

Marcelo Christovam Simões

**AUTOMAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO MANEJO DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DOS PARÂMETROS
MORFOMÉTRICOS**

VIÇOSA – MG
AGOSTO – 2013

Marcelo Christovam Simões

**AUTOMAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO MANEJO DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DOS PARÂMETROS
MORFOMÉTRICOS**

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências
do curso de Engenharia Florestal.

VIÇOSA – MG
AGOSTO – 2013

Marcelo Christovam Simões

**AUTOMAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO MANEJO DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DOS PARÂMETROS
MORFOMÉTRICOS**

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências
do curso de Engenharia Florestal.

APROVADA: 19 de Agosto de 2013

João Batista Lúcio Correa

Alexandre Simões Lorenzon

Orientador: Prof. Herly Carlos Teixeira Dias

VIÇOSA – MG
AGOSTO – 2013

AGRADECIMENTO

A Deus pela vida, sem ele tudo isso não seria possível.

Aos meus pais, Lilha e Ivan pelo amor incondicional, pelo custoso investimento, por acreditarem em meu sonho, por serem pacientes e compreensíveis e por serem exemplos de vida, meu sincero agradecimento.

Aos meus filhos Gabriel e Ana Luísa, pela amizade e aprendizado.

As minhas incríveis irmãs, Kívia e Larissa, pelo amor e carinho durante toda minha jornada.

A minha amiga e companheira Fernanda, pelo amor e carinho, pela compreensão e apoio durante todos os momentos dessa longa trajetória, o meu muito obrigado.

Ao Tio Alvinho, Tio Daniel, Tia Elimar e Tia Hélvia, pelos investimentos e apoio incondicional, e por serem um porto seguro em um lugar muito especial, Rio Novo.

Ao Pablo e Antônio (DAP Florestal), pela oportunidade de desenvolvimento profissional no momento em que todas as luzes pareciam ter se apagado.

Ao Dr. Física, pelas conversas, pela confiança, pela atenção nos momentos de apuros, pelos goles e caronas, e, sobretudo pela grande amizade.

Ao Renan, pela atenção e empenho tornando possível a conclusão deste trabalho.

Aos amigos e colegas da Cientec, pelo aprendizado, pela convivência agradável e divertida, fazendo com que os dias difíceis não fossem tão longos.

Ao Prof. Herly, pela proposta deste trabalho, pela orientação e, sobretudo pela amizade, meu sincero agradecimento.

Ao Nandão, Rodz, Mococa, Moreno, Leo, Rafa, Tucano, Mudo, Gui, Alisson, pela força e incentivo, e a todos que de alguma forma fizeram parte dessa árdua e longa caminhada.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Filho de Lila Maria Christovam Simões e Ivan Luiz Araújo Simões, natural de Belo Horizonte e residente em Ipatinga - MG ingressou na Universidade Federal de Viçosa em 2000 para cursar Ciências Econômicas. Passados dois anos e meio desistiu do curso para ingressar na Engenharia Florestal em 2003. Após abandono do curso e consequente desligamento no segundo semestre de 2006, retornou no segundo semestre de 2009 para concluir o curso de engenharia anteriormente iniciado.

EXTRATO

SIMÕES, Marcelo Christovam. Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2013. **Automação para classificação da intensidade do manejo de bacias hidrográficas a partir dos parâmetros morfométricos.** Orientador: Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias.

O presente documento teve por objetivo desenvolver um sistema automatizado, o MorfoMABH, para realizar a classificação da intensidade de manejo de uma determinada área de drenagem com base na análise dos parâmetros morfométricos da bacia. Como a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos executados em análises hidrológicas e ambientais, desenvolveu-se um aplicativo para classificar a intensidade de manejo com base na análise morfométrica dos seguintes parâmetros: fator de forma, índice de circularidade, razão de alongação, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, declividade média, razão de bifurcação e altitude média. Realizado os cálculos, os valores são classificados através de um sistema de pesos, onde cada parâmetro recebeu uma pontuação até quatro pontos, sendo que o somatório final indicará a intensidade de manejo a ser proposta. Para validação do sistema realizou-se a análise dos parâmetros morfométricos de três bacias hidrográficas. O aplicativo MorfoMABH mostrou-se eficiente, de fácil entendimento e aplicação. No entanto, percebe-se a necessidade de aperfeiçoamento do sistema.

CONTEÚDO

| | |
|------------------------------------------|-----|
| EXTRATO..... | III |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVO..... | 3 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS | 8 |
| 3.1.1. Ordem da bacia hidrográfica | 8 |
| 3.1.2. Fator de forma | 9 |
| 3.1.3. Índice de circularidade..... | 9 |
| 3.1.4. Razão de alongação..... | 10 |
| 3.1.5. Coeficiente de compacidade | 10 |
| 3.1.6. Densidade de drenagem..... | 10 |
| 3.1.7. Declividade média..... | 11 |
| 3.1.8. Razão de bifurcação..... | 11 |
| 3.1.9. Altitude média | 12 |
| 3.1.10. Orientação geográfica..... | 12 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 13 |
| 4.1. MORFOMETRIA | 13 |
| 4.2. COLETA DOS DADOS | 14 |
| 4.3. AUTOMAÇÃO DO SISTEMA | 16 |
| 4.4. PROGRAMAÇÃO | 22 |
| 4.5. VALIDAÇÃO DO SISTEMA | 22 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 25 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 31 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 32 |

1. INTRODUÇÃO

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO, 2007). Assim, para melhor entendimento sobre morfometria, alguns conceitos da hidrologia devem ser ressaltados.

Segundo Lima (2008) a hidrologia consiste no estudo da água em todas as suas formas, sobre e sob a superfície da terra, incluindo sua produção, distribuição, circulação, comportamento, propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio.

Já a hidrologia florestal trata das relações floresta-água, compreendendo o ramo da hidrologia que estuda os efeitos da floresta sobre o ciclo da água, incluindo os efeitos sobre a erosão e a qualidade da água nas bacias hidrográficas. O conjunto de conhecimentos da hidrologia florestal é muito útil para nortear as atividades florestais dentro de um programa de manejo integrado de bacias hidrográficas (LIMA, 2008).

Mencionada anteriormente, bacias hidrográficas, são áreas delimitadas por divisores topográficos que drena as águas por ravinas, canais e tributários para um curso de água principal com vazão efluente convergindo para uma única saída.

No contexto da hidrologia, o manejo de bacias hidrográficas compreende a administração dos recursos naturais de uma área de drenagem, primariamente voltado para a produção e proteção da água, incluindo práticas de conservação e uso adequado do solo (LIMA, 2008). Ou seja, o manejo compreende o conjunto de

técnicas integradas aplicadas na área da bacia hidrográfica que visa à regularização e proteção dos cursos d'água para produção econômica e proteção ambiental.

Assim, Hidrologia Florestal identifica a ciência, ou seja, o conjunto organizado de conhecimentos, enquanto que Manejo de Bacias Hidrográficas implica nas atividades operacionais, isto é, na aplicação prática dos conhecimentos da hidrologia florestal no manejo dos recursos naturais renováveis (LIMA, 2008).

Tendo em vista o manejo de bacias hidrográficas, a morfometria é a área da hidrologia que estuda a forma física da bacia através do polígono formado pelo seu divisor topográfico e de suas configurações planialtimétricas e consiste em um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, realizar prognósticos quanto a produção de água assim como a possibilidade de inundações e enchentes ao longo da bacia.

Assim, a análise morfométrica de bacias hidrográficas com objetivo de propor ações conservacionistas para uma determinada área de drenagem pode constituir-se em uma forma simples de classificação da intensidade de manejo, onde os parâmetros morfométricos são analisados de forma conjunta.

A intensidade de manejo de uma rede de drenagem pode ser entendida como o conjunto de técnicas a ser proposta para uma determinada área tomando-se como referência a intensidade de uso do solo, ou seja, de acordo com a intensidade de degradação a que uma bacia hidrográfica está exposta. Dessa forma, a classificação da intensidade de manejo será realizada através da análise conjunta dos parâmetros morfométricos aqui apresentados, visando propor técnicas corretivas e conservacionistas para uso sustentável dos recursos naturais.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Com base no exposto, o presente estudo teve por objetivo desenvolver um sistema automatizado para classificação da intensidade de manejo de bacias hidrográficas partindo-se da análise morfométrica da bacia.

