

# DETALHAMENTO HIDROMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO DOCE

*Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>; Vanessa Romero<sup>2</sup>; Murilo R. D. Cardoso<sup>3</sup>; Ricardo Pinto Filho<sup>4</sup>*

**RESUMO** – O estudo e a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Doce são possíveis em virtude do uso de geotecnologias que revelam o comportamento de sua hidrofisiologia. No presente trabalho objetivou-se estudar os parâmetros morfológicos que interferem na atividade hidrológica da bacia do Rio Doce. Para desenvolvimento deste estudo, imagens do projeto SRTM com resolução de 90 metros foram inseridas e mosaicadas em um programa GIS. Com o MDE delimitado a partir do recorte da bacia foi possível realizar o estudo de parâmetros tais como linearidade, área, comprimento e por fim, determinar a hipsometria da bacia do Rio Doce. A análise hipsométrica desta bacia revelou os valores dos Coeficientes de Massividade e Orográfico, respectivamente  $0,06 \cdot 10^{-4} \text{ km}^{-1}$  e  $0,03 \cdot 10^{-4}$ , bem como a Amplitude Altimétrica da bacia, 2627 metros (extraída por SRTM), a Relação de Relevô, equivalente a  $9,13 \cdot 10^{-3}$  e o Índice de Rugosidade da bacia, correspondente a 0,60. Mediante esta análise concluí-se que a bacia do Rio Doce apresenta considerável variação em sua área, proporcionada pela linearidade e pelos fatores hipsométricos da bacia, o que contribui para a ocorrência de cheias em diversos pontos da bacia.

**ABSTRACT** – The study and the morphometric characterization of Doce River are possible by the use of geotechnologies that reveal the hydro physiology behavior. With this research the objective is to study the morphological parameters that affect the hydrological activity of Doce River basin. For development of this study, SRTM project images with a resolution of 90 meters were inserted and mosaicked into a GIS program. With MDE delimited from there cut was possible to study parameters such as linearity, area, length, and finally establish the hypsometric of Doce River basin. The hypsometric analysis of this basin revealed the values of the Coefficients of Massiveness and Orographic, respectively  $0.06 \cdot 10^{-4} \text{ km}^{-1}$  and  $0.03 \cdot 10^{-4}$  and Atimetry Amplitude basin, 2627 meters (extract by SRTM), the Relation of Relief, equivalent to  $9,13 \cdot 10^{-3}$  and the Index of Rugosity of the basin, corresponding to 0,60. Through this analysis it was concluded that Doce River basin has considerable variation in its area, provided by the linearity and the hypsometric factors of the basin, which contributes to the occurrence of floods in various parts of the basin.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, hipsometria, fisiografia.

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup>, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – Ministério de Minas e Energia – Rua 148, n<sup>o</sup>485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1426 – Goiânia/GO. [francisco.marcuzzo@cprm.gov.br](mailto:francisco.marcuzzo@cprm.gov.br).

<sup>2</sup> Acadêmica em Saneamento Ambiental, IFG (Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás) – Rua 75, n<sup>o</sup> 46, Centro - CEP: 74055-110, Tel. (62) 3227-2700 – Goiânia/GO. [vromero.fe@gmail.com](mailto:vromero.fe@gmail.com)

<sup>3</sup> Acadêmico em Geografia, UFG (Universidade Federal de Goiás) – Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. [muriloshinobi@gmail.com](mailto:muriloshinobi@gmail.com)

<sup>4</sup> Geógrafo, UFG (Universidade Federal de Goiás) - Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. [pintofilho.rf@gmail.com](mailto:pintofilho.rf@gmail.com)

## 1 - INTRODUÇÃO

O método de estudo hipsométrico, que consiste na caracterização morfológica da bacia hidrográfica e determina seus indicadores de formato físico, é importante em estudos de caracterização de bacias, pois revela seu respectivo comportamento hidrofisiológico.

Lana *et al.* (2001), em um estudo sobre a análise morfométrica da sub-bacia do Rio do Tanque, pertencente à bacia do Rio Doce, encontrou dois patamares (níveis de base locais) responsáveis pela existência de áreas mais susceptíveis à deposição sedimentar, apresentando cursos d'água tipicamente meandantes (porções à montante dos mesmos) e outras, onde predomina a dissecação dos terrenos associada ao aumento da declividade dos cursos d'água e ao aparecimento de canais encaixados (porções à jusante). Os mesmos autores determinaram que o encaixamento da drenagem está intimamente ligado a feições estruturais como fraturas, falhas e contatos geológicos, que exercem o controle sobre essas porções da bacia hidrográfica. Já Tonello *et al.* (2006), mediante análise morfométrica da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, no município de Guanhães em Minas Gerais, acrescentam que nenhum dos índices característicos da bacia, como forma, processos e suas inter-relações, isoladamente, devem ser entendidos como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal.

Conforme o exposto acima, este trabalho objetiva estudar a hidromorfologia da bacia do Rio Doce a fim de quantificar parâmetros físicos e morfológicos que interferem na sua dinâmica hidrológica e na interação entre água e solo da bacia.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Divisão territorial municipal, população e clima da bacia do Rio Doce

A bacia hidrográfica do Rio Doce (Figura 1) está localizada na região leste de Minas Gerais, com 82,8% da área da bacia (68431,25 km<sup>2</sup>), e no centro do Espírito Santo, que possui 17,2% da área da bacia (14215,18 km<sup>2</sup>). A bacia do Rio Doce possui uma área total de 82646,44 km<sup>2</sup> e perímetro de 1691,48 km. A bacia hidrográfica do Rio Doce possui 269 municípios com parte ou todo território inseridos na bacia (Figura 1), sendo 235 municípios da bacia no estado de Minas Gerais e 34 municípios no estado do Espírito Santo. O maior território municipal da bacia do Rio Doce pertence ao município de Governador Valadares (área de 2349,11 km<sup>2</sup> e perímetro de 303,87 km), no estado de Minas Gerais, e o menor, o município de São José do Mantimento (área de 54,39 km<sup>2</sup> e perímetro de 35,70 km), no estado de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE (2010), toda a população residente nos municípios da bacia do Rio Doce somam 4.759.505 pessoas, sendo que a maior população fica no estado de Governador Valadares/MG, com 263.594 habitantes (5,53%) e a menor população está no município de São Sebastião do Rio Preto/MG, com 1.616 habitantes

(0,03%). A maior densidade populacional pertence ao município de Ipatinga/MG, com 1186,62 habitantes.km<sup>-2</sup> e a menor fica com o município de Santana do Riacho/MG com 5,23 habitantes.km<sup>-2</sup>.

