

# CONTRIBUIÇÃO DA MORFOMETRIA PARA O ESTUDO DAS INUNDAÇÕES NA SUB-BACIA DO RIO LUÍS ALVES/SC

*contribution of morphometry to flood studies in the Luís Alves Basin/SC, Brazil*

Ana Carolina Vicenzi Franco \*

Mariane Alves Dal Santo \*\*

## Resumo

As inundações em bacias hidrográficas podem ser condicionadas por fatores naturais e/ou antrópicos. Uma vez que os parâmetros morfométricos são respostas ao regime hidrológico e expressam condições geológico-geomorfológicas das bacias hidrográficas, a morfometria se apresenta como metodologia útil na investigação da suscetibilidade ao desenvolvimento de inundações, especialmente quando dados hidrológicos não estão disponíveis. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados disponíveis nas bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), escala 1:50.000 e imagem CBERS (2010). Tributário do rio Itajaí-Açu, o rio Luís Alves apresenta 6ª ordem de grandeza na hierarquia fluvial de Strahler, drenando uma área de 582,00 Km<sup>2</sup> situada sob um regime de precipitação anual de 1800 mm. Os índices morfométricos que indicam suscetibilidade à inundações são a área da bacia, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, relação de bifurcação, textura topográfica, frequência de canais de 1ª ordem, comprimento médio dos canais de primeira ordem e hierarquia fluvial. Os parâmetros índice de circularidade, coeficiente de compactidade, fator de forma e índice de forma – importantes na determinação da suscetibilidade à inundações – apontaram tendência mediana em relação às inundações.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica; Inundação; Desastre; Morfometria; Luís Alves.

## Abstract

Floods in watersheds can be caused by natural and/or anthropogenic factors. Since morphometric parameters are responses to hydrologic regime and express geological-geomorphological conditions, the morphometric methodology is useful in the investigation of the possibility of floods development, especially when hydrological data is not available. To develop this study data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE were used on 1:50.000 scale, and CBERS image (2010). The Luís Alves River is confluent of Itajaí River and presents 6th grade of magnitude on Strahler's Stream Order, draining an area of 582.00 km<sup>2</sup> and it is situated under a 1800 mm regime of annual precipitation. The morphometric parameters that indicate susceptibility to flooding are the basin area, drainage density, hydrographic density, bifurcation ratio, topographic texture, 1st order stream frequency, average length of first-order channels and stream order. The parameters circularity indexes, compactness coefficient, form factor and shape index, important in determining susceptibility to flooding pointed middle tendency in relation to flooding.

**Key words:** Watershed, Flood; Disaster; Morphometry; Luís Alves.

## Resumen

Las inundaciones en cuencas hidrográficas pueden estar condicionadas por factores naturales y/o antropogénicos. Puesto que los parámetros de morfometría son respuestas al régimen hidrológico y expresan las condiciones geológicas y geomorfológicas de la cuenca, la morfometría se presenta como una metodología de provecho en la investigación de la susceptibilidad a la evolución de inundaciones, en especial cuando los datos hidrológicos no están disponibles. Para desarrollar el estudio se utilizaron los datos cartográficos disponibles del Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística (IBGE), escala 1:50,000 e imagen CBERS (2010). Tributario del río Itajaí-Açu, el río Luís Alves presenta magnitud 6 en la jerarquía de Strahler, drena un área de 582,00 km<sup>2</sup> situado bajo un régimen de precipitación anual de 1800 mm. Los índices de morfometría que indican susceptibilidad a las inundaciones son el área de la cuenca, densidad de drenaje, densidad hidrográfica, relación de bifurcación, textura topográfica, la frecuencia de los canales de primer orden, la longitud media de los canales de primer orden y la jerarquía fluvial. Los parámetros índice de circularidad, coeficiente de compactidad, factor de forma e índice de forma – importantes en la determinación de la susceptibilidad a las inundaciones – indicaron tendencia mediana en relación a las inundaciones.

**Palabras clave:** Cuenca hidrográfica; Inundación; Desastre; Morfometría; Luís Alves.

(\*) Prof<sup>a</sup>. Msc da Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Educação Superior da Região Sul - Rua Coronel Fernandes Martins, 270, CEP: 88790000 - Laguna (SC), Brasil. Tel: (+5548) 36474190 - anavfranco@yahoo.com.br

(\*\*) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. da Universidade do Estado de Santa Catarina - Avenida Madre Benvenuta, 2007, CEP: 88035001 - Florianópolis (SC), Brasil. Tel: (+55 48) 33218542 - marianedalsanto@udesc.br

## INTRODUÇÃO

As inundações, também chamadas cheias ou enchentes, são um problema conhecido da Humanidade há milhares de anos, e já no mundo antigo os egípcios aprenderam a monitorar e se beneficiar das cheias do rio Nilo (GILLINGS, 2010). Segundo o CEPED (2012) os registros históricos de desastres naturais no Brasil indicam as estiagens/secas e inundações bruscas/alagamentos como as tipologias mais comuns no país. As inundações bruscas e alagamentos aparecem em segundo lugar como tipologias mais recorrentes, totalizando 21% dos desastres registrados no país nas duas últimas décadas. As inundações graduais correspondem a 12% do total de desastres registrados no período mencionado, figurando em terceiro lugar.

A maioria das cidades brasileiras enfrenta problemas relacionados às enchentes e inundações, principalmente aquelas que apresentam núcleos habitacionais de baixa renda ocupando as várzeas dos rios (IPT, 2007). Do total de 70 municípios brasileiros com maior número de ocorrências entre 1991 – 2010, 34 (ou seja, em torno de 48% do total) estão situados em Santa Catarina, sendo que os sete primeiros são catarinenses (Chapecó, Canoinhas, Tangará, Concórdia, Seara, Abelardo Luz e Itá) (CEPED, 2012).

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2007) e Castro (2002), a inundação é o fenômeno que ocorre quando a vazão supera a capacidade de descarga do rio, extravasando para as áreas marginais – e que segundo Castro (2002) é decorrente de drenagem deficiente. Esse conceito deve ser diferenciado de enchente, que, para os autores se caracteriza pela elevação do nível da água de um rio em razão do aumento de sua vazão. Entre os fatores naturais que contribuem para o desenvolvimento ou intensificação das inundações estão àqueles relacionados com a topografia da bacia de drenagem, como o gradiente da encosta, o tipo de rede fluvial, o tamanho e forma da bacia, regime pluviométrico, além da geologia local, tipos de solos e cobertura vegetal (DÍEZ-HERRERO et al., 2009). Os fatores de origem antrópica se caracterizam por intervenções diretas ou indiretas da atividade humana sobre a bacia hidrográfica, caracterizando-se por modificações na rede de drenagem, no uso e ocupação de áreas marginais aos rios, alterações da dinâmica sedimentar da bacia e balanço sedimentar costeiro (SOUZA, 2005).

Os eventos de inundação se fazem presentes na bacia do rio Itajaí desde os primeiros anos da colonização europeia, no século XIX (FRAGA & KÖHLER, 1999), e possivelmente já eram recorrentes antes deste período, em função das características geológico-geomorfológicas e climáticas da bacia. O primeiro registro de inundação no Vale data de 1848 e é de autoria do Dr. Hermann Blumenau, sendo encontrados na literatura outros relatos e descrições de eventos que ocorreram nos anos seguintes (SANTOS, 2010). Desde então foram registrados 68 eventos em Blumenau entre 1850 e 2002. De acordo com dados de Frank (2003), a frequência das enchentes situa-se em torno de uma cheia a cada 2,5 anos.