2.2. Objetivos Específicos

Recomendar ações conservacionistas básicas para cada intensidade.

Realizar a validação do sistema através dos cálculos dos parâmetros morfométricos de três bacias hidrográficas para classificação da intensidade de manejo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Lima (2008), a hidrologia é uma ciência multidisciplinar pelo fato de que ela integra conceitos de várias outras ramificações do conhecimento humano: física, química, biologia, hidráulica, matemática, estatística, entre outras. Dependendo do ambiente de estudo da água e de sua circulação, a hidrologia pode ser diferenciada em hidrometeorologia (água na atmosfera), potamologia (água nos rios), limnologia (água nos lagos), criologia (geleiras), oceanologia (oceanos), pedohidrologia (água do solo), hidrogeologia (água subterrânea).

A Hidrologia Florestal pode ser entendida como a área do conhecimento humano que se preocupa com o manejo ambiental da microbacia hidrográfica. Neste sentido, tendo a água como enfoque central, esta definição implica numa visão integrada ou ecossistêmica de manejo dos recursos naturais, a qual transcende aos interesses fragmentados de diferentes disciplinas e setores (LIMA, 2008).

De acordo com Lima (2008) a bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. A bacia hidrográfica como sistema aberto pode ser descrita em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e desta forma, uma bacia mesmo quando não perturbada por ações antrópicas, encontra-se em equilíbrio dinâmico.

Carvalho (2007) apresenta a seguinte definição:

“Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é formada pelo conjunto de canais fluviais, delimitados por terrenos adjacentes mais elevados, os quais formam uma rede de drenagem constituída por diversos tributários e um rio principal, estes canais drenam terras desde suas

nascentes, terrenos mais elevados, carreando sedimentos em suspensão, de fundo e substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas para o canal principal. Os processos erosivos tendem a ser mais intensos na região da alta bacia hidrográfica, a qual é formada basicamente pelos rios de primeira ordem, pequenos tributários, porém, possuem ação erosiva devido à alta energia por desenvolverem-se em terrenos com os maiores declives da bacia hidrográfica. Conforme a densidade de drenagem aumenta a vazão também aumenta, cujos valores mais elevados situam-se na foz do curso principal.”

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água pluvial que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominada de exutório. É composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem, formada por cursos de água que escoam até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001 apud CARDOSO et al., 2006).

Conforme Lima (2008), o conceito de microbacia é um tanto vago; primeiro, porque não há um limite de tamanho para a sua caracterização, e em segundo lugar, porque há de se fazer distinção entre dois critérios de acordo com:

“a) Do ponto de vista hidrológico as bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. Define-se "microbacia" como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem.

b) Do ponto de vista de programas e políticas de uso do solo de recente estabelecimento no país - os programas de manejo de microbacias: o critério de caracterização da microbacia, neste caso, é eminentemente político e administrativo.”

Os estudos voltados ao balanço hídrico demonstram como funciona o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo esta natural ou modificada, apresentando os dados de entrada e saída da bacia, considerando a teoria da conservação de massa, muito estudada pela mecânica dos fluidos. Segundo Hirikoshi & Fisch (2007), devido à grande demanda atual por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água dentro da bacia hidrográfica, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração.

Desse modo, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando entre outros: a infiltração, a vazão de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os

escoamentos superficial e sub-superficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO et. al., 2006).

É essencial ver a água na natureza como um todo, ou seja, todo o ciclo hidrológico, tomando os mares como os receptores da água proveniente das geleiras e rios dos continentes, verifica-se que os mesmos cedem, através da evaporação, a água que irá dar origem a nuvens. O volume cedido pela evaporação, aproximadamente igual ao volume recebido dos rios e geleiras, explica o nível praticamente constante dos oceanos. As nuvens formadas, sujeitas à ação dos ventos, são levadas ao interior dos continentes e vão dar origem a chuvas que irrigam o solo, provendo a umidade necessária ao desenvolvimento dos vegetais (LIMA, 2008).

Na Figura 1 encontra-se o esquema ilustrativo do ciclo hidrológico em todas as suas fases.

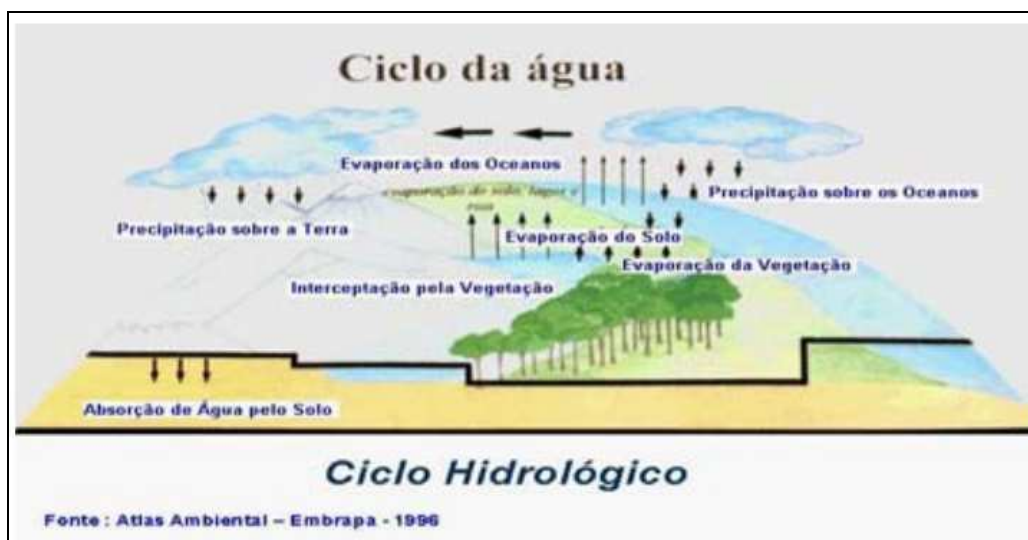


Figura 1 – Ilustração do ciclo da água na superfície terrestre (Adaptado de Atlas Ambiental – Embrapa, 1996).

Na Figura 2 pode-se visualizar um esquema ilustrativo de uma bacia hidrográfica destacando-se os divisores topográficos, canais, ravinas e tributários, bem como a vazão efluente convergindo para uma única saída.



Figura 2 – Ilustração de uma bacia hidrográfica com destaque para os divisores topográficos. (Adaptado de Pacto das Águas – São Paulo. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser entendida em Geomorfologia como processos sistemáticos e racionais, cuja preocupação é a de "medir as formas do relevo", ou seja, a geometria das bacias de drenagem (HORTON, 1945).

Horton (1945) foi o primeiro a fazer estudos quantitativos de bacias de drenagem e a analisar as relações entre as propriedades morfométricas de uma bacia e suas características hidrológicas, incluindo descargas em situações de cheias de várias frequências e magnitudes. Seguiram-se muitos outros autores, sistematizando parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas da Europa e Estados Unidos, e relacionando alguns deles ao comportamento do escoamento superficial, a descarga fluvial e ao desenvolvimento de inundações e enchentes.

Entre as décadas de 1930 e 1980, parâmetros morfométricos como área e forma da bacia, hipsometria da bacia e comprimento e declividade do canal principal foram associados por diversos autores como fatores importantes no controle de parâmetros da unidade hidrográfica e, portanto no comportamento das hidrógrafas (tempos de duração dos picos de cheias) de enchentes/inundações (PATTON, 1988).

Horton (1945) sugeriu que a área, a declividade dos canais e a densidade de drenagem são altamente correlacionadas com a descarga máxima de uma inundação. Para Hack (1957 *apud* Morisawa, 1962), os fatores geomórficos como comprimento dos canais, forma e declividade da bacia, bem como as características geológicas tais como tipo de rocha e estrutura, são os que mais influenciam na intensidade do escoamento e na descarga.