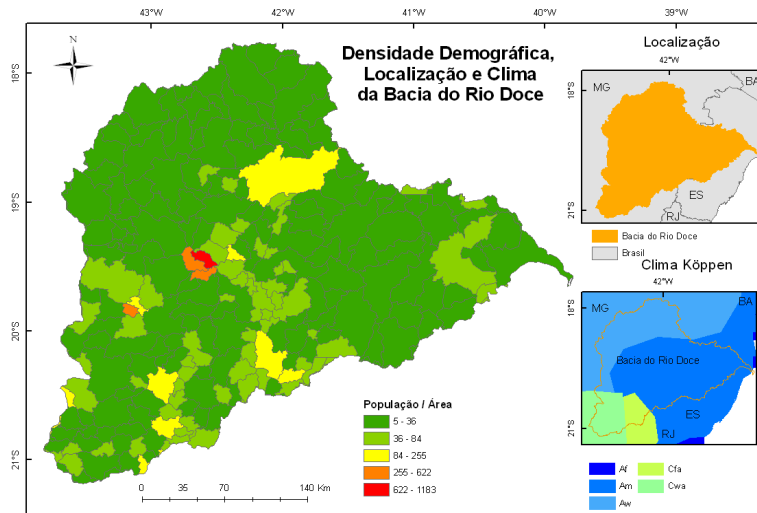


Figura 1 - Densidade de habitantes por quilômetro quadrado, clima e localização da bacia.

O clima da alta bacia do Rio Doce é o Tropical, com estação seca no inverno, e o clima típico da baixa bacia do Rio Doce é o clima de Monção (Figura 1). Na bacia do Rio Doce atuam a Massa Polar Atlântica e a Massa Tropical Atlântica. No curso baixo da bacia o inverno é ameno com incursões da massa polar, ocasionando quedas de temperatura, enquanto que o verão é quente com temperaturas máximas entre dezembro e janeiro.

## 2.2 - Vegetação, uso do solo e principais rios

As classificações tradicionais da vegetação brasileira reconhecem para a bacia do Rio Doce, como preponderante, a Floresta Estacional Semi-decidual (Figura 2). O uso do solo na bacia do Rio Doce é caracterizado intensivamente pela prática da agricultura e da pecuária (Figura 2).

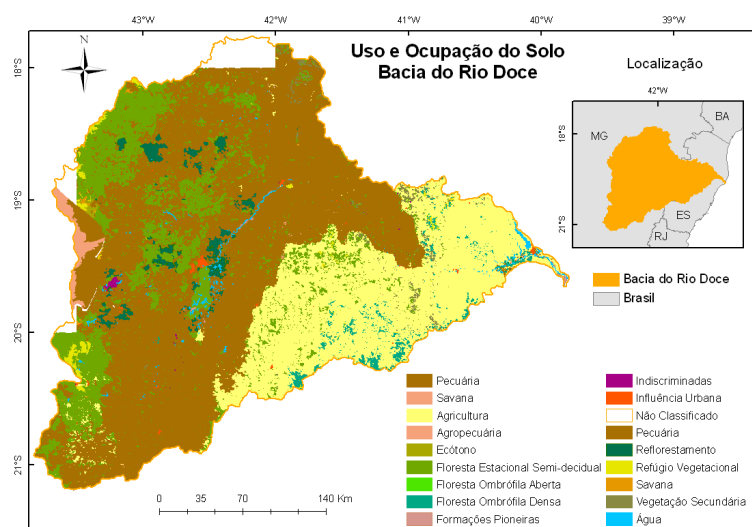


Figura 2 - Uso e ocupação do solo da bacia do Rio Doce.

Os principais rios da bacia do Rio Doce são, em quilômetros lineares: Doce (610,56), Piranga (247,13), Manhuaçu (236,81), Santo Antônio (228,44), Piracicaba (206,89), Caratinga (172,9), Casca (163,36), Suaçuí Pequeno (114,29), Guandu (102,02), Panças (95,66), Santa Maria (73,70), Resplendor (38,94) e do Carmo (22,10) (Figura 3).

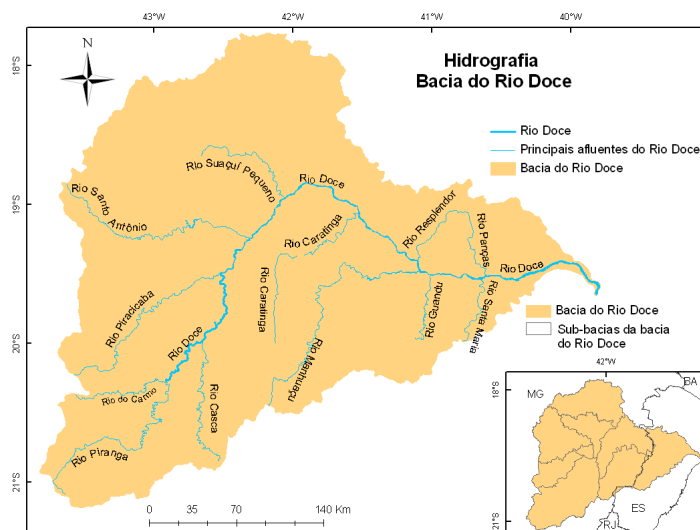


Figura 3 - Hidrografia com os principais cursos d'água da bacia do Rio Doce.

