no fenograma), localizadas ao sul da bacia hidrográfica do Rio Bobo, tendem a sofrer processo erosivo mais intenso, pois se encontram nas partes altas da bacia, em áreas de declive acentuado.

A quantificação morfométrica, verificada na análise de fatores, estabelece que as características dimensionais diferem entre as unidades de solo (FE, LV e FEQVc, TAD, DC) no âmbito das bacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, agrupando-as de

acordo com a similaridade de suas características, razão por que define melhor a relação solo-superfície.

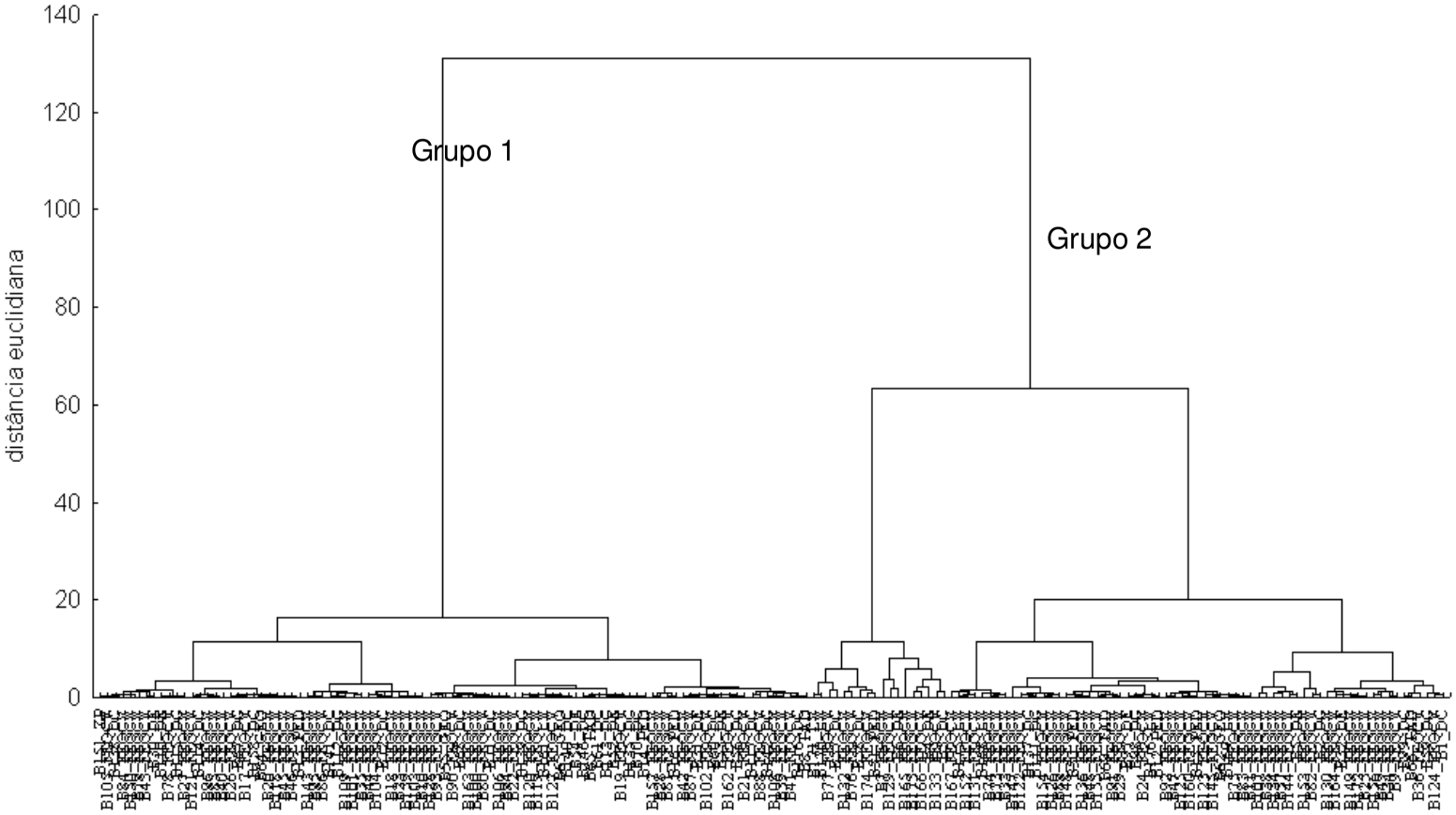


Figura 3.Fenograma das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo

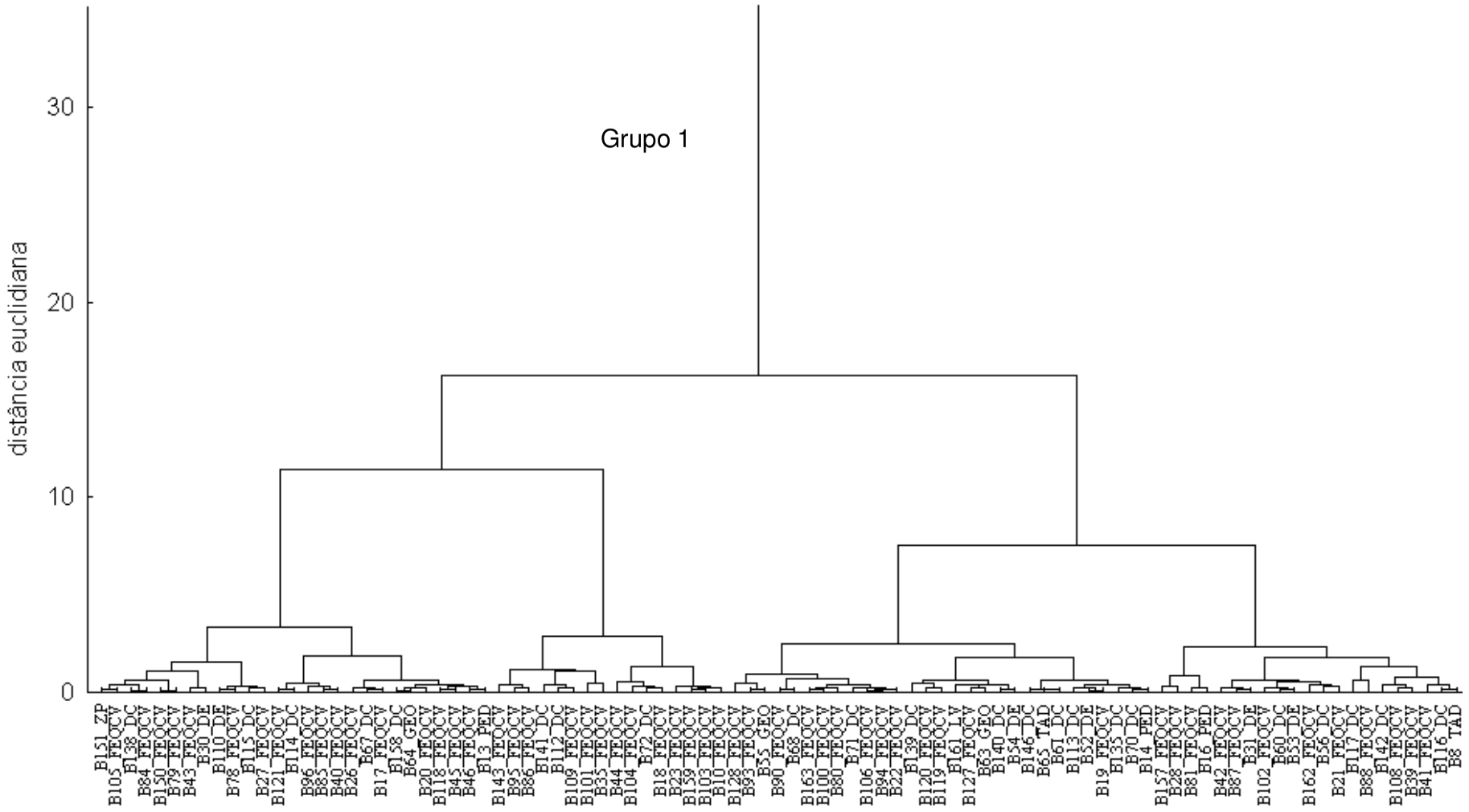


Figura 3. Fenograma das microbacias de segunda ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo.