Boulton (1965 *apud* Acreman & Sinclair, 1986) elegeu treze índices morfométricos que influenciam as propriedades hidrológicas. Acreman & Sinclair (1986) afirmaram que os tipos e as taxas de processos hidrológicos que ocorrem no interior de uma bacia de drenagem podem ser determinados pelas propriedades morfométricas dessa bacia. Segundo eles a área, o comprimento do canal de ordem "n", a declividade do canal de ordem "n" e a densidade de drenagem são os fatores mais determinantes de processos hidrológicos.

Segundo Antonelli e Thomaz (2007), a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

A partir de uma revisão bibliográfica sobre o tema, observa-se que dentre os inúmeros parâmetros morfométricos descritos na literatura, os que apresentam maior importância são: ordem hierárquica da bacia; número de canais totais; área da bacia, comprimento do canal principal; fator de forma e índice de circularidade; declividade do canal principal e declividade da bacia; densidade hidrográfica e densidade de drenagem; razão de bifurcação; coeficiente de compacidade, dentre outros menos estudados.

3.1. Parâmetros morfométricos

3.1.1. Ordem da bacia hidrográfica

A ordem da bacia, de acordo com ordenamento proposto por Strahler (1957), os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; 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 primeira ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordem inferiores e assim sucessivamente.

3.1.2. Fator de forma

O fator de forma (Kf) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a área e o comprimento do eixo da bacia (TONELLO et al., 2003; TEODORO et al., 2007). Abaixo a equação:

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

Onde: Kf = fator de forma; A = área da bacia (Km²); L = comprimento do eixo da bacia (Km).

O escoamento direto de uma dada chuva em uma bacia mais retangular não se concentra tão rapidamente como em uma de formato quadrangular, além do fato de que bacias longas e estreitas são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB et alii, 1966 *apud* LIMA, 2008). Comparativamente, bacias com fator de forma maior têm maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor.

3.1.3. Índice de circularidade

O índice de circularidade (Ic) representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia, que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial (TONELLO, 2005). Abaixo se encontra a equação:

$$Ic = 12,57 * \frac{A}{P^2}$$

Onde: Ic = índice de circularidade; A = área da bacia (Km²); P = perímetro da bacia (Km).

3.1.4. Razão de alongação

Cardoso (2006) define razão de alongação (RE) como a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia hidrográfica. Esse índice mostra a susceptibilidade da bacia à enchentes tomando por base sua forma, assim, quanto maior o valor da razão, maior será a probabilidade de ocorrência de cheias enquanto valores menores, apontam para uma bacia mais alongada o com menor risco de cheias. Segue abaixo a equação:

$$RE = 1,128 * \frac{A^{0,5}}{L}$$

Onde: RE = razão de alongação; A = área da bacia (Km²); L = comprimento do eixo da bacia (Km).

3.1.5. Coeficiente de compacidade

De acordo com Cardoso (2006), o coeficiente de compacidade (Kc) é determinado por meio da razão entre o perímetro da bacia e o de um círculo de área igual ao da bacia, dado pela equação abaixo:

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde: Kc = coeficiente de compacidade; A = área da bacia (Km²); P = perímetro da bacia (Km).

3.1.6. Densidade de drenagem

Segundo Horton (1945), a densidade de drenagem relaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica e é dada pela seguinte equação:

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

Onde: Dd = densidade de drenagem; C = somatório do comprimento de todos os canais (Km); A = a área da bacia (Km²).

De acordo com Lima (2008), valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

3.1.7. Declividade média

De acordo com Bethlanhmy (1973) citado por Lima (2008), a declividade média da bacia é calculada com a seguinte equação:

$$S(\%) = 77 * \frac{L}{P}$$

Onde: S(%) = declividade média; L = comprimento do canal principal (Km); P = perímetro da bacia (Km).

Apesar de a declividade influenciar na relação entre a precipitação e o deflúvio, principalmente devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz, em consequência, a possibilidade de infiltração da água no solo, não se deve desprezar a influência secundária da direção geral da declividade, ou seja, da orientação da bacia (LIMA, 2008).

3.1.8. Razão de bifurcação

A razão de bifurcação de uma determinada ordem (Rbo), de acordo com Strahler (1957) é dada através da razão entre o número de canais de uma ordem (n_o) e o número de canais da ordem anterior ($n_{(o-1)}$). Já a razão de bifurcação da bacia (Rb_{BH}) é dada pela razão entre o somatório da razão de bifurcação de cada ordem e a ordem da bacia (NRbo). Abaixo as equações:

$$Rbo = \frac{n_{(o-1)}}{(n_o)}$$

Onde: Rbo = razão de bifurcação da ordem "o"; $n_{(o-1)}$ = número de canais de ordem anterior a ordem "o"; n_o = número de canais da ordem "o".

$$Rb_{BH} = \frac{\sum Rbo}{(NRbo)}$$

Onde: Rb_{BH} = razão de bifurcação da bacia hidrográfica; $\sum Rbo$ = somatório da razão de bifurcação de todas as ordens; NRbo = ordem da bacia hidrográfica

3.1.9. Altitude média

A altitude média é calculada através do método da área do polígono formado pelos pares de curva de nível delimitados pelo divisor topográfico, realizando a média ponderada por área. Assim, com auxílio do planímetro são medidas as áreas dos polígonos que posteriormente serão ponderados por área. Abaixo segue a equação.

$$H = \frac{\sum axh}{A}$$

Onde: H = altitude média; a = área do polígono formado por um par de curvas de nível e o divisor topográfico; h = média aritmética do par de cotas; A = área total da bacia hidrográfica.

3.1.10. Orientação geográfica

Segundo Lima (2008), a orientação define a direção geral para a qual a declividade está exposta. Assim, bacia de orientação norte drena para o norte. O fator orientação afeta as perdas por evapotranspiração, devido a sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida pela bacia. Esta pode, sem dúvida, afetar as relações entre a precipitação e o deflúvio.

A orientação geográfica é obtida através da direção do eixo principal da bacia em relação aos pontos cardeais podendo apresentar orientação Norte-Sul, Leste-Oeste, Sudoeste-Nordeste, Sudeste-Noroeste.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Morfometria

Por meio de mapas fornecidos pelo IBGE, de escala conhecida, diferentes características físicas da bacia hidrográfica foram obtidas de forma direta, através de aparelhos específicos para realizar a medição, e de forma indireta, através de cálculos utilizando fórmulas já difundidas na literatura.

De forma direta, utilizando-se o planímetro, modelo PLACOM KP90N, foi obtida a área da bacia, e com o curvímetro, modelo Oregon Scientific modelo MR 380, o perímetro da bacia, comprimento do canal principal, comprimento do eixo e somatório do comprimento de todos os canais. Através de informações contidas na carta serão obtidos, a cota máxima e mínima da bacia, amplitude altimétrica, orientação geográfica e amplitude das cotas altimétrica.

De forma indireta, foram obtidos os seguintes parâmetros morfométricos: fator de forma, índice de circularidade, razão de alongação, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, declividade média, razão de bifurcação, altitude média. Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros que foram calculados e suas respectivas fórmulas.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos obtidos de forma indireta e as respectivas equações utilizadas para o cálculo.

| PARÂMETRO | EQUAÇÕES |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Fator de forma | $Kf = \frac{A}{L^2}$ |
| Índice de circularidade | $Ic = 12,57 * \frac{A}{P^2}$ |
| Razão de alongação | $RE = 1,128 * \frac{A^{0,5}}{L}$ |
| Coefficiente de compacidade | $Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$ |
| Densidade de drenagem | $Dd = \frac{C}{A}$ |
| Declividade média | $S(\%) = 77 * \frac{L}{P}$ |
| Razão de bifurcação da ordem "o" | $Rb_o = \frac{n(o-1)}{n_o}$ |
| Razão de bifurcação da bacia | $Rb_{BH} = \frac{\sum Rb_o}{NRb_o}$ |
| Altitude média | $H = \frac{\sum axh}{A}$ |

4.2. Coleta dos dados

A coleta dos dados foi realizada através de mapas do IBGE com escala 1:50.000 utilizando-se papel vegetal sobreposto ao mapa para traçar os divisores topográficos, canal principal e seus afluentes. Também foram definidas as áreas dos polígonos formados pelos pares de curvas de nível e os divisores topográficos para o cálculo da altitude média da bacia hidrográfica. Os canais foram ordenados definindo a ordem da bacia. E de acordo com mapa foi definido a orientação da bacia em relação ao norte geográfico.