### 2.3 - Imagem utilizada no estudo - SRTM

No presente trabalho foram utilizados dados do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) obtidos da NASA (2002). As imagens SRTM com resolução de 90 metros foram agrupadas em um programa GIS (Geographic Information System) visando estabelecer os limites da bacia do Rio Doce (Figura 4). O MDE (Modelo Digital de Elevação) foi posteriormente delimitado e permitiu analisar a hipsometria da bacia. A maior porção da bacia do Rio Doce está inserida no bioma da Mata Atlântica e uma pequena parte, a leste de Minas Gerais, no bioma Cerrado (Figura 4). Segundo os dados extraídos por SRTM, a amplitude altimétrica da bacia varia de 0 a 2627 metros (Figura 4). O município de Linhares/ES é o de menor altitude e o de Iúna/ES, o de maior.

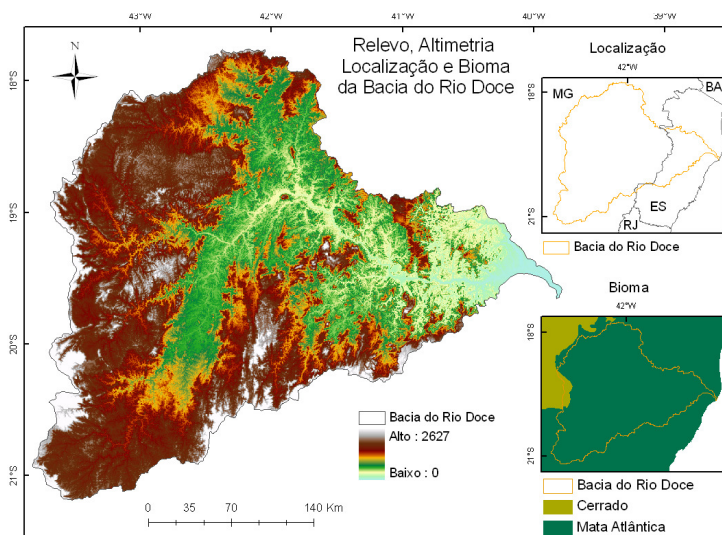


Figura 4 - Relevo, altimetria, localização e bioma da bacia do Rio Doce.

## 2.4 - Metodologia para o estudo de linearidade da bacia

### 2.4.1 – Relação de bifurcação ( $Rb$ )

A relação de Bifurcação foi definida por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1} \quad (1)$$

em que,  $Nu$  é o número de segmentos de determinada ordem;  $Nu+1$  é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

### 2.4.2 – Índice de sinuosidade ( $Is$ )

O índice de sinuosidade é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (equivalente vetorial), medida em linha reta ( $Ev$ ), e o comprimento do canal principal ( $L$ ). O índice de sinuosidade possui classes, divididas conforme o Quadro 1.

$$Is = \frac{100(L-ev)}{L} \quad (2)$$

Quadro 1 - Índices de sinuosidade divididos por classes.

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito reto	<20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

### 2.4.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

Para se calcular o comprimento médio dos segmentos fluvial,  $Lm$ , divide-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem  $Lu$  pelo número de segmentos encontrados na respectiva ordem  $Nu$ .

$$Lm = \frac{Lu}{Nu} \quad (3)$$

### 2.4.4 – Comprimento do canal principal

É a distância que se estende ao longo do curso d'água desde a nascente principal até a desembocadura (Foz).

### 2.4.5 – Equivalente vetorial do Canal Principal ( $Ev$ )

O equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, em linha reta, que se estende do nascimento ao término do referido canal.

$Ev$  = distância em km

Nascente → Foz (4)

#### 2.4.6 – Extensão do percurso superficial (*Eps*)

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a extensão do percurso superficial está ajustada ao tamanho apropriado relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco valor da densidade de drenagem.

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad (5)$$

em que, *Eps* (m) representa a extensão do percurso superficial; *Dd* ( $km^{-1}$ ) é o valor da densidade de drenagem.

#### 2.4.7 – Gradiente dos Canais

Vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem.

$$Alt. Max - Alt. Min = Gradiente do canal \quad (6)$$

### 2.5 - Metodologia para o estudo de área da bacia

#### 2.5.1 – Área da bacia (*A*)

É toda área determinada normalmente em  $km^2$ , drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Determinando o perímetro da bacia, a área pode ser calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem de papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas mais sofisticadas, com o auxílio do computador.

#### 2.5.2 – Comprimento da bacia

Várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido. Entre elas podemos mencionar:

- Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele. O ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;
- Maior distância medida em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;

- Distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro;
- Distância medida em linha reta acompanhado paralelamente o rio principal. Esse procedimento acarreta diversas decisões subjetivas quando o rio não é irregular ou tortuoso, ou quando a bacia de drenagem possui forma incomum.

### 2.5.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia

Esta fórmula demonstra notável consistência entre os dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água principal possa ser calculado conforme a seguinte expressão, proposta inicialmente por Christofolletti (1980).

$$L = 1,5A^{0,6} \text{ (em unidades métricas)} \quad (7)$$

em que,  $L$  é o comprimento do canal principal (km);  $A$  é a área da bacia (km<sup>2</sup>).

### 2.5.4 – Forma da bacia ( $If$ )

Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor forma possível a referida bacia hidrográfica. A seguir relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou a figura geométrica obtendo-se um índice de forma:

$$If = 1 \frac{(\text{área } KnL)}{(\text{área } KuL)} \quad (8)$$

em que,  $If$  é o índice de forma;  $K$  é a área da bacia (km<sup>2</sup>);  $L$  é a área da figura geométrica (km<sup>2</sup>). Quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

### 2.5.5 – Densidade dos rios ( $Dr$ )

Definido por Horto (1945) apud Christofolletti (1980) é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como, quilômetro quadrado (km<sup>2</sup>).