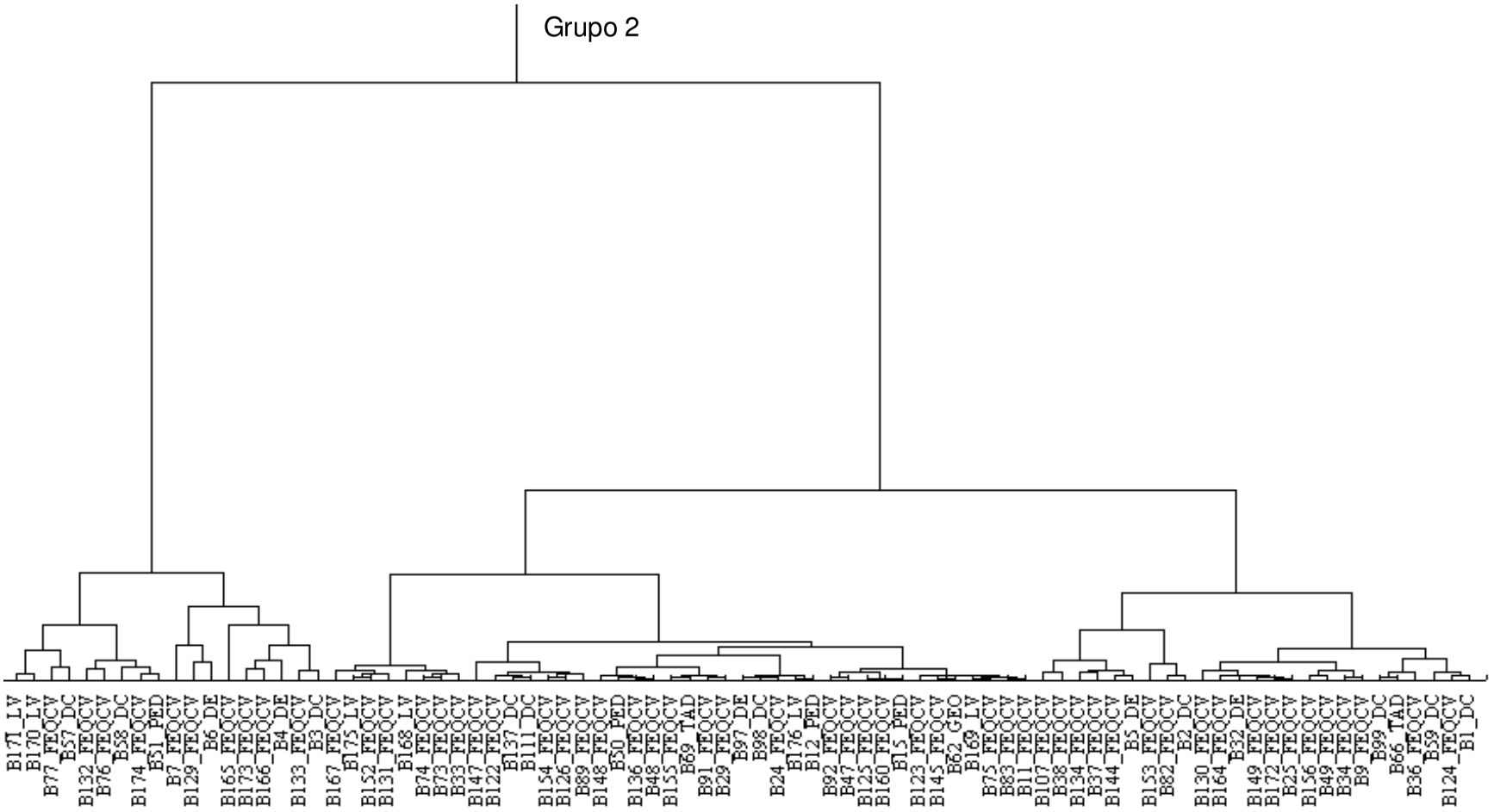


Figura 3.Fenograma das microbacias de 2ª ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo

Os resultados indicam que as microbacias hidrográficas nas unidades FEQVc, TAD, DC da bacia hidrográfica do Rio Bobo, estão sujeitas a um processo erosivo mais intenso. Recomenda-se, portanto, um planejamento conservacionista ligado ao desenvolvimento agropecuário e à adoção de tecnologias e práticas agrícolas. O estabelecimento de áreas de preservação permanente ao longo da rede de drenagem da bacia hidrográfica é também necessário.