A primeira inundação registrada no município de Luís Alves data de 1880, quando 25 pessoas morreram. Com o pouco apoio governamental após o evento, muitas pessoas abandonaram a colônia. Eventos desse tipo são recorrentes no município. Somente entre 1983 e 2001 foram registrados, por meio de Formulários de Avaliação de Danos (AVADAN), oito eventos de inundação em Luís Alves (ver Quadro 1), sendo seis eventos de inundação gradual e dois de inundação brusca (HERMANN, 2005), o que resulta numa média de um evento para cada 2,25 anos.

Em 2008, um anticiclone permaneceu estacionário sobre o oceano na região sul do Brasil, levando a formação de nuvens convectivas que resultaram em um evento de precipitação extrema nos dias 22 e 23 de novembro. De acordo com dados da Estação Pluviométrica de Blumenau, o ano de 2008 apresentou precipitação próxima ou abaixo da média em sete dos doze meses. Entretanto, em Outubro e Novembro o volume de chuvas foi maior que o dobro da média, alcançando em Novembro valores próximos a 1000 mm, ou cerca de metade da precipitação anual total (SEVERO, 2009). Em Blumenau foram registrados 500 mm em apenas dois dias (MATTEDI et al., 2009). Choveu todos os dias entre 18 e 29 de Novembro, provocando inundações e enxurradas e



contribuindo para o encharcamento dos solos, que desencadearam movimentos de massa em diversos locais do estado, levando 14 municípios a decretarem estado de calamidade pública e 63 a decretarem situação de emergência.

Quadro 1 - Ocorrência de inundação no município de Luís Alves. Fonte: Adaptado de Hermann (2005)

AnO	Inundação gradual				Inundação brusca			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno
1983	x		x					
1984				x				
1985					x			
1987		x						
1989		x						
1998		x						
2001								x

Em todo o estado foram contabilizados 135 mortos, 78.656 desabrigados e desalojados e 1,5 milhão de pessoas afetadas. Na bacia do Itajaí, as regiões do médio e baixo vale foram as mais afetadas (MATTEDI et. al., 2009), justamente onde está situado o complexo do Morro do Baú, entre os municípios de Ilhota, Gaspar e Luís Alves. Segundo Sevegnani et al. (2009: 115):

Em Luís Alves, no Baú (em Ilhota) e no Arraial (em Gaspar) as operações de resgate tiveram semelhança às executadas numa guerra, pois famílias inteiras tiveram que ser localizadas, retiradas e levadas aos abrigos pelos helicópteros, pois toda a região estava em risco máximo de escorregamento e os moradores impedidos de voltar aos seus lares ou as suas localidades durante semanas.

O Formulário de Avaliação de Danos (AVADAN) realizado pelo município de Luís Alves em 2008 descreve 100% da população do município afetada, 3.232 pessoas desalojadas, 239 desabrigadas, 4 feridas e 10 mortas. Entre as perdas materiais são citadas duas unidades de saúde, uma escola, 40 km de estradas danificadas, além de perdas na produção agropecuária do município (SEVEGNANI et al., 2009). De acordo com sítio eletrônico da Defesa Civil de Santa Catarina, o município ficou durante uma semana privado de energia elétrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Luís Alves está situada na porção Centro-Norte da Vertente Atlântica de Santa Catarina e se constitui numa das sub-bacias do rio Itajaí (Figura 1). Possui área total de 582,00 Km<sup>2</sup>, representando 3,85% da área total da bacia do Itajaí. Esta sub-bacia drena o território dos municípios de Luís Alves, São João do Itaperiú, Barra Velha, Piçarras, Ilhota, Navegantes e Massaranduba. A foz do Rio Luís Alves está situada no baixo curso do Rio Itajaí, a aproximadamente 14 km em linha reta da costa. A amplitude altimétrica da sub-bacia é de 825 metros, variando entre 5m até 830m. Apresenta temperatura anual média de 20°C, umidade relativa do ar em torno de 85% e pluviosidade anual de 1.800 mm (SANTOS & RIZZI, 2010).



## LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO LUÍS ALVES

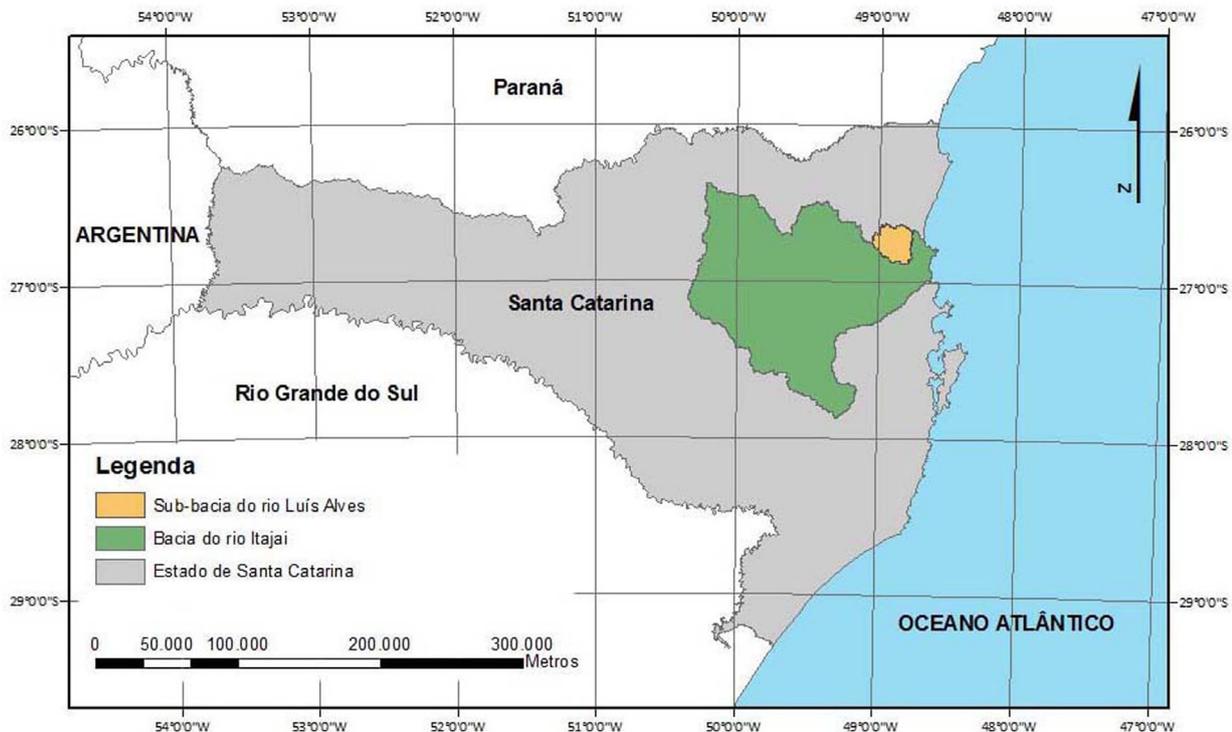


Figura 1 - localização da sub-bacia do rio Luís Alves. Elaboração do autor.

A geologia da Sub-bacia do Rio Luís Alves se apresenta extremamente complexa, ocorrendo litologias ígneas e metamórficas do embasamento cristalino, o chamado Complexo Luís Alves e que datam de aproximadamente 2.7 Ba (Arqueano), além de rochas sedimentares do Grupo Itajaí, e sedimentos recentes, principalmente cascalhos, areias, sedimentos síltico-argilosos, aluvionares e coluvionares, datados do Holoceno (AUMOND, 2006). A Figura 2, elaborada a partir da digitalização e vetorização do Mapa Geológico do Cráton Luís Alves (FORNARI, 2010) ilustra a diversidade de litologias presentes na área da sub-bacia.