Na Figura 3 pode-se visualizar o traçado em papel vegetal do divisor topográfico e dos canais para posterior medição com auxílio do planímetro e do curvímetro.



Figura 3 – Traçado do divisor topográfico e dos canais em papel vegetal sobreposto ao mapa.

Na Figura 4 encontra-se a imagem do traçado dos polígonos formados pelos pares de curva de nível e o divisor topográfico.

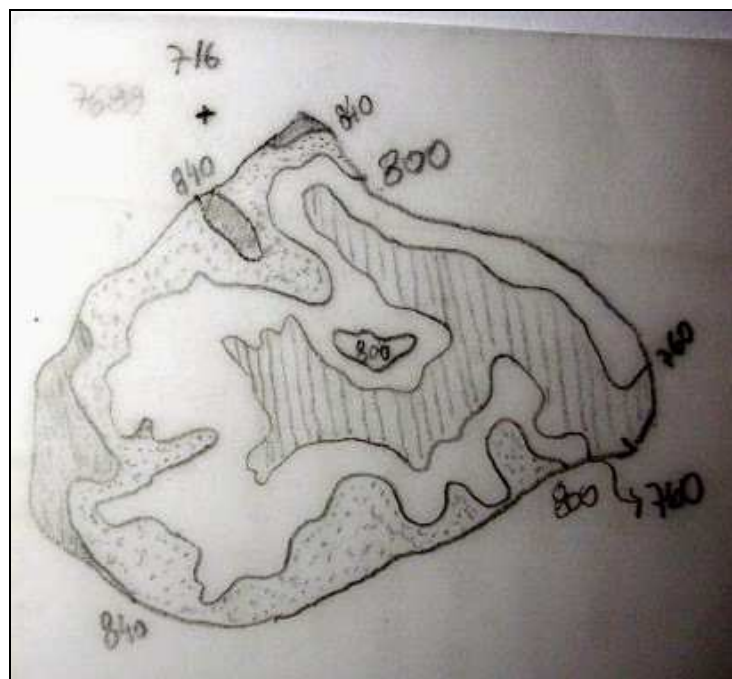
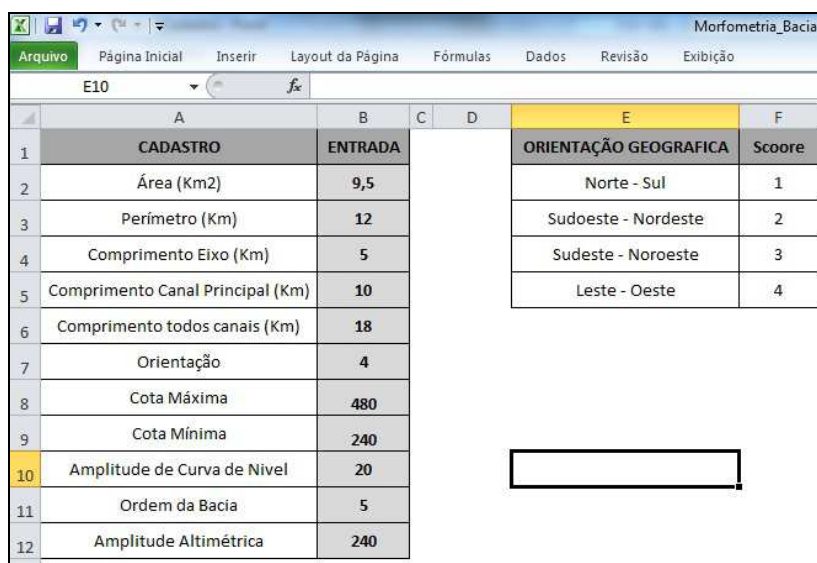


Figura 4 – Traçado do divisor topográfico e dos pares de curva de nível em papel vegetal sobreposto ao mapa.

4.3. Automação do sistema

A automação do sistema foi realizada com auxílio do software Microsoft Excel para efetuar os cálculos. As formulas apresentadas no presente documento foram inseridas na planilha de forma a retornar os valores dos parâmetros que posteriormente foram classificados com uma pontuação de 1 (um) a 4 (quatro) para os diferentes intervalos definidos com base em estudos morfométricos já realizados.

Primeiramente foi definida uma planilha como “CADASTRO” onde foram inseridos os dados de entrada, área da bacia (Km²) medida com o planímetro, e com o curvímetro, o perímetro (Km), o comprimento do eixo da bacia (Km), o comprimento do canal principal (Km), a soma do comprimento de todos afluentes (Km). Foi definida a orientação geográfica da bacia de forma numérica para manter o cadastro apenas com números. Posteriormente foram definidas, as cotas máxima e mínima (m), a amplitude de curva de nível, a ordem da bacia, o número de canais totais e a amplitude altimétrica. Na Figura 5 encontra-se a planilha de cadastro com os dados de entrada coletados a partir de um mapa do IBGE com escala 1:50.000.



| CADASTRO | | ENTRADA | ORIENTAÇÃO GEOGRAFICA | | Score |
|----------|----------------------------------|---------|-----------------------|--|-------|
| 1 | Área (Km2) | 9,5 | Norte - Sul | | 1 |
| 2 | Perímetro (Km) | 12 | Sudoeste - Nordeste | | 2 |
| 3 | Comprimento Eixo (Km) | 5 | Sudeste - Noroeste | | 3 |
| 4 | Comprimento Canal Principal (Km) | 10 | Leste - Oeste | | 4 |
| 5 | Comprimento todos canais (Km) | 18 | | | |
| 6 | Orientação | 4 | | | |
| 7 | Cota Máxima | 480 | | | |
| 8 | Cota Mínima | 240 | | | |
| 9 | Amplitude de Curva de Nível | 20 | | | |
| 10 | Ordem da Bacia | 5 | | | |
| 11 | Amplitude Altimétrica | 240 | | | |

Figura 5 – Planilha “Cadastro” para entrada dos dados coletados a partir do mapa do IBGE.

Em seguida foi definida uma planilha como “ALTITUDE MÉDIA” onde é realizado o cadastro das áreas formadas pelos pares de curva de nível e o divisor topográfico, medidas com o planímetro, para cálculo da altitude média. Na Figura 6 encontra-se a planilha com os pares de cota e as áreas dos polígonos cadastradas.

| | A | B | C | D | E |
|----|--------|--------|--------------|----------------------|-------|
| 1 | Cota 1 | Cota 2 | Area Km2 (a) | Altitude Media m (h) | a x h |
| 2 | 240 | 260 | 1,2 | 250 | 300 |
| 3 | 260 | 280 | 0,8 | 270 | 216 |
| 4 | 280 | 300 | 0,9 | 290 | 261 |
| 5 | 300 | 320 | 1,2 | 310 | 372 |
| 6 | 320 | 340 | 1,5 | 330 | 495 |
| 7 | 340 | 360 | 0,6 | 350 | 210 |
| 8 | 360 | 380 | 0,8 | 370 | 296 |
| 9 | 380 | 400 | 0,9 | 390 | 351 |
| 10 | 400 | 420 | 1,1 | 410 | 451 |
| 11 | 420 | 440 | 1,1 | 430 | 473 |
| 12 | 440 | 460 | 0,5 | 450 | 225 |

Figura 6 – Planilha “ALTITUDE MEDIA” com os pares de cotas, área do polígono, altitude média entre as cotas e o produto entre área e altitude média.

A terceira planilha foi definida como “RAZÃO DE BIFURCAÇÃO” e automatizada para realizar o cálculo da razão de bifurcação inserido o número de canais pertencentes a cada ordem. Na Figura 7 encontra-se a planilha para o cálculo da razão de bifurcação.

| | A | B | C | D |
|---|----------------------------|-----------------|------------|---|
| 1 | Razão de Bifurcação | | | |
| 2 | Ordem | N canais | Rbo | |
| 3 | 1 | 6 | 0 | |
| 4 | 2 | 4 | 1,50 | |
| 5 | 3 | 3 | 1,33 | |
| 6 | 4 | 1 | 3,00 | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |

Figura 7 – Planilha “RAZÃO DE BIFURCAÇÃO” para entrada do número de canais de cada ordem.