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (9)$$

em que,  $DR$  é a densidade de rios (nº de rios.km<sup>-2</sup>),  $N$  é o número de rios ou cursos de água,  $A$  é a área da bacia considerada (km<sup>2</sup>).

### 2.5.6 – Densidade de drenagem ( $Dd$ )

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi inicialmente definida por Horton (1945) apud Christofolletti idem, podendo ser calculada pela equação à frente.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (10)$$

em que,  $Dd$  é a densidade da drenagem ( $\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$ ),  $Lt$  é o comprimento total dos canais (km),  $A$  é a área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

#### 2.5.7 – Coeficiente de manutenção ( $Cm$ )

Proposto por S. A. Schumm, em (1956), esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O referido autor considera-o como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado através de expressão, a fim de que seja significativa na escala métrica.

$$Cm = \frac{1}{Dd} 1000 \quad (11)$$

em que,  $Cm$  é o coeficiente de manutenção,  $Dd$  é o valor da densidade de drenagem (m).

## 2.6 - Metodologia para o estudo hipsométrico da bacia

### 2.6.1 – Coeficiente de Massividade ( $Cm$ ) e o Coeficiente Orográfico ( $Co$ )

É o coeficiente da divisão da altura média ( $Am$ ) do relevo da área pela superfície ( $A$ ); e o coeficiente orográfico é a multiplicação da altura média da bacia pelo coeficiente de massividade.

$$Cm = \frac{Am}{A} \quad (12)$$

$$Co = Am * Cm \quad (13)$$

### 2.6.2 – Amplitude Altimétrica ( $Hm$ )

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. Este conceito, também denominado de “relevo máximo da bacia”. O ponto mais elevado da bacia deve ser considerado a média das cotas mais elevadas, pois o seu ponto alto não compreende toda porção mais elevada da bacia.

$$Hm = P1 - P2 \quad (14)$$

em que,  $P1$  é o ponto mais alto (m),  $P2$  é o ponto mais baixo (m) da bacia hidrográfica.

### 2.6.3 – Relação de relevo ( $Rr$ )

Considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação do relevo ( $Rr$ ) pode ser calculada dividindo: amplitude topográfica máxima ( $Hm$ ) e a raiz quadrada da área da bacia ( $A$ ).

$$Rr = \frac{Hm}{A^{0,5}} \quad (15)$$



#### 2.6.4 – Índice de rugosidade (*Ir*)

O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (*H*) e a densidade de drenagem (*Dd*).

$$Ir = H * Dd \quad (16)$$

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte dos resultados foram obtidos por meio de equações numéricas e, a outra parte em um programa de Sistema de Informação Geográfica. Os resultados foram posteriormente descritos e transpostos em documentos cartográficos (Tabelas e Figuras - Mapas) visando melhor compreensão do estudo realizado.

#### 3.1 - Hierarquia fluvial e ordem dos principais afluentes do Rio Doce

Strahler (1952) propõe uma ordenação que elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. A Tabela 1 descreve a quantidade de canais de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, e 5ª ordens e os seus respectivos comprimentos (km) e o comprimento médio dos canais por ordem na bacia do Rio Doce.

Tabela 1 - Ordem dos canais, quantidade de canais, comprimento linear e densidade de canais por ordem na bacia do Rio Doce.

	Ordem dos Canais				
	1	2	3	4	5
Quantidade	1164	389	76	14	4
Comprimento linear	11779	3571,42	2004,87	885,73	307,53
Comprimento médio dos canais	10,11	9,18	26,38	63,27	76,88

#### 3.2 - Análise linear da rede hidrográfica da bacia do Rio Doce

##### 3.2.1 – Análise da relação de bifurcação

Estudando o sistema de ordenação de Strahler (1952), Christofolleti (1980) concluiu que o resultado obtido na relação de bifurcação nunca pode ser inferior a 2. Estes valores, em sua maioria, devem variar entre 3 e 5. Na bacia do Rio Doce a relação variou de 1,84 a 2,73 tendo uma média de 2,16 (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação de bifurcação da bacia do Rio Doce.

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Média
-	2,12	1,84	1,96	2,73	2,16

### 3.2.2 – Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade é de grande relevância para a análise dos cursos d'água, pois ele determina se o canal é formado por reta ou possui elevada sinuosidade. O Rio Doce, possui 50,05% de sinuosidade ficando na classe 5, conforme o Quadro1 (item 2.4 - Metodologia para o estudo de linearidade da bacia), sendo considerado muito sinuoso, ou seja, possui áreas acentuadamente sinuosas no decorrer do seu percurso.

### 3.2.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

O cálculo da relação entre o comprimento médio dos cursos d'água de cada ordem da bacia do Rio Doce (Tabela 3) mostrou que há uma correlação positiva com o crescimento da ordem e o comprimento médio dos cursos d'água.

Tabela 3 - Relação entre o comprimento médio dos cursos d'água (LM) de cada ordem da bacia do Rio Doce.

Ordem	Quantidade	%	km	LM
1	1171	52,46	11779,03	10,05
2	552	24,73	3571,42	6,46
3	300	13,44	2004,87	6,68
4	153	6,85	885,73	5,78
5	56	2,52	307,53	5,49
Total	2232	100	18548,58	34,46

### 3.2.4 – Comprimento do canal principal

No cálculo do canal principal foi considerado o curso d'água principal que percorria a maior distância entre a nascente e sua respectiva foz. O Rio Doce e seus tributários possuem suas principais nascentes em regiões com altitudes que variam de 0 a 2627 metros. O Rio Doce possui aproximadamente 857,11 km de extensão.

### 3.2.5 – Equivalente vetorial do canal principal

O cálculo do equivalente vetorial do curso d'água principal tem um valor interpretativo, pois resulta de seu confronto com os índices do comprimento médio e da declividade média. Christofletti (1980) cita que nos canais retinizados e com alta declividade, a grandeza do equivalente vetorial aproxima-se do comprimento, detendo por isso, menor percurso.