Geomorfologicamente a sub-bacia apresenta três compartimentos distintos de relevo (ver Figura 3). As Serras do Leste Catarinense, ocupando em torno de 65% da área total da sub-bacia, ocorrem sobre os terrenos do Cráton Luís Alves. Neste compartimento estão presentes morros de topos convexos, com algumas ocorrências de topos estreitos e alongados, densidade de drenagem média e fina, aprofundamento das incisões de fraco a médio e apresentam predominância de argissolos e cambissolos (IBGE, 2004a; IBGE, 2004b).

Os Morros e Colinas do Médio e Baixo Itajaí-Açú, ocupando 17,96% da área total, desenvolvem-se sobre as rochas do Cinturão Dom Feliciano, ocorrendo morros de topos convexos com densidade de drenagem fina a média e médio aprofundamento das incisões (IBGE, 2004a). Também predominam tipos de solo argissolo e cambissolo. As Planícies e Rampas Colúvio-Aluviais constituem os modelados de acumulação, formadas pelos Sedimentos Quaternários (SANTOS, 2006) totalizando 16,97% da área total da sub-bacia. Compõem este compartimento do relevo os terraços fluviais, as planícies fluviais e os terraços flúvio-lacustres (IBGE, 2004a), ocorrendo solos classificados como gleissolos, neossolos e organossolos (IBGE, 2004b). Algumas destas planícies fluviais são do tipo alveolar, como é o caso da área onde está situada a sede do município de Luís Alves, no Braço Serafim, ou o Ribeirão Máximo.

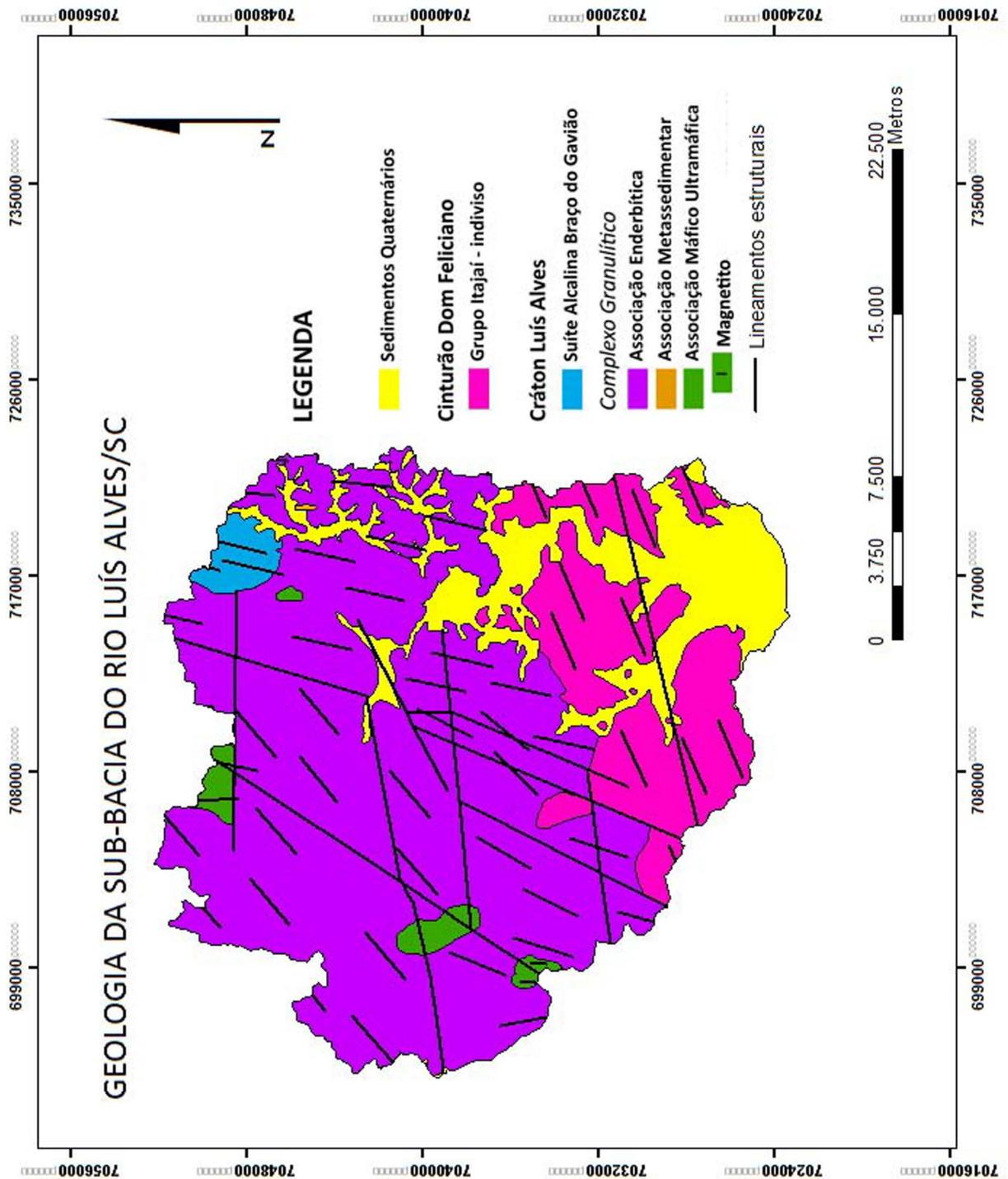


Figura 2 - Mapa Geológico da sub-bacia do rio Luís Alves. Fonte: Adaptado de Fornari (2010).