O algoritmo *K-means* foi utilizado na classificação das variáveis em diferentes grupos baseado no atributo de K partições, num conjunto de 7 grupos (Anexo 1). Os grupos formados assumem um atributo mais forte com objetivo de minimizar a variância (Figura 4).

O grupo um (1) apresenta as microbacias mais longas, ou seja, com maior comprimento e menor largura. O grupo dois (2) apresenta as maiores microbacias, em conjunto com o grupo seis (6), no qual verificam-se as maiores, porém com menores comprimentos.

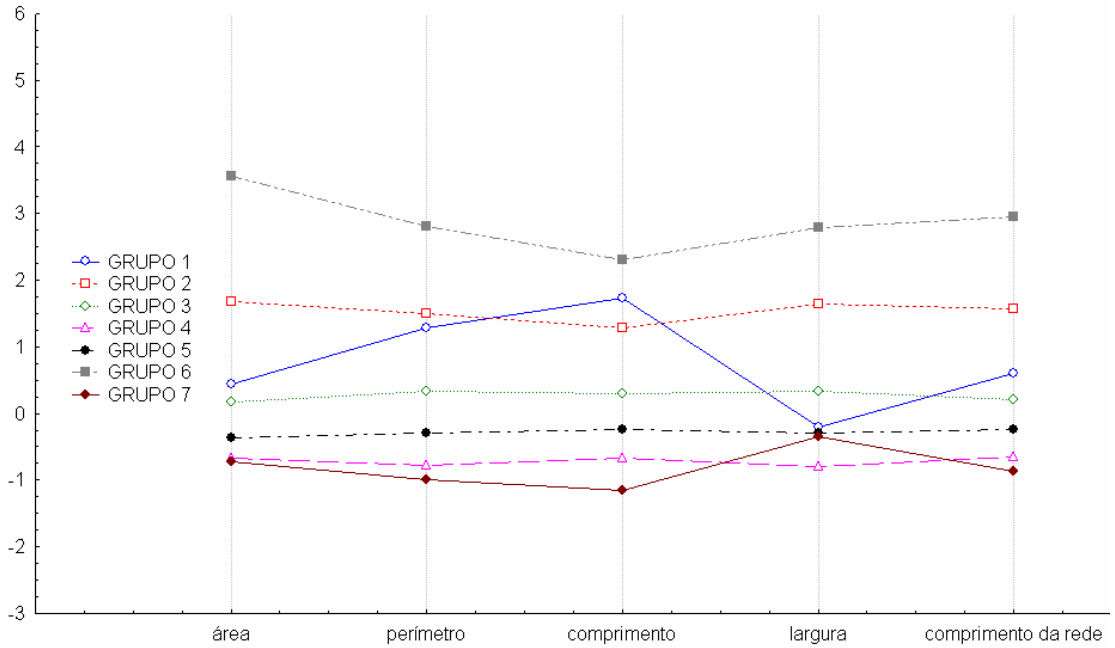


Figura 4. Agrupamento das microbacias em função das características dimensionais.