Na bacia do Rio Doce verifica-se que há uma diferença significativa deste curso d'água, pois o mesmo apresenta 857,11 km de percurso e um equivalente de 430,72 km resultando-se 431,63 km de diferença. Este dado mostra o distanciamento da nascente do curso d'água até sua foz correspondendo ao controle morfométrico da bacia hidrográfica do Rio Doce.

### 3.2.6 – Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial é uma relação que é dependente da extensão que o fluxo terá que percorrer desde o interflúvio da bacia até o talvegue. A extensão do percurso superficial foi de 2,17 km<sup>-1</sup>, ou seja, sabe-se que, em média, a cada distância de 2,17 km na vertente haverá um canal para escoamento das águas superficiais da bacia do Rio Doce.

### 3.2.7 – Gradiente do canal

O cálculo do gradiente altimétrico do curso d'água é feito pela diferença altimétrica entre a nascente do rio e sua respectiva foz. A principal nascente do Rio Doce está próxima do nível 1252 m e sua foz a 0 m do nível do mar, seu gradiente altimétrico é de 1252 m distribuídos em 857,11 km de extensão do canal principal. Na Tabela 4 consta o gradiente altimétrico dos principais rios formadores da bacia do Rio Doce (Figura 3).

Tabela 4 - Gradiente dos principais rios da bacia do Rio Doce.

Nome do Rio	Altitude (m)		Gradiente do rio (m)	Comprimento Talvegue (km)	Nº de Municípios por onde passa o rio
	Nascente	Foz			
<sup>1</sup> Doce	1252	0	1252	857,11	43
Piranga	1252	373	879	247,13	12
Manhuaçu	825	80	745	236,81	12
Santo Antônio	1037	213	824	228,44	12
Piracicaba	1659	231	1428	206,89	14
Caratinga	1026	161	865	172,9	11
Casca	846	268	578	163,36	11
Suaçuí Pequeno	945	213	732	114,29	3
Guandu	401	134	267	102,02	3
Panças	432	77	355	95,66	3
Santa Maria	949	102	847	73,7	3
Carmo	1314	372	942	22,1	5
Resplendor	380	113	267	38,94	3

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

## 3.3 - Análise areal da bacia do Rio Doce

### 3.3.1 – Área da bacia

Entende-se por área de bacia hidrográfica como toda região drenada pelo mesmo conjunto de canais livres naturais ou não, sendo os seus limites delimitados pelos divisores d'água (interflúvios; divisores de drenagem). Os cursos d'água delimitados dentro deste perímetro escorrem em direção do declive, direcionando-se para sua foz no curso d'água principal e este para o mar (Figura 3 e 4). Neste estudo, com base em imagens SRTM, verificou-se que a bacia do Rio Doce possui uma área de 82646,44 km<sup>2</sup> lineares e um perímetro de 1691,48 km (Tabela 5).

Tabela 5 - Área e perímetro das sub-bacias da bacia do Rio Doce.

Nome da Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)
<sup>1</sup> Rio Doce	82646,44	1691,48
Rio Piranga	6691,81	423,27
Rio Santo Antônio	10492,61	611,75
Rio Manhuaçu	8992,46	507,92
Rio Caratinga	4795,87	503,9
Rio Piracicaba	5533,56	446,3
Rio Casca	2475,81	303,37
Rio do Carmo	2270,71	266,1
Rio Guandu	2098,97	256,15
Rio Suaçuí Pequeno	1701,87	297,98
Rio Panças	1210,21	195,54
Rio Santa Maria	965,15	138,86
Rio Resplendor	876,74	153,51

<sup>1</sup>Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.3.2 – Comprimento da bacia

Com o estudo analítico dos possíveis comprimentos da bacia do Rio Doce (Figura 5), verificaram-se alguns parâmetros de relevância com relação às distâncias verificadas na área de abrangência da bacia (Tabela 6):

- Reta formada entre os pontos A-B verifica-se a maior distância encontrada em linha reta até a foz principal da bacia;
- Reta formada entre os pontos A-C, é o eixo vetorial, determinando a reta longitudinal da bacia hidrográfica do Rio Doce;
- Reta formada entre os pontos A-D é a distância da foz à nascente da bacia hidrográfica;
- Reta formada entre os pontos A-E, é a distância do ponto mais baixo (0 m) até o ponto de maior altitude (2627m) da bacia hidrográfica do Rio Doce;
- Reta formada entre os pontos B-F, é a reta transversal ao sentido de escoamento da região, representando a maior largura da bacia hidrográfica do Rio Doce.

Tabela 6 - Distâncias de segmentos lineares entre pontos extremos na bacia do Rio Doce.

Retas	Distância entre os pontos (km)
A - B	441,62
A - C	409,33
A - D	430,72
A - E	225,66
B - F	395,19

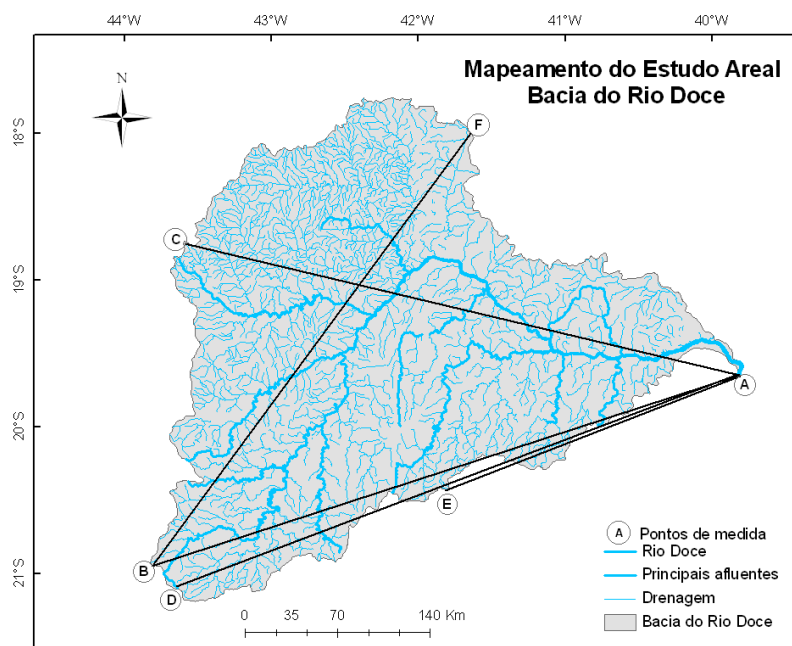


Figura 5 - Mapeamento do estudo areal da bacia do Rio Doce.