A quarta planilha foi definida como “PARÂMETROS” sendo a planilha onde se encontram os resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos, a pontuação que poderá receber de acordo com o valor assumido e o somatório da pontuação de cada parâmetro que foi definido como “intensidade de manejo da bacia hidrográfica”.

Dessa forma, a bacia de ordem menor ou igual 3 assumiu 4 pontos, as compreendidas entre ordem 3 e 6, assumiu 3 pontos, as ordem no intervalo de 6 a 9 assumiu 2 pontos e as bacias de ordem superior a 9, assumiu 1 ponto.

O fator de forma com valores inferiores 0,25, assumiu 1 ponto, valores compreendidos entre 0,25 e 0,5, assumiu 2 pontos, valores entre 0,5 e 0,9 assumiu 3 pontos e valores superiores a 0,9 assumiu 4 pontos. Dessa forma, valores mais próximos de zero tendem a uma forma mais retangular enquanto valores mais próximos de 1 tendem a uma forma que mais se aproxima de um quadrado.

Para o índice de circularidade, valores menores que 0,25 assumiu 1 ponto, valores compreendidos entre 0,25 e 0,5, assumiu 2 pontos, valores entre 0,5 e 0,9 assumiu 3 pontos e valores superiores a 0,9 assumiu 4 pontos. Assim, valores mais próximos de zero tendem a uma forma mais alongada enquanto valores mais próximos de 1 a uma forma mais circular.

A razão de alongação com valores menor que 0,25 assumiu 1 ponto, valores compreendidos entre 0,25 e 0,5, assumiu 2 pontos, valores entre 0,5 e 0,9 assumiu 3 pontos e valores superiores a 0,9 assumiu 4 pontos. Assim, valores mais próximos de zero tendem a uma forma mais alongada enquanto valores mais próximos de 1 a uma forma mais circular.

Para o coeficiente de compacidade, valores menor que 1,2 assumiu 4 pontos, os compreendidos entre 1,2 e 1,6, assumiu 3 pontos, os compreendidos entre 1,6 e 1,8 assumiu 2 pontos e os valores superiores a 1,8 assumiu 1 ponto. O coeficiente de compacidade assumi valores superiores a 1 sendo que mais próximos de 1 indicam para uma bacia mais circular enquanto valores mais distantes de 1, uma forma da bacia tende a se alongar.

A densidade de drenagem, valores menor que 0,5 assumiu 4 pontos, os compreendidos entre 0,5 e 2,0, assumiu 3 pontos, os compreendidos entre 2,0 e 3,5 assumiu 2 pontos e os valores superiores a 3,5 assumiu 1 ponto.

Para a declividade média, valores menor que 0,15 (15%) assumiu 1 ponto, os compreendidos entre 0,15 e 0,35 (35%), assumiu 3 pontos, os compreendidos entre 0,35 e 0,45 (45%) assumiu 2 pontos e os valores superiores a 0,45 assumiu 1 ponto.

A razão de bifurcação, valores menor que 0,5 assumiu 4 pontos, os compreendidos entre 0,5 e 1,25, assumiu 3 pontos, os compreendidos entre 1,25 e 2,0 assumiu 2 pontos e os valores superiores a 2,0 assumiu 1 ponto.

Para a altitude média, valores menor que 400 m assumiu 1 ponto, valores compreendidos entre 400 e 800 m, assumiu 2 pontos, valores entre 800 e 1200 m assumiu 3 pontos e valores superiores a 1200 m assumiu 4 pontos.

Assim, definiu-se como intensidade de manejo da bacia hidrográfica o somatório da pontuação assumida por cada parâmetro. Na Figura 8 encontra-se a planilha para classificação dos parâmetros.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|----------------------------------------------------|---------|--------|---|---|---|-----------|
| 1 | PARÂMETRO | Valores | SCOORE | | | | Somatório |
| 2 | Ordem da Bacia | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 3 | Fator de Forma (F) | 0,53 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | Índice de Circularidade (IC) | 0,98 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 5 | Razão de Elongação (RE) | 0,82 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 6 | Índice de Compacidade (CC) | 1,01 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 7 | Desividade de Drenagem (DD) | 1,52 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| 8 | Declividade Média (S%) | 0,30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 9 | Razão de Bifurcação (RbBH) | 1,56 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 10 | Altitude Média | 786 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| 11 | Orientação Geográfica | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 12 | Intensidade de Manejo da Bacia Hidrográfica (IMBH) | | | | | | 32 |
| 13 | | | | | | | |

Figura 8 – Planilha “PARÂMETROS” com os valores assumidos por cada parâmetro, a pontuação recebida e o somatório das pontuações definindo a intensidade do manejo.

Na Tabela 2 encontram-se as funções utilizadas para definir a pontuação que cada parâmetro recebeu. Para classificação da intensidade de manejo da bacia hidrográfica adotou-se três intervalos a partir do somatório total que perfaz 40 pontos, onde, somatório inferior a 20 pontos corresponde a uma baixa intensidade de manejo, somatório compreendido entre 21 e 30 pontos corresponde a uma média intensidade de manejo e somatório superior a 30 pontos, alta intensidade de manejo. Na Tabela 3 encontram-se as ações básicas propostas para cada intensidade de manejo

Tabela 2 – Funções elaboradas para classificação dos parâmetros morfométricos a partir dos valores assumidos

| PARÂMETRO | FUNÇÃO CLASSIFICAÇÃO |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Ordem da Bacia | SE (B2<=3;F2;SE(B2>=9;C2;SE(6<B2<9;D2;SE(3<B2<6;E2;E2)))) |
| Fator de Forma | SE (B3<=0,25;C3;SE(B3>=0,9;F3;SE(0,25<B3<0,5;D3;SE(0,5<B3<0,9;E3;E3)))) |
| Índice de Circularidade | SE (B4<=0,25;C4;SE(B4>=0,9;F4;SE(0,25<B4<0,5;D4;SE(0,5<B4<0,9;E4;E4)))) |
| Razão de Elongação | SE (B5<=0,25;C5;SE(B5>=0,9;F5;SE(0,25<B5<0,5;D5;SE(0,5<B5<0,9;E5;E5)))) |
| Coeficiente de Compacidade | SE (B6<=1,2;F6;SE(B6>=1,8;C6;SE(1,2<=B6<1,5;D6;SE(1,5<B6<1,8;E6;E6)))) |
| Densidades de Drenagem | SE (B7<=0,5;F7;SE(B7>=3,50;C7;SE(0,5<B7<=2,00;D7;SE(2,01<B7<3,5;E7;E7)))) |
| Declividade Média | SE (B8<=0,15;C8;SE(B8>=0,45;F8;SE(0,15<B8<0,35;D8;SE(0,35<B8<0,45;E8;E8)))) |
| Razão de Bifurcação | SE (B9<=0,5;F9;SE(B9>=2;C9;SE(0,5<B9<1,25;D9;SE(1,25<B9<2;E9;E9)))) |
| Altitude Média | SE(B10<=400;C10;SE(B10>=1200;F10;SE(800<=B10<1200;E10;SE(400<B10<800;D10;D10)))) |

Tabela 3 – Classificação da intensidade de manejo da bacia hidrográfica (IMBH) e as recomendações básicas a serem adotadas.

| IMBH ≤ 20 | 20 < IMBH < 30 | IMBH ≥ 30 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixa intensidade de manejo | Média intensidade de manejo | Alta intensidade de manejo |
| Ações coletivas participativas | Ações coletivas participativas | Ações coletivas participativas |
| Cercamento de nascentes | Cercamento de nascentes | Cercamento de nascentes |
| Manutenção da cobertura vegetal | Recomposição da vegetação | Reflorestamento com espécies locais, espécies pioneiras, secundárias e clímax |
| Educação ambiental | Educação ambiental | Educação ambiental |
| | Adequação à capacidade de uso do solo | Adequação à capacidade de uso do solo |
| | Cordão de vegetação permanente | Cordão de vegetação permanente |
| | Cultivo em curva nível | Cultivo em curva nível |
| | Cultivos em faixas intercaladas | Cultivos em faixas intercaladas |
| | Implantação de cordões em contorno e barraginhas | Implantação de cordões em contorno e barraginhas |
| | Implantação de caixas de captação | Implantação de caixas de captação |
| | Manejo adequado de pastagens | Manejo adequado de pastagens |
| | | Recuperação de estradas, aceiros e carreadores |
| | | Recuperação de áreas degradadas |
| | | Plantio direto e Rotação de culturas |
| Outras atividades de acordo com diagnóstico socioeconômico e biológico (fauna e flora) | Outras atividades de acordo com diagnóstico socioeconômico e biológico (fauna e flora) | Outras atividades de acordo com diagnóstico socioeconômico e biológico (fauna e flora) |

4.4. Programação

Para o desenvolvimento do sistema MorfoMABH, as planilhas criadas no Excel foram trabalhadas no Microsoft .NET, comumente conhecido por .NET Framework, que visa uma plataforma única para desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações. Todo e qualquer código gerado para .NET pode ser executado em qualquer dispositivo que possua um framework de tal plataforma.