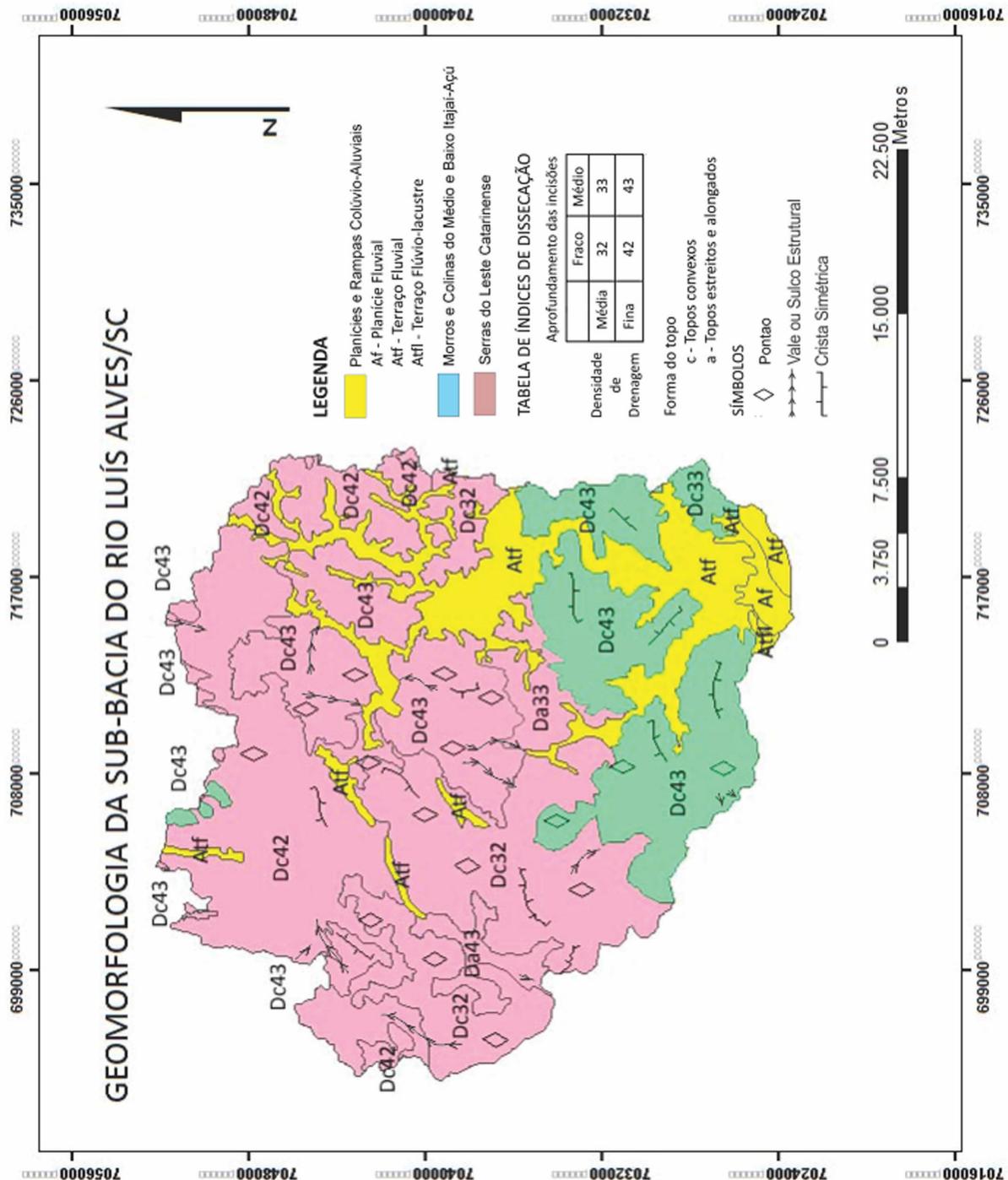


Figura 3 - Mapa Geomorfológico da sub-bacia do Rio Luís Alves. Fonte: Adaptado de IBGE (2004a).

Na Figura 4 observam-se dois perfis transversais na microbacia do Ribeirão Máximo, localizada no município de Luís Alves, assinalados por A – A' (preto) e B – B' (vermelho). Distanto em torno de 1,1 Km, os perfis (Figura 5) comparam o estreitamento da planície alveolar do Ribeirão Máximo, que no referido trecho é da ordem de 400 m. Aproximadamente 1,5 Km a jusante do perfil B – B' a morfologia do vale volta a apresentar forma de "V", fechando a planície. Esta é uma condição geomorfológica que tipicamente propicia o desenvolvimento de inundações.

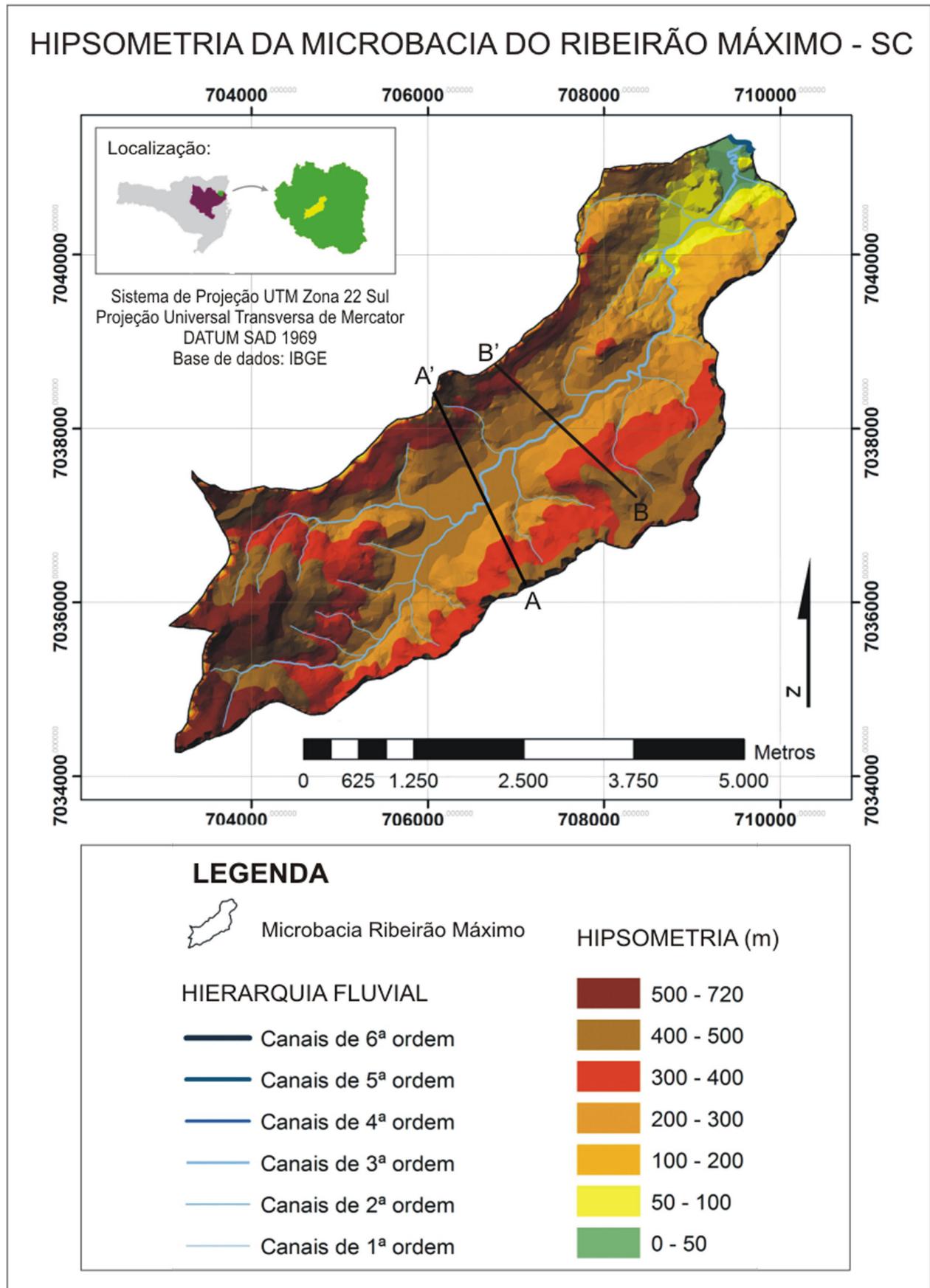


Figura 4 - Hipsometria da microbacia do Ribeirão Máximo/SC. Elaboração do autor.