### 3.3.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia

Na Tabela 7 é apresentada a relação entre o comprimento dos principais tributários do Rio Doce (Figura 3) e suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 7 - Relação entre o comprimento dos principais tributários da bacia do Rio Doce e suas respectivas áreas de drenagem.

Nome da Bacia	<sup>2</sup> C.T. (km)	<sup>3</sup> AD (km <sup>2</sup> )	Relação Direta Comprimento/Área (km.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )	<sup>4</sup> CE (km)	<sup>5</sup> DCER (km)	<sup>6</sup> DCER (%)
<sup>1</sup> Rio Doce	857,11	82646,44	10,43.10 <sup>-3</sup>	1337,91	480,80	36
Rio Piranga	247,13	6691,81	36,93.10 <sup>-3</sup>	296,09	48,96	17
Rio Manhuaçu	236,81	8992,46	26,33.10 <sup>-3</sup>	353,52	116,71	33
Rio Santo Antônio	228,44	10492,61	21,77.10 <sup>-3</sup>	387,81	159,37	41
Rio Piracicaba	206,89	5533,56	37,38.10 <sup>-3</sup>	264,18	57,29	22
Rio Caratinga	172,9	4795,87	36,05.10 <sup>-3</sup>	242,44	69,54	29
Rio Casca	163,36	2475,1	66,00.10 <sup>-3</sup>	163,02	-0,34	0
Rio Suaçuí Pequeno	114,29	1701,87	67,15.10 <sup>-3</sup>	130,21	15,92	12
Rio Guandu	102,02	2098,97	48,60.10 <sup>-3</sup>	147,67	45,65	31
Rio Panças	95,66	1210,21	79,04.10 <sup>-3</sup>	106,12	10,46	10
Rio Santa Maria	73,7	965,15	76,36.10 <sup>-3</sup>	92,65	18,95	20
Rio do Carmo	22,1	2270,71	9,73.10 <sup>-3</sup>	154,81	132,71	86
Rio Resplendor	38,94	876,74	44,41.10 <sup>-3</sup>	87,46	48,52	55

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante da foz. <sup>2</sup> C.T. – Comprimento do Talvegue, medido segundo a shape dos rios do Brasil disponibilizado em [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). <sup>3</sup> AD – Área de Drenagem. <sup>4</sup> CE – Comprimento

Estimado a Partir da Área, pela equação sete, no item 2.5.3. <sup>5,6</sup> DCER – Diferença entre o Comprimento Estimado e Real.

A relação entre a área da bacia (82646,44 km<sup>2</sup>) e o percurso do canal principal (857,11 km) é de 10,43.10<sup>-3</sup> (km<sup>-1</sup>). Verifica-se na bacia do Rio Doce que, com essa relação, a cada km<sup>2</sup> de área da bacia há uma drenagem de 10,43.10<sup>-3</sup> km.

### 3.3.4 – Forma da bacia

O processo para determinação da forma da bacia é simples, podendo-se determinar a forma utilizando-se de figuras geométricas simples como ponto de referência e verificando-se em qual forma geométrica (triângulo, retângulo, quadrado, círculo, etc.) se adapta melhor a forma da bacia hidrográfica. Portanto, a forma da bacia do Rio Doce é a triangular por se aproximar de 0 (de acordo com equação 8 de Material e Métodos = 0,91) . Ressaltando-se que a forma geométrica da bacia hidrográfica pode determinar mudanças do canal, pois conforme sua forma, seus fluxos que provocam enchentes podem ser representativos.

### 3.3.5 – Densidade de rios

Através deste parâmetro ocorre a representatividade do comportamento hidrográfico dentro de seus aspectos fundamentais, a capacidade de gerar novos canais de drenagens. A densidade de rios na bacia do Rio Doce (Figura 3) foi de 27,03.10<sup>-3</sup> cursos d'água por quilômetro quadrado da bacia (Tabela 8). Uma bacia é considerada bem drenada quando tem um canal por km<sup>2</sup>.

Tabela 8 - Densidade de rios da bacia do Rio Doce e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Área da bacia formada pelo rio (km <sup>2</sup> )	Número de canais na bacia	Densidade de rios (nº de rios.km <sup>-2</sup> )	Nº de Municípios por onde passa o rio
<sup>1</sup> Rio Doce	82646,44	2234	27,03.10 <sup>-3</sup>	43
Rio Piranga	6691,81	69	10,31.10 <sup>-3</sup>	12
Rio Santo Antônio	10492,61	274	26,11.10 <sup>-3</sup>	12
Rio Manhuaçu	8992,46	101	11,23.10 <sup>-3</sup>	12
Rio Caratinga	4795,87	59	12,30.10 <sup>-3</sup>	11
Rio Piracicaba	5533,56	97	17,52.10 <sup>-3</sup>	14
Rio Casca	2475,1	28	11,31.10 <sup>-3</sup>	11
Rio do Carmo	2270,71	24	10,56.10 <sup>-3</sup>	5
Rio Guandu	2098,97	24	11,43.10 <sup>-3</sup>	3
Rio Suaçuí Pequeno	1701,87	66	38,78.10 <sup>-3</sup>	3
Rio Panças	1210,21	10	8,26.10 <sup>-3</sup>	3
Rio Santa Maria	965,15	7	7,25.10 <sup>-3</sup>	3
Rio Resplendor	876,74	8	9,12.10 <sup>-3</sup>	3

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.3.6 – Densidade de drenagem

O parâmetro hidromorfológico da densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A importância da densidade de drenagem está ligada ao estudo de bacias hidrográficas, já que representa uma relação inversa com o comprimento dos rios. Entende-se que à medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

A densidade de drenagem pode variar de  $0,5 \text{ km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$  (bacias mal drenadas devido a elevada permeabilidade ou precipitação escassa) a  $3,5 \text{ km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$  (bacias excepcionalmente bem drenadas ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis).