A plataforma .NET é executada sobre uma *Common Language Runtime* - CLR (Ambiente de Execução Independente de Linguagem) interagindo com um conjunto de bibliotecas unificadas (framework). Esta CLR é capaz de executar, atualmente, mais de 33 diferentes linguagens de programação, interagindo entre si como se fossem uma única linguagem, dentre elas Java, Delphi e Visual Basic.

O desenvolvimento do sistema na plataforma Microsoft .NET foi realizado por um programador, que utilizou as planilhas como base de cálculos tornando a automação do sistema possível.

4.5. Validação do sistema

Para validação do sistema foram analisados os dados de três bacias hidrográficas que integram a bacia do Rio Paraibuna no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Foram utilizados os dados da bacia hidrográfica do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung conforme Silva (2011).

Na Figura 9 encontra-se a distribuição espacial das bacias supracitadas, com os divisores topográficos traçados com linha verde, o canal principal traçado com linha azul escuro e os afluentes do curso d'água principal traçados com linha azul clara. Já o traçado azul escuro, com maior destaque, que une a foz das três bacias, corresponde ao Rio Paraibuna.

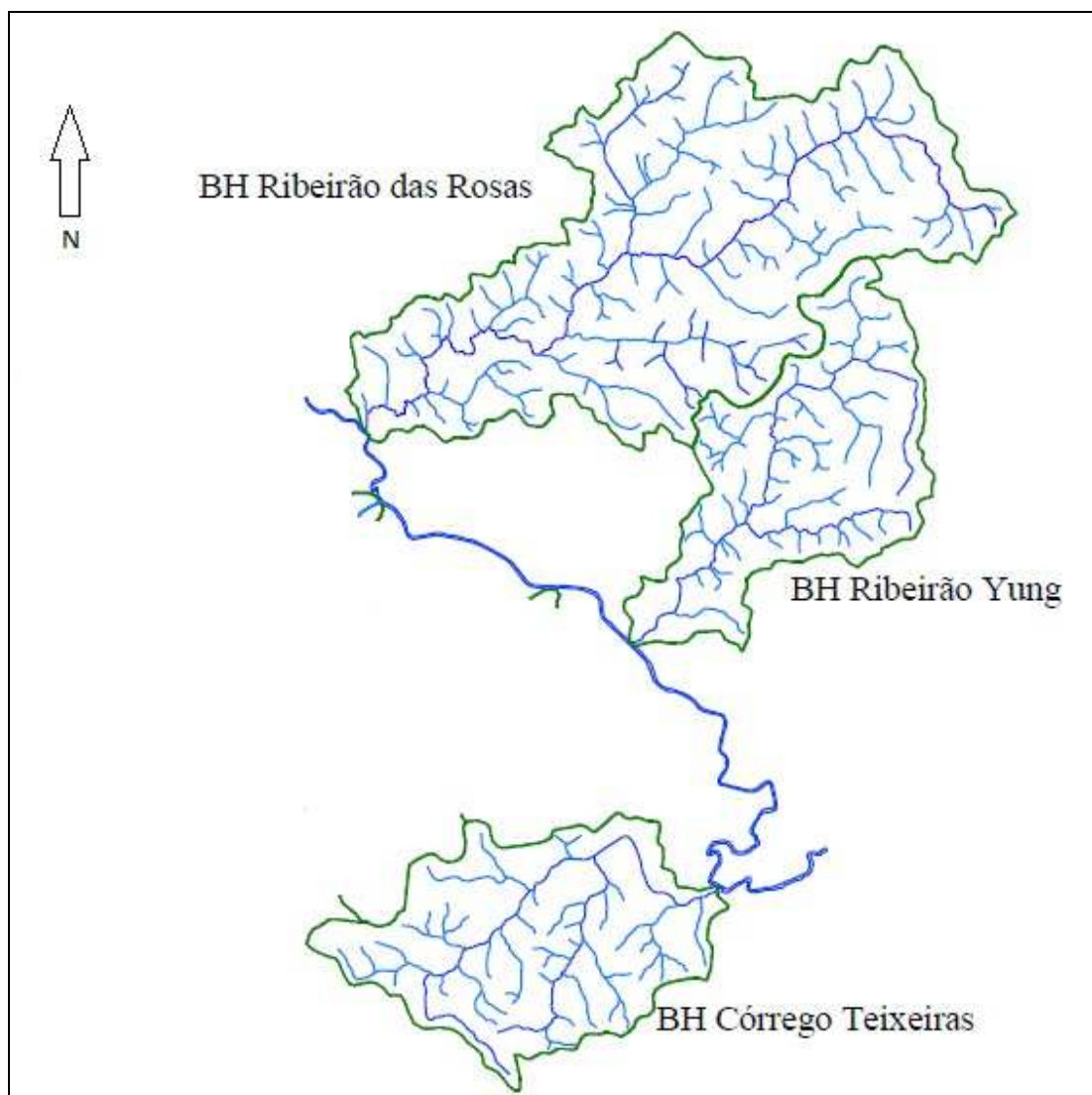


Figura 9 – Distribuição espacial das bacias hidrográficas que foram utilizadas para validação do sistema (Adaptado de Silva, R. C.. Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do Rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG. Trabalho de conclusão de pós-graduação. Faculdade de Engenharia, UFJF. 83p, 2011.).

Na Tabela 4 encontram-se os dados utilizados para entrada no sistema.

Tabela 4 – Dados obtidos das três bacias hidrográficas para validação do sistema.

| CADASTRO | Córrego Teixeiras | Ribeirão das Rosas | Ribeirão Yung |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Área (Km ²) | 21,31 | 47,65 | 19,79 |
| Perímetro (Km) | 23,46 | 42,5 | 25,5 |
| Comprimento Eixo (Km) | 9,8 | 16 | 11 |
| Comprimento Canal Principal (Km) | 10,41 | 18,63 | 11,75 |
| Comprimento de Todos os Canais (Km) | 48,05 | 105,67 | 47,65 |
| Orientação | Sudoeste | Sudoeste | Leste |
| Cota Máxima (m) | 855 | 895 | 875 |
| Cota Mínima (m) | 675 | 675 | 655 |
| Amplitude de Curva de Nível (m) | 20 | 20 | 20 |
| Ordem da Bacia | 4 | 5 | 4 |
| Amplitude Altimétrica (m) | 180 | 220 | 220 |

Fonte: Adaptado de Silva (2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado obtido com o presente estudo foi a criação do sistema MorfoMABH para realizar a classificação da intensidade de manejo na bacia hidrográfica com base nos parâmetros morfométricos e assim, propor ações básicas de manejo, de forma a promover a sustentabilidade dos recursos naturais.

Na Figura 10 encontra-se a tela inicial do sistema MorfoMABH. Clicando-se no ícone “Novo Projeto” o usuário é direcionado para a tela de cadastro dos dados.



Figura 10 – Tela inicial do sistema MorfoMABH para classificação da intensidade de manejo na bacia hidrográfica.

