

## Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES

Jéferson L. Ferrari<sup>1</sup>, Samuel F. da Silva<sup>2</sup>, Alexandre R. Santos<sup>2</sup> & Ricardo F. Garcia<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Setor de Infraestrutura, Rua Principal, Distrito de Rive, CEP 29520-000, Alegre-ES, Brasil. Caixa Postal 47. E-mail: ferrarijuliz@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Agropecuário, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, Guararema, CEP 29500-000, Alegre-ES, Brasil. Caixa Postal 16. E-mail: samuelfd.silva@yahoo.com.br; mundogeomatica@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil. E-mail: garcia@uenf.br

### RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a morfometria da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES, de modo a gerar informações para a compressão da dinâmica ambiental que ocorre neste local. Os parâmetros envolvendo as características geométricas, de relevo e de drenagem, foram determinados a partir de processamentos executados no aplicativo computacional ArcGIS 9.3<sup>®</sup>, tomando-se como base de dados as cartas topográficas digitalizadas do IBGE, na escala de 1:50.000. Os resultados apresentam um banco de variáveis geomorfométricas potencialmente úteis para a elucidação, compreensão e planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos da área de estudo. De forma geral, constatou-se que a sub-bacia possui área de 13,18 km<sup>2</sup> com formato alongado, não sujeita às enchentes, altitude média de 295,89 m e 560 m de amplitude altimétrica, relevo fortemente ondulado com declividade média de 24,58%, padrão de drenagem dendrítico com baixa densidade (1,67 km km<sup>-2</sup>), pequena hierarquia fluvial (3<sup>o</sup> ordem), comprimento do curso d'água principal de 9,93 km, índice de sinuosidade da rede de drenagem (31,14%) classificado como canal divagante, e orientação predominante norte (23,86%).

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, morfometria, manejo de bacias, planejamento ambiental

### *Morphometric analysis of the sub-basin of the stream Horizonte, Alegre, ES, Brazil*

### ABSTRACT

This work was carried out to study the morphology of the sub-basin of the Horizonte stream, Alegre, ES, to generate useful information to compression of the environmental dynamics that occurs at this location. The parameters involving the geometry characteristics of topography and drainage were determined by processing computer application in ArcGIS 9.3<sup>®</sup>, based on data from the IBGE topographic maps digitized on a scale of 1:50,000. The results show a bank geomorphometric variables potentially useful for elucidation, understanding integrated planning and the use and occupation of rural and urban area of study. Overall, it was found that the sub-basin has an area of 13.18 km<sup>2</sup> (stretched format), not subject to flooding, 295.89 average elevation and 560 m of the altimetric amplitude, strongly undulating topography with a slope of 24.58%, dendritic drainage pattern with low density (1.67 km km<sup>-2</sup>), a small river hierarchy (3rd order), length of main river of 9.93 km, sinuosity index of the drainage network (31.14%), classified as rambling and channel, and North predominant orientation (23.86%).

**Key words:** watershed, morphometry, watershed management, environmental planning

## Introdução

A bacia hidrográfica é considerada uma unidade espacial ideal para o planejamento e o gerenciamento integrado dos recursos naturais no meio ambiente por ela definida (Rebouças et al., 2006, Bertoni & Lombardi Neto, 2008). Vale lembrar que a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Esta deferência se baseia principalmente por ser a bacia hidrográfica uma área de captação natural da água da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Carvalho et al., 2006).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2008) a unidade espacial mínima de uma bacia hidrográfica deve ser identificada e delimitada, obedecendo rigidamente à lógica da dinâmica e da conformação da rede fluvial à qual está ligada. Para fins conservacionistas esses autores indicam que uma área variável de 1 a 50 km<sup>2</sup> possibilita um planejamento global dos problemas do meio ambiente dos recursos naturais atingindo as esferas social, política, econômica e educacional.

Um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas e/ou ambientais de bacias hidrográficas, é a sua caracterização morfométrica (Teodoro et al., 2007). Diversos são os trabalhos que têm utilizado a caracterização morfométrica como uma ferramenta auxiliar em estudos geológicos (Ferrari et al., 1998), de deterioração físico conservacionista (Rossi & Pfeifer, 1999; Baracuhy et al., 2003; Pissarra et al., 2004, Dêstro, 2010) e de drenagens fluviais (Alves & Castro, 2003), como indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas (Mosca, 2003), como suporte para a definição e elaboração de indicadores para gestão ambiental (Tonello et al., 2006; Silva et al., 2010), em contribuições à educação ambiental (Bergmann & Pedrozo, 2008) entre outros.

Este trabalho tem o objetivo de caracterizar a morfometria da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, por meio da obtenção e análise das principais características geomorfométricas, de modo a gerar informações potencialmente úteis à compressão da dinâmica ambiental que ocorre neste local.

Salienta-se que esta região é carente de informações desta natureza e que vem passando por pressões antrópicas representadas particularmente pelo desflorestamento (Ferrari et al., 2011), construção de estradas e uso inadequado do solo.

## Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, localizada no município de Alegre, extremo Sul do estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas 41°24'55" e 41°31'50" de longitude Oeste e 20°44'39" e 20°54'30" de latitude Sul (Figura 1).

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo "Cwa", ou seja, tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura média de 23,1° C e precipitação anual média de 1.341 mm. Lima et al. (2008) constataram,

LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO HORIZONTE, ALEGRE, ES

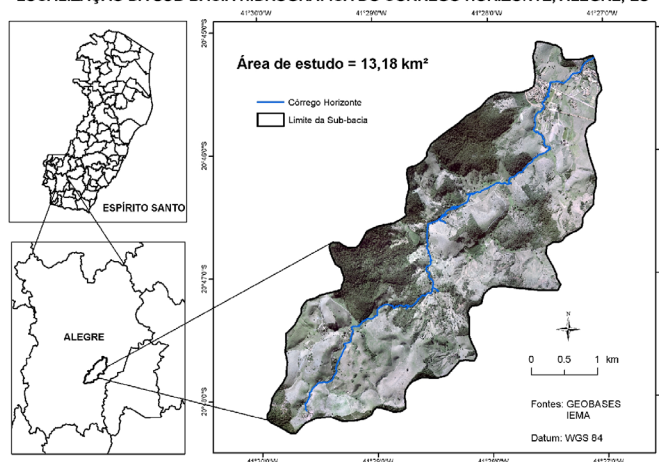


Figura 1. Localização da área de estudo

estudando a variabilidade temporal de uma série histórica de 63 anos de dados de precipitação para o município de Alegre, que existem duas estações bem definidas, seca e chuvosa, com a maior precipitação média de 242,2 mm em dezembro, e o menor valor médio de 26,7 mm em junho.

Os solos da região são representados sobretudo pelos: Latossolo Vermelho Amarelo Álico A moderado, Latossolo Una Álico A moderado, Cambissolo Álico Tb A moderado, com texturas de média a argilosa e relevo variando de fortemente ondulado a montanhoso revestido por floresta subperinifólia (IBGE, 1994).

A análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica foi realizada por meio de processamentos executados no aplicativo computacional ArcGIS 9.3® (Esri, 2008) conforme Santos et al. (2010); na Figura 2 é apresentado um fluxograma representativo das etapas implementadas no trabalho.

Os dados espaciais de referência utilizados foram extraídos das aerofotos digitais na escala 1:35.000, disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA, e das cartas topográficas digitais da região fornecidas pelo IBGE (1994), na escala de 1:50.000, que incluíram as curvas de nível de 20 em 20 m e o limite da bacia, ambos na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 84, Zona 24 K.

Os procedimentos realizados visando alcançar os objetivos propostos foram: geração da base de dados primários, no formato digital, a partir das curvas de nível e pontos cotados presentes nas cartas do IBGE; interpolação dos pontos altimétricos por meio do interpolador *Topo to Raster* e eliminação das distorções ou falhas durante a interpolação, por meio do preenchimento das depressões (comando *Fill* presente no módulo *Hidrology* do aplicativo computacional utilizado) de modo a gerar uma superfície (grade) contínua e hidrológicamente correta (Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Correto - MDEHC) com células (*pixels*) de 10 m de resolução espacial; hierarquização dos cursos d'água e análise morfométrica da bacia.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentadas, respectivamente, as características geométricas, de relevo e de drenagem, utilizadas para descrever a morfologia da bacia.