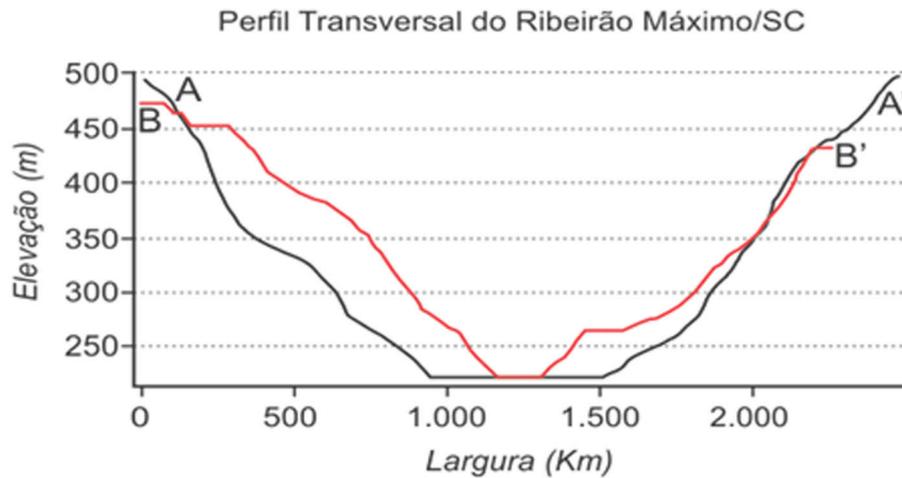


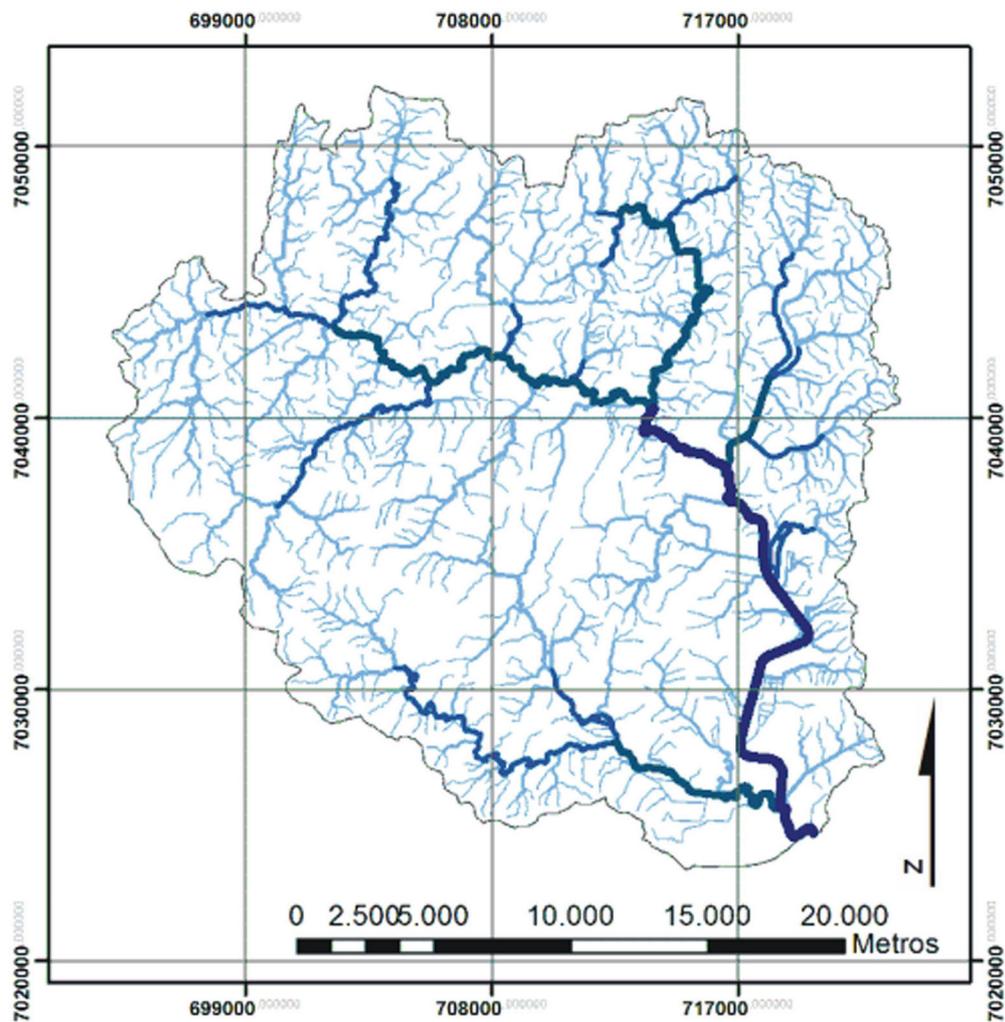
Figura 5 - Perfil transversal do Ribeirão Máximo/SC. Elaboração do autor.

Dois padrões de rede de drenagem são identificados na sub-bacia: dendrítico e retangular. O padrão dendrítico reflete a diversidade de tipos de estruturas, o conjunto de foliações com fraturamento superimposto, sendo encontrado sobre as áreas montanhosas. O padrão retangular é também encontrado sobre áreas montanhosas, apresentando forte controle estrutural em alguns locais e refletindo o padrão de canais fluviais do tipo retilíneo. Nas planícies o padrão de canal fluvial é meandrante. Entretanto, muitas áreas de cultivo tiveram sua drenagem meândrica desfigurada, com a retificação dos cursos d'água para aumento da área produtiva, sendo esse um fator agravante para o desenvolvimento de inundações a jusante do ponto retificado. Além disso, se as margens dos rios não forem adequadamente protegidas, ocorre o solapamento das margens para dentro do curso d'água, diminuindo a capacidade de escoamento do canal, e contribuindo para a formação de inundações.

A Figura 6 apresenta o potencial hidrológico do solo da bacia do Itajaí. Destacado em preto, apresenta-se o contorno da sub-bacia do rio Luís Alves, evidenciando a muito baixa e baixa capacidade de armazenamento nas áreas que correspondem às planícies, e a média capacidade nas áreas montanhosas. Assim, verifica-se que a média capacidade de armazenamento parece corresponder às áreas compreendidas por rochas enderbíticas do Complexo Granulítico Luís Alves, sobre os quais se desenvolvem solos classificados como argissolos e cambissolos. A muito baixa a baixa capacidade está associada ao domínio dos sedimentos de origem aluvial, lacustre e coluvionar, com ocorrência principal de solos dos tipos gleissolo e cambissolo. Essa situação, aliada ao baixo gradiente das planícies fluviais e sob condição de precipitação prolongada implica no rápido encharcamento do solo e escoamento superficial, resultando em inundações.

No que se refere à cobertura florestal, a sub-bacia está situada no domínio da Floresta Ombrófila Densa Montana, sendo que pouco ou quase nada restaram da cobertura original. A maior parte da bacia é ocupada por floresta em regeneração ou atividades agropecuárias e silvicultura (IBGE, 2004c). Vibrans (2003) investigou a evolução da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Itajaí durante o século XX, identificando um incremento nas áreas florestais em regeneração naquela bacia, sendo a mesma tendência identificada para a sub-bacia do rio Luís Alves. Esta informação é positiva do ponto de vista do regime hidrológico, entretanto o autor chama a atenção para a necessidade de investigação sobre o papel da floresta secundária na interceptação, evapotranspiração e infiltração da bacia, uma vez que as áreas hoje em regeneração foram possivelmente exploradas pela agricultura e tiveram, portanto as características do solo modificadas.

## ORDENAMENTO FLUVIAL DA SUB-BACIA DO RIO LUÍS ALVES



### LEGENDA

-  Canais de 1ª ordem
-  Canais de 2ª ordem
-  Canais de 3ª ordem
-  Canais de 4ª ordem
-  Canais de 5ª ordem
-  Canais de 6ª ordem
-  Sub-bacia do rio Luís Alves

### Localização



Sistema de Projeção  
UTM Zona 22 Sul  
Projeção Universal  
Transversa de Mercator  
DATUM SAD 1969  
Base de Dados: IBGE

Figura 6 - Capacidade de armazenamento de água no solo da bacia do rio Itajaí, com destaque para a sub-bacia do rio Luís Alves. Fonte: adaptada de Braun et. al. (2007).



### Morfometria de bacia no estudo das inundações

A morfometria de bacias hidrográficas é uma metodologia útil por caracterizar matematicamente aspectos geométricos das bacias, que por sua vez, possuem implicações sobre a hidrologia das bacias. Assim, pela morfometria é possível identificar determinadas tendências de comportamentos hidrológicos, sendo especialmente útil para aquelas áreas onde há escassez deste tipo de dados. A sub-bacia hidrográfica do rio Luís Alves possui uma estação fluviométrica localizada no município de Luís Alves, sob as coordenadas 26°44'17" S e 49°55'54" W (SCHAEFER-SANTOS, 2003), entretanto os dados aí coletados não são representativos da bacia inteira, por estar localizada em área distante da foz.