Os grupos 3 e 5 formam as microbacias que apresentaram valores médios, sendo os grupos que contém a maioria das microbacias. O que esclarece a homogeneidade das microbacias de segunda ordem de magnitude da bacia hidrográfica do Rio Bobo, apresentando 81,25% de microbacias que apresentam os menores valores dimensionais.

O estudo do meio físico para observação da evolução das formas do relevo foi realizado sobre a superfície da bacia hidrográfica do Rio Bobo. O agrupamento ocorrido é resultante dos processos do passado na litologia existente, com origem interna, com vulcanismo da área e tectonismo, entre outros que esculpiram a forma do relevo. Ainda esta área sofre ação de agentes de origem externa, promovendo a modelagem das formas do relevo da bacia hidrográfica, como a temperatura**,** chuva, vento e seres vivos, incluindo a ação antrópica.

Ressalta-se a importância das características do relevo, as quais têm potencial de combinar com outros fatores, tais como solo, cobertura vegetal, intensidade de precipitação, rugosidade superficial etc. Todos estes fatores podem interferir na resposta hidrológica da microbacia.

4. 3 GESTÃO AMBIENTAL

A partir dos trabalhos realizados nas oficinas nas microbacias 2.51, 2.53, 2.54, 2.55, 2.60, 2.61, 2.62, 2.65, 2.66, 2.147, 2.148, 2.152, 2.157, 2.159, 2.160, 2.161, 2.162, 2.163, 2.164 e 2.167, foram diagnosticados os seguintes problemas:

4 Falta de educação da comunidade sobre as questões ambientais;

5 Falta de instalações de saneamento;

6 Tratamento da água incipiente;

7 Dificuldades para reflorestamento;

8 Poluição da água (excrementos, lixo etc.);

9 Falta de projeção das obras;

10 Grande procura de recursos;

11 Falta de manejo técnico nas culturas; e

12 Falta de cobertura dos serviços básicos.

Após esta etapa, foi necessário realizar um exercício de prospectiva, explicado a importância do desenvolvimento de uma futura imagem para contribuir na solução dos problemas, imaginando como a comunidade encontra suas próprias soluções.

Com intervenções livres, participantes definiram o futuro desejável, para concentrar as ações a realizar atos marcando uma reunião com os representantes das entidades ambientais do Município de San Juan de Pasto, onde se estabeleceram os seguintes objetivos e estratégias (Tabela 7).

Tabela 7. Metas e estratégias específicas da gestão ambiental

OBJETIVOS	**ESTRATÉGIAS**
1. Melhorar a cobertura vegetativa da parte superior da bacia do Rio Bobo.	1. Implementação de projetos de conservação, preservação e restauração, no canto superior da bacia do Rio Bobo.
2. Proporcionar alternativas econômicas para reduzir a pressão humana sobre os ecossistemas produtores de água.	2. Promover a participação da comunidade em projetos de investimento social.
3. Contribuir para implementação de soluções sanitárias para reduzir o risco de contaminação das águas superficiais.	3. Reforço do componente de saneamento básico para reduzir o risco de poluição da água.
4. Promover a cultura da utilização racional da água.	4. Promover a educação ambiental formal, informal e não-formal.
5. Melhorar a capacidade de interinstitucional trabalhando na implementação dos projetos ambientais para atingir níveis mais elevados de eficiência e eficácia na gestão ambiental.	5. Estabelecimento de acordos com entidades relacionadas com as ONG e as alianças estratégicas para o avanço dos projetos de plano de gestão ambiental.