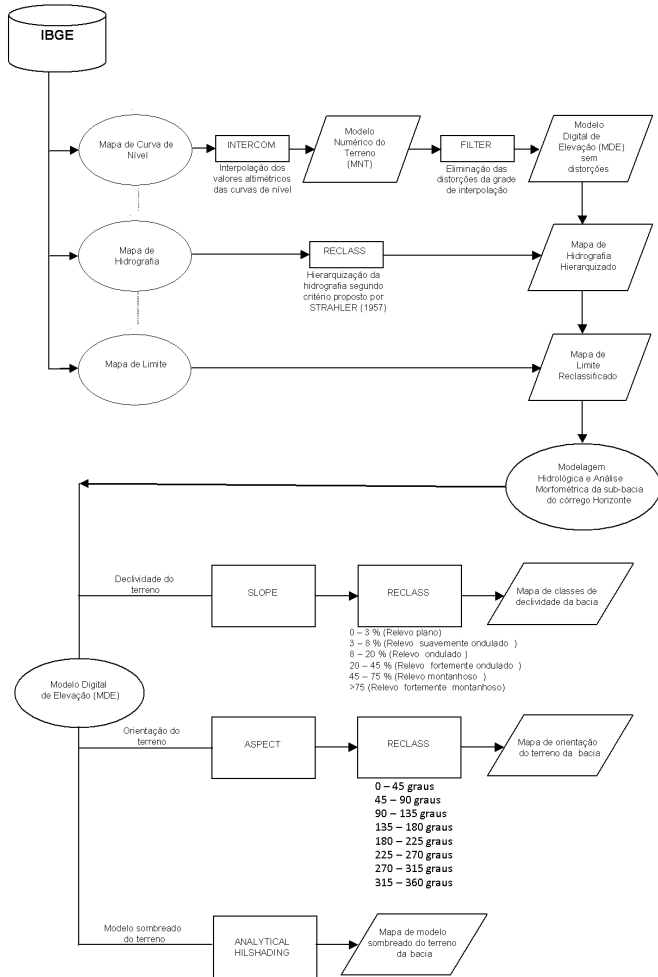


Figura 2. Fluxograma das operações realizadas no aplicativo computacional ArcGIS 9.3® para a análise morfométrica

Tabela 1. Índices e metodologias usadas para o estudo morfométrico da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, quanto às características geométricas

Características geométricas		
Índices	Notações	Metodologias
Área total	A	
Coefficiente de compacidade	$Kc = 0,28x \frac{P}{\sqrt{A}}$	Cardoso et al. (2006)
Comprimento axial	$L_{axial}$	
Fator de forma	$Kf = \frac{A}{L_{axial}^2}$	Mosca (2003)
Índice de circularidade	$Ic = \frac{12,57xA}{P^2}$	Borsato & Martoni (2004)
Perímetro total	P	
Razão de alongação	$Re = 1,128x \left( \frac{A^{0,5}}{L_{axial}} \right)$	Mosca (2003)

A = Área total; Kc = Coeficiente de compacidade; P = Perímetro total;  $L_{axial}$  = Comprimento axial; Kf = Fator de forma; Ic = Índice de circularidade; Re = Razão de alongação

A hierarquização dos cursos d’água foi baseada na classificação proposta por Strahler (1957); de acordo com Tucci (2000) a ordem dos cursos d’água representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia.

O padrão de drenagem diz respeito ao arranjo dos cursos d’água sendo influenciado pela natureza e disposição das

Tabela 2. Índices e metodologias usadas para o estudo morfométrico da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, quanto às características do relevo

Características do relevo		
Índices	Notações	Metodologias
Altitude média	$H_{média}$	
Altitude máxima	$H_{máx.}$	
Altitude mínima	$H_{mín.}$	
Declividade média	$I_{média}$	Santos et al. (2010)
Declividade máxima	$I_{máx.}$	
Declividade mínima	$I_{mín.}$	
Orientação predominante	Op	
Razão do relevo	$Rr = \frac{\Delta_{altimétrica}}{L_{axial}}$	Rossi & Pfeifer (1999)

$H_{média}$  = Altitude média;  $H_{máx.}$  = Altitude máxima;  $H_{mín.}$  = Altitude mínima;  $I_{média}$  = Declividade média;  $I_{máx.}$  = Declividade máxima;  $I_{mín.}$  = Declividade mínima; Op = Orientação predominante; Rr = Razão do relevo;  $\Delta_{altimétrica}$  = Amplitude altimétrica;  $L_{axial}$  = Comprimento axial

camadas rochosas, pela geomorfologia da região e pelas diferenças de declive; referidos padrões podem ser: dendrítico, em treliça, retangular, paralelo, radial ou anelar.

A declividade do terreno é definida como a variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa; as classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela Embrapa (1979) utilizando-se a técnica de reclassificação disponível na extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 9.3®.

O cálculo da orientação do terreno, que corresponde à direção geral para qual a declividade da bacia está exposta, foi realizado utilizando-se, como tema de entrada, o modelo digital de elevação (MDE), sendo que a grade de orientação do terreno foi reclassificada em oito classes (Santos, 2010), a saber: N – NE (0° – 45°), NE – E (45° - 90°), E – SE (90° - 135°), SE – S (135° - 180°), S – SW (180° - 225°), SW – W (225° - 270°), W – NW (270° - 315°), NW – N (315° - 360°).

O relevo também foi representado por meio de um mapa do sombreado ou iluminação da topografia. No presente trabalho essa representação do terreno foi obtida utilizando-se o comando *Hillshade* presente no menu do *Spatial Analyst*, *Surface Analysis*, com um ângulo azimutal de 315° e ângulo de elevação do Sol de 45°.

## Resultados e Discussão

Os mapas de curvas de nível, do modelo digital de elevação, de declividade, da hierarquização dos cursos d’água, da exposição do terreno e o modelo sombreado da sub-bacia hidrográfica do córrego horizonte, são mostrados, respectivamente, nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

Associando as informações desses mapas com os resultados dos parâmetros morfométricos obtidos (Tabela 4) pode-se dizer que, inicialmente, a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte pode ser classificada como uma unidade espacial pequena visto que sua área de drenagem e o perímetro foram de 13,18 km<sup>2</sup> e 19,72 km, respectivamente, constituindo-se numa boa unidade espacial para se estudar o comportamento hidrológico e realizar o planejamento integrado do manejo de seus recursos naturais (Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

Outro fato importante, de acordo com Villela & Mattos (1975), é a relação expressiva do formato da sub-bacia hidrográfica com o comportamento do escoamento superficial.