De acordo com Souza (2005), diversos autores têm observado correlações entre parâmetros morfométricos de bacias de drenagem e suas características hidrológicas. Assim, a área, a forma, a hipsometria da bacia, o comprimento e a declividade do canal principal têm sido associados como importantes na determinação do tempo de duração do pico de cheia (PATTON, 1988 apud SOUZA, 2005). A área da bacia, a declividade e a densidade da rede de drenagem relacionam-se com a descarga máxima de uma inundação (HORTON, 1945 apud SOUZA, 2005); o comprimento dos canais, a forma da bacia, o gradiente topográfico bem como a litologia e as estruturas têm influência sobre a intensidade do escoamento e descarga (HACK, 1957 apud MORISAWA, 1962 apud SOUZA, 2005).

Para a extração dos dados morfométricos foram utilizadas quatro cartas (Pomerode, Luís Alves, Blumenau e Gaspar) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, escala 1:50.000 vetorizadas e disponibilizadas no sítio eletrônico do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina –CIRAM/EPAGRI (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>). Das cartas foram selecionadas as camadas hidrografia, curvas de nível e pontos cotados, sendo todo o trabalho realizado em meio digital, de forma não automática, com auxílio do software ArcGIS 10.0 (ESRI). A licença para uso do software é do Laboratório de Geoprocessamento/GEOLAB da Universidade do Estado de Santa Catarina/UEDESC. Foram determinados os valores de 16 parâmetros morfométricos, conforme o Quadro 2:

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do Rio Luís Alves apresenta 6ª ordem de grandeza na escala 1:50.000 (ver Figura 7), 582,00 km<sup>2</sup> de área e perímetro igual a 128,01 Km. Apresenta densidade de drenagem de 2,008 Km/Km<sup>2</sup>, caracterizada como alta, e densidade hidrográfica de 1,885 rios/ Km<sup>2</sup>. A relação entre os dois índices ( $D_d > D_h$ ) sugere controle estrutural na bacia.

A relação de bifurcação encontrada para a sub-bacia do rio Luís Alves indica relevo montanhoso, corroborando com o valor de Textura topográfica encontrado para a mesma sub-bacia (43,392), classificando-a como de textura topográfica fina. A maior parte (73,679%) dos canais da sub-bacia são de primeira ordem, entretanto seu comprimento médio é de apenas 0,870 Km, indicando grande área de captação com elevada declividade e pequena extensão a ser percorrida pela água até os canais de ordens superiores.

A área da bacia, alta densidade de drenagem, relevo montanhoso, presença de planícies alveolares ou planícies fluviais estreitas, aliados à alta pluviosidade anual, são fatores naturais que contribuem para o desenvolvimento das inundações observadas nesta sub-bacia. Áreas com alta densidade de drenagem apresentam maior tendência a sofrer com processos erosivos, demandando manejo mais atencioso no que se refere ao uso do solo (Machado et al., 2011).

Entretanto, alguns parâmetros importantes para avaliação da suscetibilidade ao desenvolvimento de inundações indicam propensão mediana à ocorrência de inundações. O índice de circu-

Quadro 2 – Parâmetros morfométricos

Parâmetro morfométrico	Conceito	Equação
Área da bacia	É a área total projetada sobre um plano horizontal, da área de contribuição de escoamento para a determinada ordem, e incluindo todos os tributários de ordem inferior (STRAHLER, 1957), Representa a área de captação disponível e, portanto, quanto maior a área, maior poderá ser o volume de precipitação entrando no sistema bacia hidrográfica. Schumm (1956, <i>apud</i> STRAHLER, 1957) afirma que a área da bacia cresce exponencialmente com a ordem dos canais. Além disso, quanto maior a área da bacia, maior o número de canais de 1ª ordem, e maior o perímetro da bacia (ZÁVOIANU, 1985, <i>apud</i> SOUZA, 2005).	-
Perímetro da bacia	Projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas ((ZÁVOIANU, 1985, <i>apud</i> SOUZA, 2005).	-
Ordem hierárquica	Segundo Strahler (1957), a rede hidrográfica se divide em segmentos individuais de rio, estando cada segmento situado entre duas confluências. O ordenamento dos rios é realizado a partir da atribuição da ordem 1 aos rios que não possuem tributários, ou seja, são nascentes; a ordem 2 é atribuída ao rio formado pelo encontro de dois rios de primeira ordem; este rio, por sua vez, só se torna de terceira ordem ao encontrar outro segmento de segunda ordem. A confluência de rios de ordens diferentes não altera o grau de ordenamento. A hierarquia fluvial indica o grau de ramificação da bacia, sendo importante na determinação da velocidade com que a água escoou até o exutório. Assim, a descarga aumenta em relação exponencial com o aumento da ordem hierárquica do canal. (SOUZA, 2005),	-
Comprimento vetorial do canal principal	Distância, em linha reta, entre a nascente e a foz do canal principal. Tem relação diretamente proporcional com a área e o perímetro da bacia (HORTON, 1945).	-
Gradiente do canal principal	O gradiente do canal principal é a relação entre sua amplitude altimétrica e o seu comprimento, sendo seu resultado expresso em graus ou porcentagem. Está relacionado com energia potencial do rio, e conseqüentemente seu poder erosivo (SANTOS, 2006)	$G_{cp} = A_{cp}/C_{cp} \times 1000$
Coefficiente de compacidade	O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius é utilizado para determinar a forma das bacias hidrográficas, sendo, assim como o Índice de circularidade, relacionado com um círculo. O coeficiente de compacidade tem valor mínimo 1,0, correspondendo a bacias perfeitamente circulares. Quanto mais próximo da unidade, maior a tendência ao desenvolvimento de cheias. Representa a relação entre o perímetro e a área da bacia (VILLELA & MATTOS, 1975).	$K_c = 0,28 \times P/\sqrt{A}$
Fator de forma	O fator de forma relaciona a forma da bacia com um retângulo. Valores de fator de forma menores que 0,50 significam bacias não sujeitas a inundações; valores entre 0,50 e 0,75 representam tendência mediana, enquanto valores entre 0,75 e 1,0 sugerem bacias sujeitas a inundações (VILLELA e MATTOS, 1975).	$F = A/L^2$
Índice de forma	O Índice de Forma expressa a relação entre o perímetro e a área da bacia, sendo que quanto mais próximo da unidade, maior a tendência a bacia possuir formato circular, apresentando tendência a cheias (CHRISTOFOLETTI, 1971).	$K = P/2\sqrt{\pi A}$
Índice de circularidade	De acordo com Christofolletti (1974), o índice de circularidade foi proposto com o objetivo de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia. Para o cálculo do Índice de circularidade é necessário obter o valor da área do círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. O $I_c$ apresenta valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo da unidade, mais próxima da forma circular será a bacia, sendo também mais propensa ao desenvolvimento de cheias. Valores menores que 0,51 correspondem a bacias de formato alongado, que favorece o escoamento; valores maiores que 0,51 correspondem a bacias de formato circular, que favorecem o desenvolvimento de inundações; já valores de C iguais a 0,51 significam escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias.	$C = A/A_c$
Densidade de drenagem	A densidade de drenagem relaciona o comprimento total dos rios com a área da bacia hidrográfica. É uma das variáveis morfométricas mais importantes, e representa o grau de dissecação topográfica da bacia. Este parâmetro expressa a quantidade de canais disponíveis para o escoamento, de forma que quanto mais canais presentes na bacia, mais rápido a água precipitada atinge o exutório. É dependente de fatores como precipitação, declividade das vertentes, tipo de solo, geologia, e cobertura vegetal, sendo a resposta ao ajuste entre a precipitação e os outros fatores. Além disso, a $D_d$ tem influência sobre o escoamento e o transporte de sedimentos dentro da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1981). Pode-se classificar a $D_d$ como <i> muito baixa </i> para valores menores que 0,50 Km/Km <sup>2</sup> , <i> mediana </i> entre 0,50 e 2,00 Km/Km <sup>2</sup> , <i> alta </i> entre 2,01 e 3,50 Km/Km <sup>2</sup> e <i> muito alta </i> para valores acima de 3,50 Km/Km <sup>2</sup> (BELTRAME, 1994).	$D_d = L/A$
Densidade hidrográfica	Constitui a relação existente entre o número de canais e a área da bacia hidrográfica. Destina-se a comparação da frequência de cursos de água existentes em uma área, de tamanho padrão (HORTON, 1945).	$D_i = N/A$