Na Figura 11 encontra-se a tela para cadastro dos dados coletados nos mapas, onde todos os campos deverão ser preenchidos para não haver mensagem de erro e

posteriormente clicando-se no ícone “Avançar”, o usuário será direcionado para a tela onde contém as abas altitude média, razão de bifurcação e os parâmetros calculados.

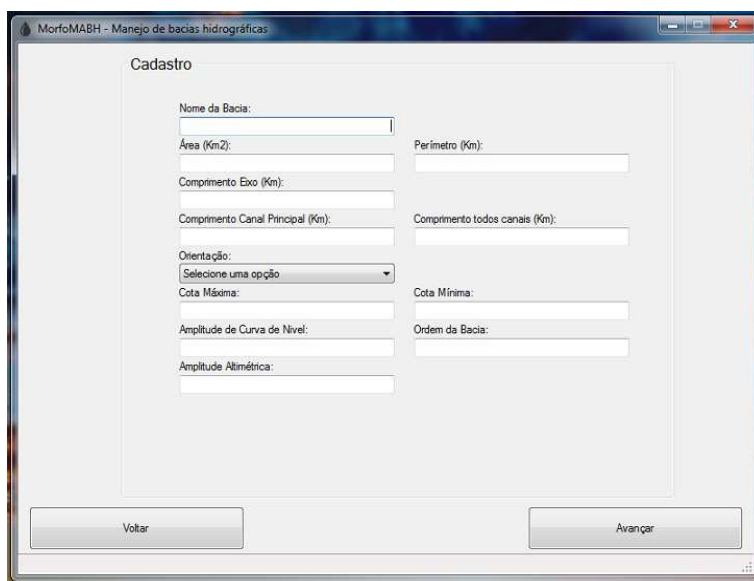


Figura 11 – Tela de cadastro dos dados no sistema MorfoMABH.

Na Figura 12 encontra-se a tela com a aba para cadastro da área dos polígonos formados entre os pares de cotas e o divisor topográfico da bacia hidrográfica.

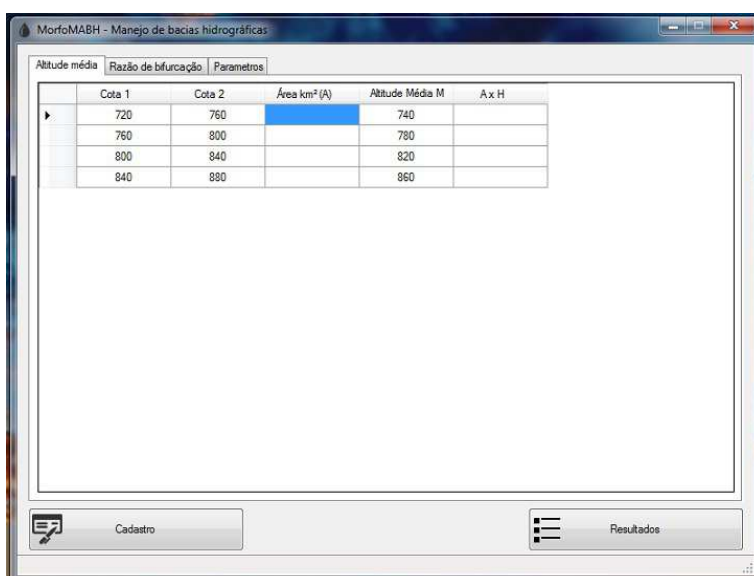


Figura 12 – Tela com a tabela para cadastro das áreas dos polígonos formado através dos pares de cotas.

Posteriormente o usuário deverá clicar na aba “Razão de bifurcação”. Na Figura 13 encontra-se a tela com a tabela para cadastro do número de cursos d’água visualizados de acordo com ordenamento da bacia.

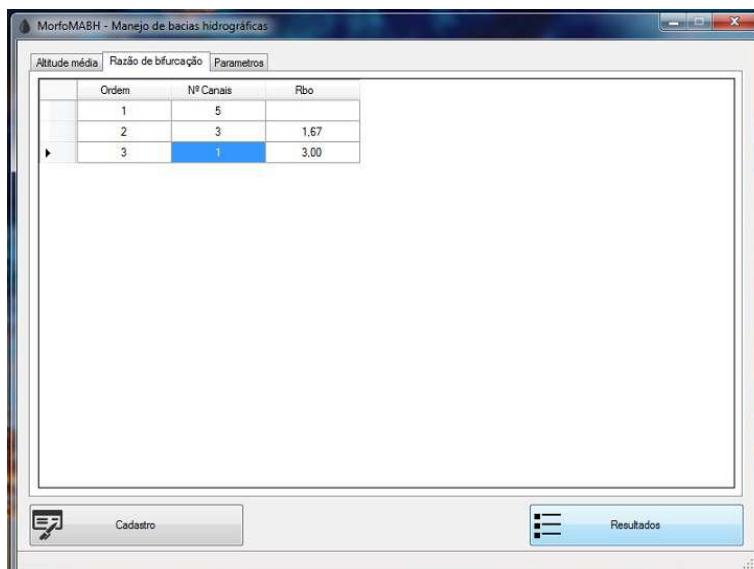


Figura 13 – Tela para cadastro do número de cursos d’água para cálculo da razão de bifurcação.

Na Figura 14 encontra-se a tela com os parâmetros calculados e a pontuação.

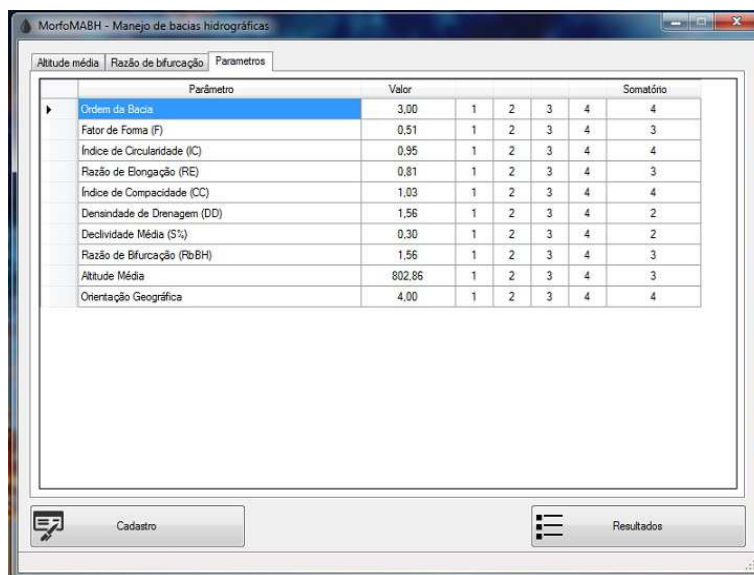


Figura 14 – Tela com os parâmetros calculados e a pontuação a ser somada para classificação da intensidade.

Na Tabela 5 encontram-se os resultados gerados a partir do processamento realizado no MorfoMABH retornando os valores dos parâmetros.

Tabela 5 – Resultados obtidos com o processamento realizado no MorfoMABH.

| PARÂMETRO | Córrego Teixeiras | Ribeirão das Rosas | Ribeirão Yung |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Ordem da Bacia | 4,00 | 5,00 | 4,00 |
| Fator de Forma | 0,22 | 0,19 | 0,16 |
| Índice de Circularidade | 0,49 | 0,33 | 0,38 |
| Razão de Elongação | 0,53 | 0,49 | 0,46 |
| Coeficiente de Compacidade | 1,43 | 1,74 | 1,62 |
| Densidade de Drenagem | 2,25 | 2,22 | 2,41 |
| Declividade Média | 0,34 | 0,34 | 0,35 |
| Razão de Bifurcação | 2,39 | 2,68 | 2,81 |
| Altitude Média | 765,00 | 785,00 | 765,00 |
| Orientação Geográfica | 3,00 | 3,00 | 4,00 |

Analisando os valores obtidos no MorfoMABH, o fator de forma aponta para uma forma mais retangular da bacia, o que aumenta tempo de concentração de água na área de drenagem. Os valores para índice de circularidade mais próximo de zero apontam para uma forma mais alongada da bacia hidrográfica, que é um ponto positivo quando se trabalha com escoamento superficial. Os valores assumidos para a razão de alongação confirmam a forma alongada da bacia, observada através do parâmetro anterior, e pode ser relacionado com a baixa suscetibilidade de ocorrência de cheias. Os índices de compacidade também confirmam a forma alongada da bacia. Os valores assumidos para densidade de drenagem foram elevados e podem ser relacionados com a permeabilidade do solo e capacidade de infiltração. Já os valores para razão de bifurcação apontam para uma bacia bem ramificada, no entanto com alta declividade.