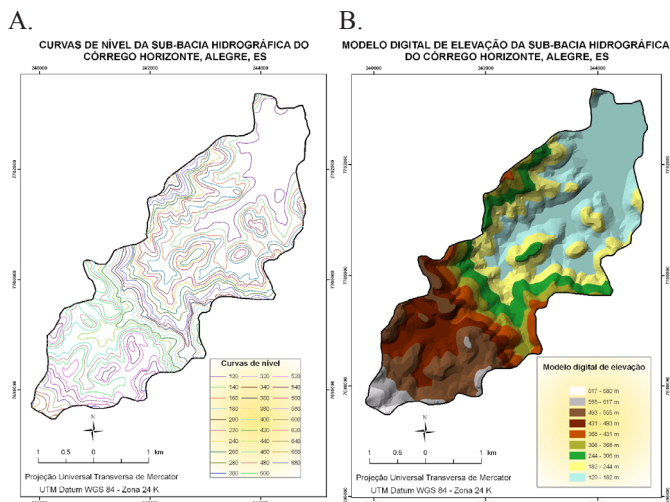
**Tabela 3.** Índices e metodologias usadas para o estudo morfométrico da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, quanto às características da rede de drenagem

Características da rede drenagem		
Índices	Notações	Metodologias
Coefficiente de rugosidade	$C_r = I_{média} \times D_d$	Baracuhy et al. (2003)
Comprimento do curso d'água principal	$L_p$	
Comprimento total dos cursos d'água	$L_t$	
Declividade do curso d'água principal entre a foz e a nascente	$S1 = \frac{(Cota_{máx.} - Cota_{mín.})}{L_p}$	Cecílio & Reis (2006)
Declividade de equivalência entre áreas	$S2 = \frac{(Cota_{mín.} + h)}{L_p}$	Cecílio & Reis (2006)
Declividade a partir do tempo de percurso	$S3 = \frac{\sum L_{inclinado}}{\sum \left( \frac{L_{inclinado}}{\sqrt{D_{trecho}}} \right)}$	Cecílio & Reis (2006)
Densidade de confluência	$D_c = \frac{N_{confluências}}{A}$	Cecílio & Reis (2006)
Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_t}{A}$	Cardoso et al. (2006)
Densidade hidrográfica	$D_h = \frac{N_{cursos}}{A}$	Borsato & Martoni (2004)
Densidade de nascentes	$D_n = \frac{N_{nascentes}}{A}$	Cecílio & Reis (2006)
Extensão média do escoamento superficial	$I = \frac{A}{4L_t}$	Cecílio & Reis (2006)
Índice de sinuosidade do curso d'água	$I_{sin} = \frac{100(L_p - L_{talvegue})}{L_p}$	Santa Catarina (1997)
Índice de rugosidade	$H_d = \Delta_{altimétrica} \times D_d$	Bertol et al. (2007)
Ordem dos cursos de água	Ord	Strahler (1957)
Padrão de drenagem	Pd	
Sinuosidade do curso d'água	$Sin = \frac{L_p}{L_{talvegue}}$	Alves & Castro (2003)

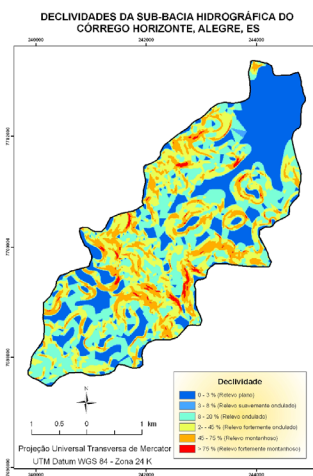
$C_r$  = Coeficiente de rugosidade;  $I_{média}$  = Declividade média;  $D_d$  = Densidade de drenagem;  $L_p$  = Comprimento do curso d'água principal;  $L_t$  = Comprimento total dos cursos d'água;  $S1$  = Declividade do curso d'água principal entre a foz e a nascente;  $Cota_{máx.}$  = Altitude máxima;  $Cota_{mín.}$  = Altitude mínima;  $S2$  = Declividade de equivalência entre áreas;  $h$  = Altura do triângulo  $h = Atx2/b$ , em que  $At$  = Área do triângulo formada entre a declividade do curso com a sua abscissa  $b$ ;  $S3$  = Declividade a partir do tempo de percurso;  $L_{inclinado}$  = Distância medida em linha inclinada;  $D_{trecho}$  = Declividade de cada trecho;  $D_c$  = Densidade de confluência;  $N_{confluências}$  = Número de confluências;  $A$  = Área da bacia;  $D_h$  = Densidade hidrográfica;  $N_{cursos}$  = Número de cursos d'água;  $D_n$  = Densidade de nascentes;  $N_{nascentes}$  = Número de nascentes;  $I$  = Extensão média do escoamento superficial;  $I_{sin}$  = Índice de sinuosidade do curso d'água;  $H_d$  = Índice de rugosidade;  $\Delta_{altimétrica}$  = Amplitude altimétrica;  $Ord$  = Ordem dos cursos de água;  $Pd$  = Padrão de drenagem;  $Sin$  = Sinuosidade do curso d'água;  $L_{talvegue}$  = Comprimento do talvegue

A sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte deve apresentar um tempo de concentração de médio a alto não sendo, portanto, sujeita às enchentes. Segundo Matos et al. (2006) o tempo de concentração se refere ao tempo em que a água, que cai no ponto mais remoto de uma bacia, leva para chegar até a foz. Quanto maior o tempo de concentração menor a vazão máxima de enchente se forem mantidas constantes outras características como solo, vegetação, geologia e hidrologia.

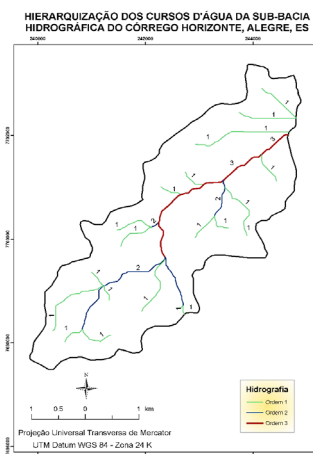
Tal inferência é feita com base nos valores de coeficiente de compacidade (1,52), um pouco acima de 1,50 e o coeficiente



**Figura 3.** Curvas de nível (a) e modelo digital de elevação (b) da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte



**Figura 4.** Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte



**Figura 5.** Hierarquização do sistema de drenagem da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

de forma (0,27), menor que 0,50 (Cardoso et al., 2006); reforçada também pelo índice de circularidade cujo valor é de 0,43, inferior a 0,51 (Borsato & Martoni, 2004).

As altitudes na sub-bacia hidrográfica variaram de 120 a 680 m, apresentando média próxima de 296 m (Tabela 4). Os

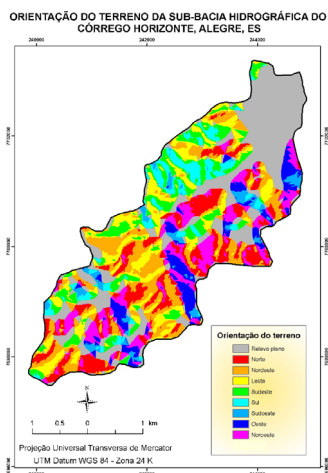


Figura 6. Mapa de orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

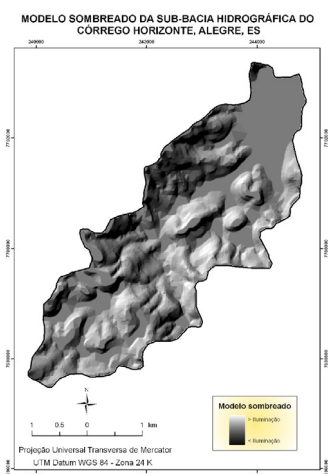


Figura 7. Mapa do modelo sombreado da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

dados da distribuição desta variável morfométrica (Tabela 5 e Figura 3) permitem inferir que a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte exibe duas classes altimétricas destacáveis: uma de 120 a 244 m (41,48 % da área total) e outra de 431 a 555 m (35,20 % da área total).

Quanto à declividade, a sub-bacia possui média de 24,58 %, este valor condizente com o relevo fortemente ondulado, segundo a classificação da Embrapa (1979); no entanto, vale destacar que próximo das cabeceiras as áreas de declividade alcançam valores compatíveis com relevo montanhoso (14,34 %) a fortemente montanhoso (1,29 %), como se verifica na Figura 4 e na Tabela 6.

O conhecimento da declividade numa bacia hidrográfica é de fundamental importância não apenas para com o cumprimento da legislação ambiental mas também como forma de racionalizar o manejo e a gestão dos recursos hídricos (Tonello et al., 2006). De modo geral, quanto maior a inclinação do terreno maior a velocidade de escoamento superficial, menor o tempo de concentração e menor a quantidade de água armazenada, o que amplia as perspectivas de enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação (Guariz, 2008).