Quadro 2 – Parâmetros morfométricos (continuação)

<i>Textura da topografia</i>	Este parâmetro representa o grau de entalhamento e dissecação da bacia hidrográfica. Valores de textura da topografia menores do que 4,0 são classificados como textura grosseira, entre 4,0 e 10,0 textura média e maiores que 10,0 são considerados textura topográfica fina (SILVA <i>et al.</i> , 2007)	$\text{Log } T_t = 0,219649 + 1,115 \log D_d$
<i>Coefficiente de manutenção</i>	Representa a área mínima necessária para manutenção de um metro de escoamento (SCHUMM, 1956 <i>apud</i> CHRISTOFOLETTI, 1974)	$C_m = 1/D_d \times (1000)$
<i>Frequência de canais de cada ordem</i>	Refere-se à frequência relativa de canais de cada ordem pelo número de canais totais. Um número elevado de canais de 1ª ordem está relacionado com o tempo decorrido entre a precipitação máxima e a descarga máxima no canal principal (SOUZA, 2005).	$Fr = N_u/N_t \times (100)$
<i>Comprimento médio dos canais de cada ordem</i>	Este parâmetro reflete o comprimento médios dos rios em cada ordem hierárquica, sendo relacionado ao tamanho da bacia e seus aspectos geológicos.	$L_m = L_u/N_u$
<i>Relação de bifurcação</i>	Representa a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total de segmentos (canais, rios) de ordem imediatamente superior. A relação de bifurcação varia entre 2 para bacias planas a suave onduladas, a 3 ou 4 para bacias montanhosas ou altamente disseçadas (HORTON, 1945).	$R_b = N_u / (N_u + 1)$

laridade encontrado (0,44) aponta tendência para uma bacia de forma mais alongada, favorecendo o escoamento das águas. A mesma tendência é encontrada nos valores dos parâmetros coeficiente de compacidade (1,486), fator de forma (0,538) e índice de forma (1,493).



Figura 7 – Hierarquia fluvial da sub-bacia do rio Luís Alves. Elaboração do autor.

Este resultado pode ser atribuído à forma da sub-bacia do rio Luís Alves e como as microbacias tributárias se encontram organizadas. A sub-bacia tem formato próximo de um triângulo, aninhando dezenas de bacias com formatos variados, diferentes índices de dissecação, densidade de drenagem

e usos do solo, e, portanto, respostas diferentes no tempo de concentração em cada uma delas. A Tabela 1 apresenta os parâmetros morfométricos calculados para a sub-bacia do Rio Luís Alves.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros morfométricos para a sub-bacia do rio Luís Alves

<i>Parâmetro morfométrico</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidade</i>
Área da bacia	582,00	Km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia	128,01	Km
Ordem hierárquica	6	-
Número de canais total	1098	-
Número de canais 1ª ordem	809	-
Número de canais 2ª ordem	212	-
Número de canais 3ª ordem	53	-
Número de canais 4ª ordem	18	-
Número de canais 5ª ordem	4	-
Número de canais 6ª ordem	1	-
Comprimento total rede drenagem	1169,17	Km
Comprimento total canais 1ª ordem	704,05	Km
Comprimento total canais 2ª ordem	216,89	Km
Comprimento total canais 3ª ordem	108,97	Km
Comprimento total canais 4ª ordem	72,03	Km
Comprimento total canais 5ª ordem	44,15	Km
Comprimento total canais 6ª ordem	23,16	Km
Comprimento vetorial canal principal	56,44	Km
Amplitude altimétrica canal principal	405	m
Amplitude altimétrica sub-bacia	825	m
Gradiente do canal principal	7,17	%
Coefficiente de compacidade	1,486	-
Fator de forma	0,538	-
Índice de forma	1,493	-
Índice de circularidade	0,446	-
Densidade de Drenagem	2,008	Km/Km <sup>2</sup>
Densidade Hidrográfica	1,885	rios/Km <sup>2</sup>
Textura da topografia	43,392	-
Coefficiente de manutenção	4980,079	m <sup>2</sup>
Frequência de canais de 1ª ordem	73,679	%
Frequência de canais de 2ª ordem	19,307	%
Frequência de canais de 3ª ordem	4,826	%
Frequência de canais de 4ª ordem	1,639	%
Frequência de canais de 5ª ordem	0,364	%
Frequência de canais de 6ª ordem	0,091	%
Comprimento médio canais de 1ª ordem	0,870	Km
Comprimento médio canais de 2ª ordem	1,023	Km
Comprimento médio canais de 3ª ordem	2,056	Km
Comprimento médio canais de 4ª ordem	4,001	Km
Comprimento médio canais de 5ª ordem	11,037	Km
Comprimento médio canais de 6ª ordem	23,16	Km
Relação de bifurcação	4,00	-

É importante ressaltar que, por conta do tamanho da sub-bacia e das características distintas entre as áreas montanhosas e as planícies, dados morfométricos que se referem à totalidade da bacia representam a média dos valores, sendo, portanto relativizáveis.



O Luís Alves corre em planícies estreitas limitadas por morros até aproximadamente a altura da confluência com o Braço Serafim (4ª ordem), perfazendo até este ponto em torno de 21 Km, e já configurando a esta altura um rio de 5ª ordem. Neste ponto a planície assume largura um pouco maior, sendo, entretanto logo à frente, fechada novamente pela topografia.

O perfil topográfico do rio Luís Alves (ver Figura 8) foi gerado a partir da interpolação no ArcGIS entre o Triangular Irregular Network (TIN) da sub-bacia do Rio Luís Alves e a polilinha correspondente ao canal principal.

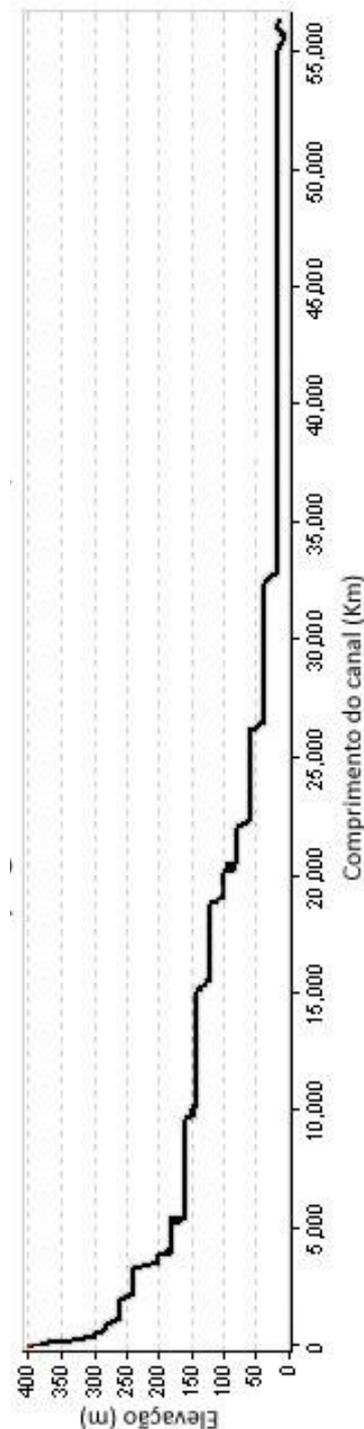


Figura 8 - Perfil topográfico do Rio Luís Alves. Elaboração do autor.