Na bacia do Rio Doce a densidade de drenagem é de  $0,23 \text{ km}$  de canal por  $1 \text{ km}^2$  de área (Tabela 9). A densidade de drenagem nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Doce (Figura 3) é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 - Densidade de drenagem da bacia do Rio Doce e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Comprimento total dos canais (km)	Área da bacia formada pelo rio ( $\text{km}^2$ )	Densidade de drenagem ( $\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$ )	Nº de Municípios por onde passa o rio
<sup>1</sup> Rio Doce	19017,39	82646,44	0,23	43
Rio Piranga	247,13	6691,81	0,03	12
Rio Manhuaçu	236,81	10492,61	0,02	12
Rio Santo Antônio	228,44	8992,46	0,02	12
Rio Piracicaba	206,89	4795,87	0,04	11
Rio Caratinga	172,9	5533,56	0,03	14
Rio Casca	163,36	2475,1	0,06	11
Rio Suaçuí Pequeno	114,29	2270,71	0,05	5
Rio Guandu	102,02	2098,97	0,04	3
Rio Panças	95,66	1701,87	0,05	3
Rio Santa Maria	73,7	1210,21	0,06	3
Rio do Carmo	22,1	965,15	0,02	3
Rio Resplendor	38,94	876,74	0,04	3

<sup>1</sup>Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.3.7 – Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção tem o objetivo de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O coeficiente de manutenção nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Doce (Figura 3) é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficiente de manutenção da bacia do Rio Doce e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Densidade de drenagem (km.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )	Coeficiente de manutenção (m <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup> )	Nº de Municípios por onde passa o rio
<sup>1</sup> Rio Doce	0,23	4347,82	43
Rio Piranga	0,03	33333,33	12
Rio Manhuaçu	0,02	50000,00	12
Rio Santo Antônio	0,02	50000,00	12
Rio Piracicaba	0,04	25000,00	11
Rio Caratinga	0,03	33333,33	14
Rio Casca	0,06	16666,66	11
Rio Suaçuí Pequeno	0,05	20000,00	5
Rio Guandu	0,04	25000,00	3
Rio Panças	0,05	20000,00	3
Rio Santa Maria	0,06	16666,66	3
Rio do Carmo	0,02	50000,00	3
Rio Resplendor	0,04	25000,00	3

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.4 - Análise e estudo hipsométrico da bacia do Rio Doce

#### 3.4.1 – Coeficiente de massividade e coeficiente orográfico

Já conceituados no subitem 2.6 de Material e Métodos, estes parâmetros facilitam a compreensão das deformidades geomorfológicas da bacia do Rio Doce (Figura 3) (Tabela 11).

Tabela 11 – Estudo hipsométrico da bacia do Rio Doce e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Altitude (m)		Amplitude altimétrica (m)	Altura média (m)	Coeficiente	
		P1	P2			Massividade (10 <sup>-4</sup> km <sup>-1</sup> )	Orográfico (10 <sup>-4</sup> )
<sup>1</sup> Rio Doce	82646,44	2627	0	2627	563	0,06	0,03
Rio Piranga	6691,81	1450	346	1104	738	1,10	0,81
Rio Santo Antônio	10492,61	1782	184	1598	729	0,69	0,50
Rio Manhuaçu	8992,46	1972	75	1897	543	0,60	0,32
Rio Caratinga	4795,87	1551	122	1429	554	1,15	0,63
Rio Piracicaba	5533,56	2076	217	1859	807	1,45	1,17
Rio Casca	2475,1	1915	257	1658	658	2,65	1,74
Rio do Carmo	2270,71	1747	346	1401	818	3,60	2,94
Rio Guandu	2098,97	1527	57	1470	528	2,51	1,32
Rio Suaçuí Pequeno	1701,87	1028	167	861	776	4,55	3,53
Rio Panças	1210,21	885	27	858	206	1,70	0,35
Rio Santa Maria	965,15	1085	25	1060	364	3,77	1,37
Rio Resplendor	876,74	844	63	781	245	2,79	0,68

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.



### 3.4.2 – Amplitude altimétrica máxima da bacia

Entende-se por amplitude altimétrica máxima da bacia hidrográfica a diferença entre o ponto de máxima elevação e o ponto de menor elevação, sendo que uma bacia possui diversos pontos culminantes devendo-se escolher o ponto mais elevado, mesmo se este ponto for próximo à foz da área estudada. Na bacia do Rio Doce o ponto de maior elevação está localizado no município de Iúna/ES, com 2627 m, e a cota mínima situa-se na foz do Rio Doce com 0 m em relação ao nível do mar. A amplitude altimétrica máxima nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Doce (Figura 3) constam na Tabela 11.

### 3.4.3 – Relação de relevo

Relação de relevo consiste no relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação de relevo na bacia do Rio Doce e nas sub-bacias formadas pelos seus principais tributários (Figura 3) é mostrada na Tabela 12.