A densidade de drenagem obtida foi de 1,67 km km<sup>-2</sup>. De acordo com Villela & Mattos (1975) este índice pode variar

Tabela 4. Resultados da análise morfométrica sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

Características geométricas	
Área total (A)	13,18 km <sup>2</sup>
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,52
Comprimento axial (L <sub>axial</sub> )	7,02 km
Fator de forma (Kf)	0,27
Índice de circularidade (Ic)	0,43
Perímetro total (P)	19,72 km
Razão de alongação (Ke)	0,58
Características do relevo	
Altitude média (H <sub>média</sub> )	295,89 m
Altitude máxima (H <sub>máx.</sub> )	680,00 m
Altitude mínima (H <sub>mín.</sub> )	120,00 m
Declividade média (I <sub>média</sub> )	24,58%
Declividade máxima (I <sub>máx.</sub> )	166,29%
Declividade mínima (I <sub>mín.</sub> )	0,00%
Orientação predominante (Op)	Norte (13,71%)
Razão do relevo (Rr)	0,08
Características da rede de drenagem	
Coefficiente de rugosidade (Cr)	77,15
Comprimento do curso d'água principal (Lp)	9,93 km
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	22,04 km
Declividade do curso d'água entre a foz e a nascente (S1)	0,046 m m <sup>-1</sup>
Declividade de equivalência entre áreas (S2)	0,081 m m <sup>-1</sup>
Declividade a partir do tempo de percurso (S3)	0,085 m m <sup>-1</sup>
Densidade de confluência (Dc)	1,29 conf. km <sup>-1</sup>
Densidade de drenagem (Dd)	1,67 km km <sup>-2</sup>
Densidade hidrográfica (Dh)	2,35 cursos km <sup>-2</sup>
Densidade de nascentes (Dn)	1,44 nascentes km <sup>-2</sup>
Extensão média do escoamento superficial (I)	0,15 km
Índice de sinuosidade do curso d'água (Isin)	31,14%
Índice de rugosidade (Hr)	0,94
Ordem dos cursos de água (Ord)	3
Padrão de drenagem (Pd)	Dendrítico
Sinuosidade do curso d'água (Sin)	1,45

Tabela 5. Distribuição das altitudes na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

Altitudes, m	Nº Células (Pixels de 10 m)	Área, km <sup>2</sup>	Área, %
617 - 680	2.348	0,23	1,78
555 - 617	3.703	0,37	2,81
493 - 555	17.908	1,79	13,59
431 - 493	14.856	1,49	11,27
368 - 431	13.625	1,36	10,34
306 - 368	7.963	0,80	6,04
244 - 306	16.730	1,67	12,69
182 - 244	21.188	2,12	16,08
120 - 182	33.476	3,35	25,40
<b>Total</b>	<b>131.797</b>	<b>13,18</b>	<b>100,00</b>

de 0,5 km km<sup>-2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas indicando por tal índice, que a sub-bacia em estudo apresenta capacidade regular de drenagem.

O sistema de drenagem, de acordo com a hierarquia de Strahler, apresentou grau três de ramificação (Tabela 5 e Figura 5). Ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas. Quanto mais ramificada for a rede mais eficiente será o sistema de drenagem (Strahler, 1957, Bertoni & Lombardi Neto, 2008).

Percebeu-se que a ausência de cotas altimétricas junto ao exutório da sub-bacia, por limitação da equidistância vertical das cartas topográficas utilizadas (20 m), fez com que a foz delimitada automaticamente não coincidissem com sua localização original.

**Tabela 6.** Distribuição das classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

Relevo	Declividade, %	Nº Células (Pixels de 10 m)	Área, km <sup>2</sup>	Área, %
Plano	0 – 3	35.507	3,55	26,93
Suavemente ondulado	3 – 8	2.649	0,27	2,05
Ondulado	8 – 20	37.821	3,78	28,68
Fortemente ondulado	20 – 45	35.236	3,52	26,71
Montanhoso	45 – 75	18.928	1,89	14,34
Fortemente montanhoso	> 75	1.656	0,17	1,29
<b>Total</b>		<b>131.797</b>	<b>13,18</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 7.** Memória do cálculo da declividade equivalente constante do córrego do Horizonte

Cotas m	Extensão (Li), m	Extensão (Li), km	Extensão acumulada, km	Declividade do trecho (Di), m m <sup>-1</sup>	$\sqrt{Di}$ Si	Lreal (Li), km	Li Si <sup>-1</sup>
120	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-
130	3567,35	3,57	3,57	0,0028	0,05	3,57	67,38
160	556,23	0,56	4,13	0,0539	0,23	0,56	2,40
180	696,30	0,70	4,83	0,0029	0,05	0,70	12,99
220	300,07	0,30	5,13	0,1333	0,37	0,30	0,82
340	482,42	0,48	5,61	0,2487	0,50	0,48	0,97
420	381,83	0,38	5,99	0,2095	0,46	0,38	0,83
430	323,12	0,32	6,31	0,0309	0,18	0,32	1,84
440	546,21	0,55	6,86	0,0183	0,14	0,55	4,04
460	461,91	0,46	7,32	0,0433	0,21	0,46	2,22
480	258,97	0,26	7,58	0,0772	0,28	0,26	0,93
510	144,89	0,14	7,72	0,2071	0,46	0,14	0,32
550	352,68	0,35	8,07	0,1134	0,34	0,35	1,05
580	111,18	0,11	8,18	0,2698	0,52	0,11	0,21
<b>Total</b>	<b>8.183,16</b>	<b>8,18</b>				<b>8,18</b>	<b>95,99</b>

$$S3 = \frac{8,18}{95,99} = 0,0852 \text{ m m}^{-1}$$

**Tabela 8.** Distribuição das áreas em função da exposição do terreno da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte

Orientação	Classes em azimuth, graus	Nº Células (Pixels de 10 m)	Área, km <sup>2</sup>	Área, %
Relevo plano	0	8.561	0,86	6,50
Norte	0 – 45 (N – NE)	31.453	3,15	23,86
Nordeste	45 – 90 (NE – E)	25.096	2,51	19,04
Leste	90 – 135 (E – SE)	23.275	2,33	17,66
Sudeste	135 – 180 (SE – S)	9.321	0,93	7,07
Sul	180 – 225 (S – SW)	5.239	0,52	3,98
Sudoeste	225 – 270 (SW – W)	7.868	0,79	5,97
Oeste	270 – 315 (W – NW)	9.878	0,99	7,49
Noroeste	315 – 360 (NW – N)	11.106	1,11	8,43
<b>Total</b>		<b>131.797</b>	<b>13,18</b>	<b>100,00</b>

O índice de sinuosidade (I sin) da rede de drenagem apresentou o valor de 31,14% sendo classificado, por Santa Catarina (1997), como canal divagante, ou seja, classe intermediária entre as classes de canal reto a sinuoso, com percentagens de 30 a 40%.

O cálculo das declividades do curso d'água principal (9,93 km) resultou nos valores de 0,046 m m<sup>-1</sup>; 0,081 m m<sup>-1</sup> e 0,085 m m<sup>-1</sup> para S1, S2 e S3 (Tabela 4), respectivamente; desses, sem o caráter excludente, o índice que melhor representa a declividade do curso d'água principal do ponto de vista hidráulico, segundo Cecilio & Reis (2006), é a chamada declividade a partir do tempo de percurso (S3). Este índice leva em consideração o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal considerando como se este perfil tivesse uma declividade constante igual a uma declividade equivalente

Verificou-se, também, que o curso d'água apresenta valores diferenciados e distanciados de declividade ao longo de seu percurso (Tabela 7), informação de grande utilidade para diversos estudos hidrológicos como a detecção e o monitoramento assoreamento, provocados por alterações no perfil transversal do álveo (Villela & Mattos, 1975; Tucci, 1993).

Na Figura 6 e na Tabela 8 observa-se a orientação dos terrenos da bacia em valores agrupados de acordo com as oito direções cardinais. Nota-se que a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte apresenta predominância de faces do terreno, voltadas para o Norte (23,86%), sendo seguido das faces Nordeste, com 19,04% e Leste com 17,66%.

Esses resultados de orientação predominante da sub-bacia hidrográfica para o Norte, concordam com Lima & Zaika (2006) quando dizem que a bacia de orientação norte drena para o Norte, fato evidenciado *in loco*. Além disto e de acordo com Tonello et al. (2006) as bacias com orientação norte no Hemisfério Sul recebem maior quantidade de calor que as de orientação Sul; por este critério a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte deve apresentar maiores taxas de evapotranspiração.

Finalmente, nota-se, por meio da Figura 7, a simulação do nível de luz ou sombra refletida pelo relevo ao ser iluminado pelo sol.

Observa-se, sob um ângulo azimutal de 315° e ângulo de elevação do Sol de 45°, que as áreas de maior declividade, tal como pode ser comprovado na retroanálise da Figura 4, se encontram expostas ao sol refletindo mais a luz, sendo muito

visíveis porém aquelas áreas que se encontram nas encostas não iluminadas diretamente pelo sol, não refletiram luz e apareceram escuras no modelo.

## Conclusões

As variáveis geomorfométricas são potencialmente úteis para a elucidação, compreensão e planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos da área de estudo. A análise dos dados e a interpretação dos resultados permitiram concluir que a sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, apresenta, no geral, área de 13,18 km<sup>2</sup> com formato alongado, não sujeita às enchentes, altitude média de 295,89 m e 560 m de amplitude altimétrica, relevo fortemente ondulado com declividade média de 24,58 %, padrão de drenagem dendrítico com baixa densidade (1,67 km km<sup>-2</sup>), pequena hierarquia fluvial (3º ordem), comprimento do curso d'água principal de 9,93 km, índice de sinuosidade da rede de drenagem (31,14%), classificado como canal divagante e orientação predominante norte (23,86 %).