As grandes linhas de ação para a realização da gestão sustentável na bacia do Rio Bobo são realizadas através dos seguintes programas:

- **Sustentabilidade da oferta do recurso hídrico**

Os projetos deste programa são basicamente relacionados com a restauração, conservação e proteção dos ecossistemas de produção de água na bacia.

A restauração da cobertura vegetal através do reflorestamento de áreas intervindas pela exploração de carvão vegetal, com espécies nativas para recuperar as condições hidrológicas de retenção, infiltração, armazenamento e controle de enxurradas, nas fontes abastecedoras da água com participação ativa da comunidade.

- Desenvolvendo atividades de sensibilização em torno da preservação, manejo e uso racional dos recursos naturais.
- Seleção de locais a reflorestar, tendo em conta critérios como zonas de importância na bacia, tanto para infiltração da água como atitude florestal e agro-florestal.
- Capacitação à comunidade com os aspectos técnicos para ter em conta no estabelecimento da floresta.
- Seleção do material vegetal para semear.
- Controle e seguimento de todas as afetividades.
- No ano 2007 foram reflorestados 76 hectares.

O estabelecimento das reservas naturais é a única forma em que as florestas remanescentes poderão ser respeitadas e preservadas para manter sua capacidade de conservação e gestão dos recursos hídricos:

- Realiza-se o levantamento topográfico de cada sitio e/ou reserva natural, identificando as áreas a conservar.
- Construção de pactos sócio-ambientais para que cada família conserve os pedacinhos de bosque natural que ainda tem.

- No ano 2007 se formam 8 reservas privadas da sociedade civil.
- Planifica-se o uso e ocupação do solo dos sítios onde ficam as reservas.
- De acordo a sua planificação, instala-se minhocários, compostagem e hortas familiares com produção orgânica.

Com o fim de criar alternativas produtivas que diminuam a extração de carvão vegetal das florestas nativas, fortalecem-se granjas frutícolas e pecuárias, envolvendo a população na recuperação e conservação do meio, mitigando seu impacto sobre a bacia.

Capacitação sobre o manejo da microbacia produtiva, relacionando a produção técnica de frutas e espécies menores.

- Elaboração de práticas agroecológicas: Adubos orgânicos, caldos microbiológicos, minhocultura e compostagem.
- Doação de espécies florestais e pecuárias.
- Plantação floresta.

- **Melhor água para Pasto**

Instalação de sistemas eficientes de saneamento básico e tratamento de águas residuais nas zonas rurais. Destina-se a promover acordos inter-institucionais, instalando sistemas eficientes de saneamento básico e tratamento ambiental, tais como latrinas e fossas sépticas, para reduzir a poluição causada por bactérias coliforme presentes nas fontes de água.

O reforço do conselho de administração de aquedutos nas seções administrativa e operacional, abordaram negócio, que é o de fortalecer a capacidade técnica e de gestão das câmaras de assegurar níveis mais elevados de eficiência.

- **Cultura da água**

A cultura da água irá reforçar os laços do homem com a natureza, através da educação ambiental para que a comunidade se sensibilize no comportamento que deve assumir na conservação e utilização racional deste recurso.

Implementação da estratégia educativa. Clubes defensores da água nas escolas dos setores urbano e rural, a fim de que as crianças se familiarizem com o tema da água, conheçam o valor que tem este recurso para a qualidade de vida do ser humano.

- Visita às escolas da bacia do Rio Bobo, pra conversar com os diretores e professores sobre a realização de diferentes atividades.
- Realizam-se eventos lúdicos e culturais relacionados com o cuidado dos recursos naturais, em especial à água.
- Oficinas participativas com temas como o ciclo da água, o hoje, o amanhã e o ontem dos recursos naturais.