Tabela 12 - Relação de relevo da bacia do Rio Doce e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Amplitude altimétrica (m)	Área da bacia formada pelo rio (km <sup>2</sup> )	Relação de Relevo (10 <sup>-3</sup> )	Nº de Municípios por onde passa o rio
<sup>1</sup> Rio Doce	2627	82646,44	9,13	43
Rio Piranga	1104	6691,81	13,49	12
Rio Santo Antônio	1598	10492,61	15,60	12
Rio Manhuaçu	1897	8992,46	20,00	12
Rio Caratinga	1429	4795,87	20,63	11
Rio Piracicaba	1859	5533,56	24,99	14
Rio Casca	1658	2475,10	33,32	11
Rio do Carmo	1401	2270,71	29,40	5
Rio Guandu	1470	2098,97	32,08	3
Rio Suaçuí Pequeno	861	1701,87	20,87	3
Rio Panças	858	1210,21	24,66	3
Rio Santa Maria	1060	965,15	34,12	3
Rio Resplendor	781	876,74	26,38	3

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.4.4 – Índice de rugosidade

O parâmetro hipsométrico índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional. A Tabela 13 mostra os resultados obtidos sobre tal parâmetro na bacia do Rio Doce e nas bacias dos seus principais tributários (Figura 3).

Tabela 13 - Índice de rugosidade da bacia do Rio Doce e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Amplitude altimétrica (m)	Densidade de drenagem (km.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )	Índice de Rugosidade	Nº de Municípios por onde passa o rio
<sup>1</sup> Rio Doce	2627	0,23	0,60	43
Rio Piranga	1104	0,03	0,03	12
Rio Santo Antônio	1598	0,02	0,03	12
Rio Manhuaçu	1897	0,02	0,03	12
Rio Caratinga	1429	0,04	0,04	11
Rio Piracicaba	1859	0,03	0,07	14
Rio Casca	1658	0,06	0,09	11
Rio do Carmo	1401	0,05	0,02	5
Rio Guandu	1470	0,04	0,05	3
Rio Suaçuí Pequeno	861	0,05	0,04	3
Rio Panças	858	0,06	0,04	3
Rio Santa Maria	1060	0,02	0,06	3
Rio Resplendor	781	0,04	0,03	3

<sup>1</sup> Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

### 3.5 - Sumário hidromorfométrico da bacia do Rio Doce

Abaixo segue resultados obtidos no estudo hidromorfométrico da bacia do Rio Doce.

Tabela 14 - Sumário das análises hidromorfológicas da bacia do Rio Doce.

Hidromorfologia da bacia do Rio Doce	Valores Obtidos
Ordem dos canais na bacia	Tabela 1
Relação bifurcação (média)	2,16
Índice de sinuosidade (muito sinuoso)	50,05%
Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem	Tabela 2
Comprimento do canal principal	857,11 km
Equivalente vetorial	430,72 km
Gradiente do canal principal	1252 m
Área da bacia	82646,44 km <sup>2</sup>
Perímetro	1691,48 km
Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia	10,43.10 <sup>-3</sup> km <sup>-1</sup>
Forma da bacia	Triangular: 0,91
Densidade de rios	27,03.10 <sup>-3</sup> (nº de rios.km <sup>-2</sup> )
Comprimento total dos canais	19017,39 km
Densidade de drenagem	0,23 (km.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )
Coefficiente de manutenção	4347,82 (m <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup> )
Coefficiente de massividade	0,06.10 <sup>-4</sup> km <sup>-1</sup>
Coefficiente Orográfico	0,03.10 <sup>-4</sup>
Amplitude altimétrica	2627 m
Relação de relevo	9,13.10 <sup>-3</sup>
Índice de rugosidade	0,60

## 4 - CONCLUSÕES

O Rio Doce drena parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, na região sudeste do Brasil. O principal tributário do Rio Doce é Rio Piranga (247,13 km). Com 610,56 km de extensão, o Rio Doce deságua no Oceano Atlântico.

Quanto à densidade de drenagem a bacia hidrográfica do Rio Doce é considerada mal drenada devido ao seu baixo índice de 0,22 km de canal por km<sup>2</sup> devido a elevada permeabilidade das terras da bacia. Apesar disso, alguns dos municípios localizados às margens dos rios Piranga, Piracicaba e Doce estão incluídos no quadro de alerta contra as cheias da bacia do Rio Doce, sistema de previsão hidrológica desenvolvido pelos órgãos competentes nos estados supracitados.

Neste trabalho, analisou-se toda a linearidade, hipsometria e área de abrangência da bacia hidrográfica do Rio Doce. O estudo detectou que os 82646,44 km<sup>2</sup> da bacia do Rio Doce estão distribuídos em terras cujas altitudes variam de 2627 metros a 0 metro (segundo as imagens SRTM). A amplitude altimétrica da bacia revela que a rápida concentração das águas de chuva no Rio Doce, e de seus afluentes, contribui para a ocorrência de enchentes no local de abrangência da bacia.

Mediante análise e estudo da bacia do Rio Doce conclui-se que esta bacia apresenta considerável variação em sua área, proporcionada pela linearidade da bacia e pelos fatores hipsométricos, Coeficiente de Massividade, Coeficiente Orográfico, Amplitude Altimétrica, Relação de Relevo e Índice de Rugosidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil – empresa pública de pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). *Geomorfologia*. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher. 188 p.
- HORTON, R.E. (1945). “*Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*” in Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, v. 56, pp. 275-370.
- IBGE. (2010). “*Dados do Censo 2010 publicados dia 04/11/2010*”. Disponível em <[http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados\\_do\\_censo2010.php](http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php)> Acesso 03/2011.
- LANA, C.E.; ALVES, J.M. de P.; CASTRO, P. de T.A. (2001). “*Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil*”. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2. Disponível em
-

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 04 mar. 2011. doi: 10.1590/S0370-44672001000200008.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. (2007). *Climatologia – noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de textos, São Paulo, pp. 83-112

STRAHLER, A.N. (1952). “*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*”. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.S.; LEITE, F.P. (2006). “*Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG*”. Rev. Árvore, Viçosa, v. 30, n. 5. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622006000500019&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000500019&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 04 mar. 2011. doi: 10.1590/S0100-67622006000500019.