Seu perfil topográfico pode ser dividido em três compartimentos distintos, onde predominam

processos geomorfológicos com diferentes contribuições para o desenvolvimento de inundações: entre a cabeceira e os primeiros mil metros de canal o rio possui alta declividade, predominando alta velocidade de escoamento e, portanto alto potencial erosivo. No setor seguinte, o rio ainda corre sobre o domínio das montanhas, configurando um perfil de pequenas planícies (algumas alveolares) interrompidas por desníveis mais acentuados, com desenvolvimento de cachoeiras em alguns pontos. Neste setor há uma alternância de processos de escoamento mais lentos e rápidos. Por fim, o rio chega ao domínio dos sedimentos quaternários, assumindo um traçado meândrico na tentativa de dissipar sua energia. Neste compartimento, o nível do rio encontra-se subordinado à contribuição dos rios de montante e também ao nível do rio Itajaí, bem como a influência das marés.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados permitem afirmar que existe uma suscetibilidade natural da sub-bacia do rio Luís Alves ao desenvolvimento de inundações. Entretanto, o uso do solo sem observação dos critérios geomorfológicos de ocupação contribui fortemente para agravar o problema, uma vez que potencializa a suscetibilidade dos elementos do meio físico e aumenta a vulnerabilidade das populações.

A morfometria é uma metodologia que tem por objetivo estabelecer comparações matemáticas entre bacias hidrográficas. É útil quando dados hidrológicos são ausentes, entretanto, para obter resultados mais confiáveis, deve ser analisada em conjunto com outros métodos geomorfológicos. A dinâmica das águas na sub-bacia do rio Luís Alves deve ser estudada em uma escala de detalhe para fornecer respostas menos generalistas sobre o problema, entretanto, os dados levantados permitem tecer algumas considerações que podem servir de subsídio ao planejamento territorial.

O controle de inundações numa bacia hidrográfica é tarefa complexa, pois envolve inúmeras variáveis. Entretanto, a sub-bacia do rio Luís Alves apresenta uma vantagem em relação a outras áreas do Vale do Itajaí, já densamente ocupadas. Dado que nesta sub-bacia a ocupação é esparsa, há maior liberdade de ação na implementação de medidas de controle, sejam estruturais, não recomendadas, quanto medidas não estruturais, estas sim de implementação fundamental.

Pelo exposto acima, e com base na recente Lei 12.608/12, pode-se afirmar que a gestão de riscos deve integrar o planejamento territorial da sub-bacia, de forma integrada entre os municípios cujos territórios estão inseridos nos limites da sub-bacia. Por fim, é fundamental que o planejamento do uso do solo seja feito em observância às dinâmicas do meio físico, de forma a não ampliar o seu impacto sobre o desenvolvimento de inundações.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo financiamento da pesquisa cujo artigo é resultante.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AUMOND, J. J. “Geologia e Paleoambiente”. In: AUMOND, J. J. FRANK, B. (org.). **Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2006 (no prelo).
- BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: EdUFSC, 1994.
- BRAUN, P. D. K. VIBRANS, A. C. REFOSCO, J. C. LINGNER, D. V. “Uso de sistemas de informações geográficas (SIG) para identificação de áreas de recarga de aquíferos na bacia do Itajaí”. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3295 - 3302. Florianópolis, abr. 2007.
- CASTRO, A. L. C. de (org.). **Glossário de Defesa Civil**, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. 5ª Ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional, 2002.



- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES – CEPED. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. “Análise morfométrica de bacias hidrográficas”. **Boletim Geográfico**, v. 30 n. 220, p. 131 – 159. Rio de Janeiro: jan/fev 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. “A análise de bacias hidrográficas”. In: CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Edgard Blücher, EDUSP. São Paulo: 1974.
- DÍEZ-HERRERO, A. LAÍN-HUERTA, L. LLORENTE, I. M. **A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies**. Geologic Survey of Spain, 2009.
- FORNARI, A. **Geologia e metalogênese da porção meridional do Cráton Luís Alves: SC**. Universidade Estadual de Campinas (Tese, Programa de Pós-Graduação em Geociências). São Paulo, 1998.
- FRAGA, N. C. KÖHLER, V. B. As Enchentes no Vale do Itajaí-açú, SC: das obras de contenção à indústria da enchente. Revisão bibliográfica. **Boletim de Geografia** v. 17, p 81-92. Maringá: 1999.
- FRANK, B. “Uma história das Enchentes e seus Ensinamentos”. In: FRANK, Beate. PINHEIRO, Adilson (org.). **Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiência**. Blumenau: EDIFURB, 2003.
- GILLINGS, A. RENOUF, J. **How Earth Made Us: Water**. [Filme-vídeo]. Produção de Annabel Gillings, direção de Annabel Gillings. Londres, BBC, 2010. DVD, 58 min. son.
- HERMANN, M. L. de P. (org.). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, IOESC, 2005.
- HORTON, R. E. “Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology”. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, p. 275-370. 1945.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004a. SG.22-z-b. 1:250.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004b. SG.22-z-b. 1:250.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004c. SG.22-z-b. 1:250.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo, Agostinho Tadashi Ogura (org.). Brasília: Ministério das Cidades, 2007.
- MACHADO, R. A. S. LOBÃO, J. S. B. VALE, R. de M. C. do. SOUZA, A. P. M. J. de. Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas como Suporte a Definição e Elaboração de Indicadores para a Gestão Ambiental a Partir do Uso de Geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Curitiba, 2011.
- MATTEDI, M. A. FRANK, B. SEVEGNANI, L. BOHN, N. “O desastre se tornou rotina...”. In: FRANK, B. SEVEGNANI, L. (org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
- SANTOS, G. F. “Geomorfologia”. In: AUMOND, J. J. FRANK, B. (org.). **Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2006 (no prelo).
- SANTOS, J. S. dos. RIZZI, N. E. “Dinâmica de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Luís Alves, sub-bacia do rio Itajaí, Santa Catarina, Brasil”. **Floresta**, v. 40, n. 2. p. 335-344. Curitiba, abr/jun. 2010.
- SEVEGNANI, L. FRANK, B. NEGREDO, J. C. de. SOARES, M. V. KEIM, E. J. “Gente socorrendo gente”. In: FRANK, B. SEVEGNANI, L. (org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
- SEVERO, D. L. “A Meteorologia do Desastre”. In: FRANK, B. SEVEGNANI, L. (org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
- SILVA, A. M. da. SCHULZ, H. E. CAMARGO, P. B. de. “Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental”. In: **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2007.

SOUZA, C. R. de G. “Susceptibilidade Morfométrica de Bacias de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações em Áreas Costeiras”. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n.1. pp 45-61, 2005.

STRAHLER, A. N. “Quatitative analysis of watershed geomophology”. **Transactions of the American Geophysical Union**. v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

VIBRANS, A. C. **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí**: elementos para uma análise histórica. Universidade Federal de Santa Catarina (Tese, Programa de Pós-Graduação em Geografia). Florianópolis, 2003.

VILLELA, S. M. MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

Trabalho enviado em maio de 2015

Trabalho aceito em julho de 2015