5. CONCLUSÕES

- A aplicação dos métodos e das técnicas permitiu a produção de dados que possibilitaram uma melhor compreensão da dinâmica da rede de drenagem na bacia do Rio Bobo.
- As altitudes variam de 2815,62m a 3480m, sendo as maiores altitudes encontradas no setor sudoeste.
- A bacia se caracteriza pela presença de interflúvios com forte declividade, variando de 2,54 % a 169,06%. As declividades menores ficam restritas a zonas de baixas vertentes e vales principais.
- A análise quantitativa das características morfométricas dimensionais possibilitou a diferenciação das áreas de solos FE, LV, FEQVc, TAD e DC.
- Esta pesquisa permitiu caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do Rio Bobo.
- As características do relevo foram as que melhor descreveram a ação do modelado nas microbacias hidrográficas avaliadas.
- As oficinas foram ferramentas para o início do manejo sustentável das microbacias.

6 REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA E.; AMORIM A. J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. **Caminhos Geogr.**, Uberlândia, v. 7, n. 14, p. 70-77, 2005. Disponível em: <www.ig.ufu.Br/caminhos_de_geografia.html>. Acesso em: 20 dez. 2007.

ALVES, J.; CASTRO, P. T. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Rev. Bras. Geocienc.**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.

BOWDEN, L. E; WALLIS, R. Effect of stream-ordering technique on Horton's laws of drainage composition. **Geol. Soc. Am. Bull.**, New York, v. 75, n. 8, p. 767-774, 1964

BUOL, S. et al. **Soil genesis and classification**. Ames: The lowa state Universty Press, 1973. p. 108-115.

CALDERINI L. M.; MACHADO P. A Estruturação das redes hidrográficas e o modelo Hortoniano: uma revisão. **Rev. Tellus**, Campo Grande, n.1, p. 1-14, 2000**.**

CARDOSO, C. A et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan Nova Friburgo, RJ. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Calda**. 1970. 10 f. Tese (Livre- Docência) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. A Análise de bacias hidrográficas. In: _____. **Geomorfologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. cap. 4, p.81-97.

CHRISTOFOLETTI, A.; MACHADO, L. M. C. P. A lei da constância na amplitude altimétrica aplicada em bacias hidrográficas brasileiras. **Not. Geomorf.,** Campinas, v. 17, n. 34, p. 33-46, 1977.

CICARINI M.; SANTOS, A.; ÁLVARES, C. Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3381-3388

COELHO NETTO, A. l. et al. Diagnóstico geo-biofísico da Bacia Hidrográfica de Sepetiba. In: SANTOS, U. dos (Org.). Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Rio de Janeiro. Parte: Baía de Sepetiba. Rio de Janeiro: CARTOGEO/NCE/UFRJ, 1996. v. 1, p. 30-52.

CONIF. Corporación Nacional de Investigación Y Fomento Forestal. **Actualización plan de ordenamiento cuenca hidrográfica del Río Bobo**. Bogotá, 2003.

CORPONARIÑO. Corporación Autônoma Regional para el Desarrollo de Nariño. **Plan de ordenamiento y manejo cuenca hidrografica rio Bobo.** Nariño, 1993.

CURI, P. R.Análise de agrupamento: métodos seqüenciais, aglomerativos e hierárquicos. **Ciênc. Cult**., São Paulo, v. 35, n. 10, p. 1416-29, 1983.

DERRUAU, M. **Geomorfologia.** 5. ed. Barcelona: Ariel, 1966. 435 p.

DURY, G. H. **Perspectives on geomorphic processes**. Washington: Association of American Geographers, 1969. p. 1-53. (Geography Resource Paper, 53).

DURY, G. H. General theory of meadering calleys and underfit streams. In: _____ (Ed.). **River and river terraces**. London: MacMillan, 1970. p. 264-275.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA. Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMPRESA AUTODESK. **AUTOCAD**: programa informatizado de desenho. Disponível em: <http://www.autodesk.pt/adsk/servlet/item?siteID=459664&id=9122960&linkID=450708>. Acesso em: 20 jan. 2008.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FREITAS, R. O. de. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Bol. Paul. Geogr.**, São Paulo, n.11, p.53-57, 1952.