Na Tabela 6 encontram-se as pontuações obtidas a partir de um intervalo de quatro pontos, onde cada parâmetro assumiu um valor. Foram calculados dez parâmetros morfométricos perfazendo um total de quarenta pontos para se definir a intensidade de manejo na bacia hidrográfica.

Tabela 6 – Pontuação assumida por cada parâmetro na respectiva bacia hidrográfica e o somatório indicando a intensidade de manejo a ser adotada.

| PARÂMETRO | Córrego Teixeiras | Ribeirão das Rosas | Ribeirão Yung |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Ordem da Bacia | 3 | 3 | 3 |
| Fator de Forma | 1 | 1 | 1 |
| Índice de Circularidade | 2 | 2 | 2 |
| Razão de Elongação | 3 | 2 | 2 |
| Coeficiente de Compacidade | 2 | 3 | 3 |
| Densidade de Drenagem | 3 | 3 | 3 |
| Declividade Média | 2 | 2 | 3 |
| Razão de Bifurcação | 1 | 1 | 1 |
| Altitude Média | 2 | 2 | 2 |
| Orientação Geográfica | 3 | 3 | 4 |
| Intensidade de Manejo da Bacia Hidrográfica (IMBH) | 22 | 22 | 24 |

Conforme análise realizada, percebe-se que alguns parâmetros retornam valores que indicam boas características físicas das bacias, como forma alongada obtida pelo fator de forma e índice de circularidade, o que poderia apontar para uma baixa intensidade de manejo. No entanto os valores elevados da orientação geográfica, densidade de drenagem e ordem da bacia pontam para uma alta intensidade de manejo, ponderando a intensidade que foi classificada como média.

Dessa forma, a análise conjunta dos parâmetros morfométricos realizada no MorfoMABH, consistiu em atribuir pesos aos parâmetros e posteriormente, com o somatório desses pesos, possibilitou realizar a classificação da intensidade de manejo, e assim, recomendar ações básicas a serem implantadas na bacia hidrográfica.

Na Figura 15 encontra-se a tela com resultado final do processamento, onde pode ser visualizada a classe de intensidade de manejo na qual as bacias se enquadraram e as recomendações básicas para tal classificação.

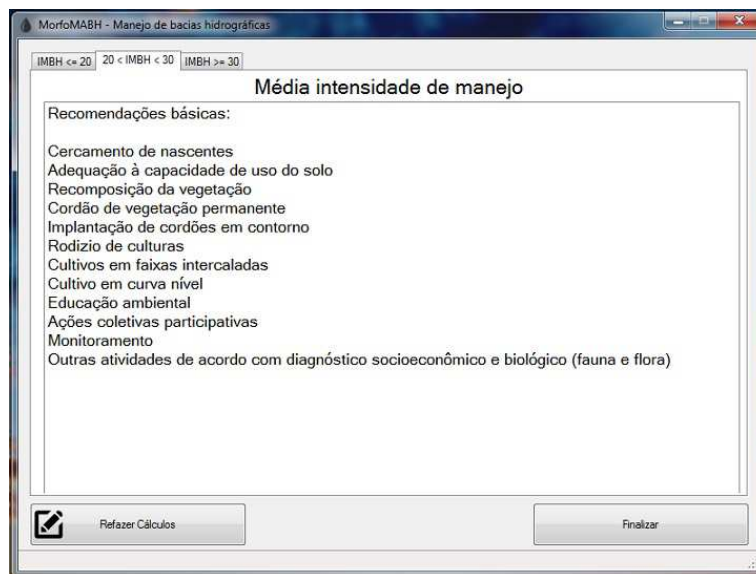


Figura 15 – Tela de resultado da classificação da intensidade de manejo e as recomendações básicas.

A automação da análise morfométrica utilizando o software Microsoft Excel mostrou-se um processo simples sendo necessário um conhecimento básico de informática. Trata-se de um software livre e de uso bastante difundido onde são realizadas operações simples e permite que uma série de parâmetros possa ser analisada de forma conjunta, permitindo também, o comparativo entre diferentes formas da bacia e suas influências.

As três bacias hidrográficas utilizadas como objeto de estudo para validação do sistema apresentaram classificação de média intensidade de manejo, o que pode ser explicado por serem bacias de ordem menor que cinco e apresentarem uma forma mais circular e pouco alongada.

A classificação adotada para a intensidade de manejo foi definida de forma abstrata, havendo a necessidade de estudos mais detalhados de diferentes bacias para definir os possíveis intervalos para uma melhor classificação.

É muito importante lembrar ainda que a classificação da intensidade de manejo da bacia, bem como a seleção das técnicas conservacionistas a serem adotadas, depende de outros diagnósticos físicos como usos do solo, diagnósticos biológicos (fauna e flora) e diagnóstico socioeconômico. Desta forma, conciliando a análise morfométrica realizada no MorfoMABH com os demais diagnósticos, a avaliação seria mais completa e eficaz para um manejo mais eficiente na bacia hidrográfica.

6. CONCLUSÕES

O sistema MorfoMABH desenvolvido mostrou-se eficiente, de fácil entendimento e aplicação.

Os parâmetros morfométricos das Bacias do Córrego Teixeira, do Ribeirão das Rosas e do Córrego Yung calculados através do MorfoMABH foram iguais aos encontrados por Silva (2011), validando o sistema.

A classificação da intensidade de manejo baseada nos parâmetros morfométricos da bacia não deve ser realizada de forma única, pois fatores como ocupação humana no âmbito da bacia, presença e porte da vegetação, tipo de solo predominante dentre outros fatores ambientais e sociais, devem ser levados em conta.

A automação para a classificação da intensidade de manejo através do MorfoMABH pode ser considerada uma ferramenta para auxiliar no planejamento das práticas de manejo de bacias hidrográficas, bem como uma ferramenta didática para os estudos de morfometria.

No entanto percebe-se a necessidade de aprimoramento do sistema, que poderá ser realizado através de pesquisas com especialistas da área e realização de testes no próprio sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACREMAN, M.C. & SINCLAIR, C.D. Classification of drainage basins according to their physical characteristic and application for flood frequency analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*, 84:365-380. 1986.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. *Rev. Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.
- CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. *Árvore*, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, T.M. Métodos de sensoriamento remoto aplicado a geomorfologia. *Revista Geográfica Acadêmica*. 1:44-54 (2007).
- CRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Rev. Geomorfol*, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Atlas do Meio Ambiente do Brasil. Embrapa. 2ª edição. Editora Terra Viva. Brasília. 1996.
- HIRIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço Hídrico Atual e Simulação para Cenários Climáticos Futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. *Revista Ambiente e Água – Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v.2, n.2, 2007.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc America Bulletin*, v.3, n.56, 1945.
- LIMA, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. USP – ESALQ. Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba – SP. 245p. 2008.
- MORISAWA, M.E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the appalachian plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 73: 1025-1046. 1962.

- PATTON, P.C.. Drainage basin morphometry ad floods. In: Baker, V. R. et al (eds.). *Food Geomorphology*. John Wley & Sons. P 51-64. 1988
- RICE, R. J. Fundamentos de Geomorfologia, Ed. Paraninfo, 1987. 324p.
- SILVA, R. C.. Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeira, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do Rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG. Trabalho de conclusão de pós-graduação. Faculdade de Engenharia, UFJF. 83p, 2011.
- STRAHLER A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of Geophysical Union* n.38, p.913-920, 1957.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. “O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local”. Revista UNIARA, n.20, pp. 137-156, 2007.
- TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. Revista Árvore, Viçosa – MG, v. 30, n. 5, p. 849 – 857, 2006.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade e Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 245p. 1993.