## Literatura Citada

- Alves, J. M. P.; Castro, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v.33, n.2, p.117-127, 2003. <[http://sbgeo.org.br/pub\\_sbg/rbg/vol33\\_down/3302/1239.pdf](http://sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol33_down/3302/1239.pdf)>. 05 Out. 2012.
- Baracuh, J. G. de; Kurtz, S. M. de J. M.; Kurtz, F. C.; Duarte, S. M. A. Lima, V. L. A. de; Rocha, J. S. M. da; Neto, J. D. Deterioração físico conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.159-164, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000100026>>. 05 Out. 2012.
- Bergmann, M.; Pedrozo, C. S. Explorando a bacia hidrográfica na escola: contribuições à educação ambiental. *Ciência & Educação*, v.14, n.3, p.537-553, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132008000300011>>. 05 Out. 2012.
- Bertol, I.; González, A. P.; Vázquez, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n.1, p.103-110, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100014>>. 05 Out. 2012.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.
- Borsato, F. H.; Martoni, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v.26, n.2, p.273-285, 2004. <<http://dx.doi.org/10.4025/actascihumansoc.v26i2.1391>>. 05 Out. 2012.
- Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, V. M. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v.30, n.2, p.241-248, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>>. 05 Out. 2012.
- Carvalho, J. C.; Sales, M. M.; Souza, N. M.; Melo, M. T. S. Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. 1. ed. Brasília, DF: FINATEC, 2006. 464p.
- Cecílio, R. A.; Reis, E. F. dos. Apostila didática: Manejo de bacias hidrográficas. Alegre: Universidade Federal do Espírito Santo – UFES/CCA-UFES, 2006. 10p. <<http://blog.fimes.edu.br/gildomar/files/2010/04/18028090-manejo-de-bacias-hidrograficas1.pdf>>. 05 Out. 2012.
- Déstro, G. F. G. Diagnóstico físico-conservacionista no estudo dos conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.4, p.525-534, 2010. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i4a630>>. 05 Out. 2012.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS, Série Miscelânea 1).
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). ArcGIS Professional GIS for the desktop, versão 9.3®, 2008. CD Rom.
- Ferrari, J. A.; Hiruma, S. T.; Karmann, I. Caracterização morfométrica de uma superfície cárstica do Vale do Ribeira, São Paulo (Núcleo Caboclos – PETAR). *Revista do Instituto Geológico*, v.19, n.1-2, p.9-17, 1998. <[http://turmalina.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-929X1998000100002&lng=es&nrm=iso](http://turmalina.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-929X1998000100002&lng=es&nrm=iso)>. 05 Out. 2012.
- Ferrari, J. L.; Santos, A. R. dos; Garcia, R. F. Análise da vegetação por meio da subtração de imagem ndvi na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre, ES. *Engenharia Ambiental*, v.8, n.3, p.30-57, 2011. <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=578>>. 05 Out. 2012.
- Guariz, H. R. Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do córrego Jaqueira-Alegre, ES. Alegre-ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 153p. Dissertação Mestrado.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Mapa exploratório de solos do Projeto Radambrasil, IBGE. Rio de Janeiro, Escala 1:250000, Folha Cachoeiro, SF 24-V-A. Brasília: Radambrasil/IBGE, 1994.
- Lima, J. S. S.; Silva, S. A.; Oliveira, R. B.; Cecílio, R. A.; Xavier, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre-ES. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.2, p.327-332, 2008. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/67/63>>. 05 Out. 2012.
- Lima, W. P.; Zaika, M. J. B. As Florestas Plantadas e a Água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos-SP: RiMa, 2006. 218 p.
- Matos, A. T. de; Silva, D. D. da; Pruski, F. F. Barragens de terra de pequeno porte. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 124p.
- Mosca, A. A. O. Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. Piracicaba-SP: Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003. 88p. Dissertação Mestrado.
- Pissarra, T. C. T.; Politano, W.; Ferraud, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal - SP. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28, n.2, p.297-305, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200008>>. 05 Out. 2012.

- Rebouças, A. da C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.
- Rossi, M.; Pfeifer, R. M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). *Bragantia*, v.58, n.1, p.141-156, 1999. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051999000100014>>. 05 Out. 2012.
- Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá: zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. v.3. Análise das características físicas. Florianópolis-SC: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura, 1997. 62p.
- Santos, A. R. dos; Louzada, F. L. R. de O.; Eugenio, F. C. ArcGIS 9.3® total: Aplicações para dados espaciais. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184p.
- Silva, L.; Lima, E. R. V.; Almeida, H. A. Filho, J. F. C. Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n.3, p.112-122, 2010. <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/80/117>>. 05 Out. 2012.
- Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, v.38, n.6, p.913-920, 1957.
- Teodoro, V. L. I.; Texeira, 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, p. 137-156, 2007. <[http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20\\_11.pdf](http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf)>. 05 Out. 2012.
- Tonello, K. C.; Dias, H. C. T.; Souza, A. L. DE; Ribeiro, C. A. A. S. R.; Leite, F. P. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. *Revista Árvore*, v.5, n.30, p.849-857, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>>. 05 Out. 2012.
- Tucci, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS/EDUSP/ABRH, 1993. 943p.
- Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1975, 247p.