GANDOLFI, N. Análise morfométrica de drenagem na bacia do Rio Moji-Guaçú. **Not. Geomorfol.**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 23-40, 1971.

GLENNON, A.; GROVES, C. An examination of perennial stream drainage patterns within the Mammoth Cave watershed, Kentucky. **J. Cave Karst Stud**., Washington, v. 64, n. 1, p. 82-91, 2002.

HARDY, F. **Suelos tropicales**: pedologia tropical con énfasis en America. México: Herrera Hermanos Sucesores, 1970. p. 41-60.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. Am. Bull.,** New York**,** v. 56, n. 3, p. 275-370,1945.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242 p.

LINDNER, E.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

MISSURA, R. **Análise morfoestratigráfica da bacia do Ribeirão dos Poncianos MG**. 2005 Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências ExataS, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

MORISAWA, M. E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the appalachian plateau. **Bull. Geol. Soc. Am.**, Washington, v. 73, n. 9, p. 1025-1046, 1962.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

OLIVEIRA, J. B. **Mapa de solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 112 p. (Boletim Científico, 45).

OLIVEIRA, M. A. T. de; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 9-23, 1994.

PALLA, V. L. **Estudo morfométrico por fotointerpretação sobre a similaridade das microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude da região de Jales - SP**. 1994. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

PENTEADO, M. M.; RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do Município de Jaboticabal. **Geographica**, Lisboa, n. 25, p. 41-61, 1971. Separata.

PERES FILHO, A. **Análise estrutural da Bacia de São José dos Dourados.** 1977. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 1977.

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

PISSARRA, T. C. T. **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat e fotografias aéreas verticais**. 2002. 132 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciênc**. **Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

POLITANO, W. et al. Estado da erosão acelerada do inicio da década de setenta nos municípios de Taiúva e Taiaçu, SP. **Científica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 129-144, 1992.

RAY, R. G.; FISCHER, W. A. A quantitative photographic analysis a geologic research tool. **Photogr. Eng.**, Washington, v. 26, n. 1, p. 143-150, 1963.

RUHE, R. V. **Geomorphology:** geometric processes and superficial geology. Boston: Hougton Mifflin, 1975. 246 p.

SANTOS, R. F. Integraçõa das informações. In:_____. **Planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap. 7, p. 127-150.

SCHUMM, S. A . Evolution of drainage basins and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geol. Soc. Am. Bull**., New York, n. 67, p. 597-646, 1956.

SMITH, K. G. Standars for grading texture of erosional topography. **Am. J. Sci**., New York, v. 248, p. 655-668, 1950.

SOARES, A. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na caraterização dos solos e da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Candiru-açu (PA)**. 2000. 139 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc. Am.,** Washington**,** v. 63, n. 10, p. 1117-1142. 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. Am**. **Geophys. Union**, Washington, v. 38, p. 913-920, 1957.

STRAHLER, A . N. Quantitative geomorphology. In: FAIRBRIDGCE, R. W. (Ed.). **Encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold Book, 1958. p. 898-912.

TOLENTINO, M. et al. Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do planalto de São Carlos. **Rev. Bras. Geogr**., Rio de Janeiro, v. 30, n. 4, p. 42-50, 1968.

TONELLO, K. C. **Analise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães**, 2005. 69 f Disertação. (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005

VAN ZUIDAM, R. **Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphological mapping**. The Hague: Smiths Publishers, 1986. 442 p.

VIEIRA, B. C. et al. Geomorfologia, cobertura e uso dos solos como fatores controladores da magnitude de deslizamentos em bacias de drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: L'Informazione Multimídia, 1997. 1 CD –ROM.

VIERS, G. **Elementos de geomorfología**. Barcelona: Oilos Taus, 1973. 287 p

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

.