

## Caracterização detalhada das unidades de relevo do município de Jaguari (RS)/Brasil

### Detailed characterization of units relief in city of Jaguari/Brazil

*Bruno Zucuni Prina*

Doutorando em Geografia pela UFSM

[brunozprina@gmail.com](mailto:brunozprina@gmail.com)

*Romario Trentin*

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSM

[romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)

Artigo recebido em 05/06/2015 e aceito para publicação em 15/01/2016

#### Resumo

Nesse trabalho realizou-se um mapeamento das unidades de relevo no município de Jaguari/RS, com base na análise de atributos topográficos, entre eles, com destaque a hipsometria, a declividade, o plano de curvatura e o perfil de curvatura. O objetivo geral do trabalho é o de realizar o mapeamento das unidades de relevo na área de estudo e, posteriormente, identificar as características particulares e a localização espacial dessas unidades. Todos os procedimentos metodológicos foram realizados com a utilização do aplicativo ArcGIS®, junto a utilização de uma cena da imagem SRTM, bem como com uma imagem do Landsat 8 OLI e TIRS, ambas obtidas por meio do sítio do USGS. As rotinas metodológicas do trabalho podem ser sintetizadas com a análise da relação entre a distribuição das unidades de relevo com os distintos usos da terra (classificação digital realizada junto a imagem Landsat 8 OLI e TIRS). Ainda, verificou-se a tendência da área quanto a prováveis processos erosivos, assim sendo, cerca de 64% da área ficou englobada dentro de uma classificação de "alta tendência" a ocorrência de processos erosivos. Com a análise acerca da correlação entre uso da terra com as unidades de relevo, verificou-se que as áreas consideradas como de "alta tendência" a processos erosivos, estão dispostas, principalmente nos locais da superfície caracterizados como "solo exposto", maximizando o alerta à área no que se refere a prováveis futuros problemas quanto a perda de solo.

**Palavras-chaves:** Sistema de Informações Geográficas, Modelagem, Geomorfologia, Jaguari/RS.

#### Abstract

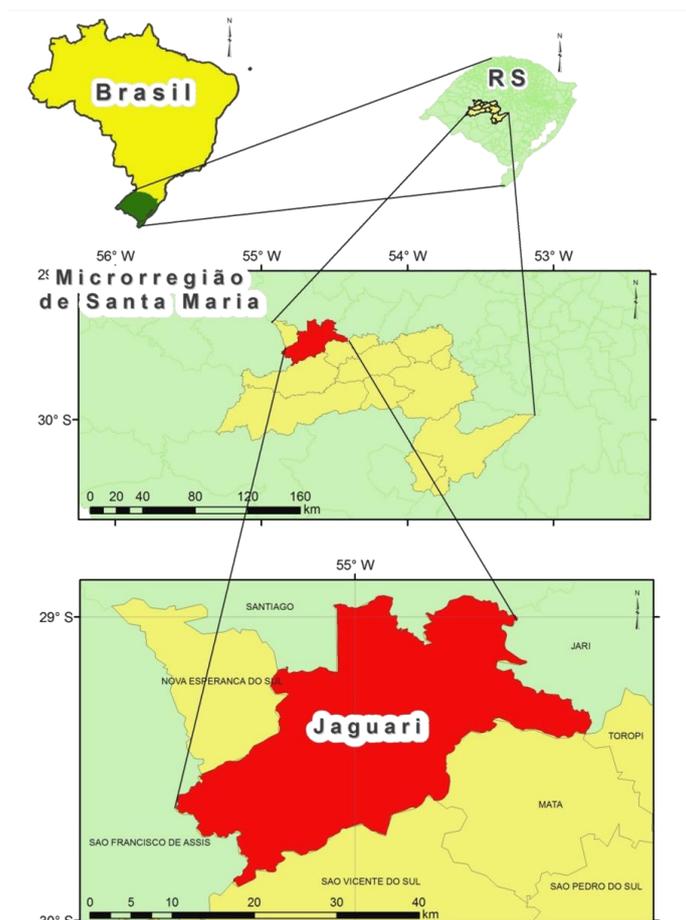
In the present paper was performed a mapping of relief units in the city of Jaguari/Brazil, based on the analysis topographic attributes, for example: the altimetry, slope, curvature plan and curvature profile. The general aim this paper is to perform the mapping of relief units in the study area and, thereafter, identify the characteristics and the spatial location these units. All the methodological procedures were performed using the ArcGIS®, and with a scene SRTM image, and with one image of Landsat 8 OLI and TIRS, both obtained through USGS site. The methodological paper routines can be synthesized with analysis of the interaction between distributions of relief units together with different land uses (digital classification conducted using image Landsat 8 OLI and TIRS). It should be noted that was further analyzed the tendency of the study area as the likely occurrence of erosion processes, therefore, was found 64% of the area is characterized with labeling of "high trend" the occurrence of erosion. Analyzing the data refers to correlation between land use with relief units, was observed that the areas considered as "high trend" the occurrence of erosion, are located, mainly the local surface classified as "exposed soil" increasing the concern in these area as regards probable future problems with the loss of soil (erosion).

**Keywords:** Geographic Information System, Modeling, Geomorphology, Jaguari/RS.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta o resultado e a discussão de um mapeamento das unidades de relevo com uma metodologia baseada na estrutura de árvore de decisão, com base na metodologia evidenciada no trabalho de Guadagnin e Trentin (2014).

No que tange a essa proposta, o referido mapeamento ocorreu no município de Jaguari, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A escolha da referida área deve-se ao fato de que os autores buscam a caracterização geográfica desse local, com diversos fins específicos (como por exemplo, o entendimento da dinâmica das inundações), e, o mapeamento das unidades de relevo poderá ser uma variável importante na correlação de futuras análises, principalmente nas implicações de modo geral.



**Figura 1** - Área de estudo: município de Jaguari/RS.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

No que tange a caracterização das unidades de relevo, deve-se ressaltar, que os métodos de análises estão sendo modificados, principalmente com a maior utilização das ferramentas de geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Tal fato é justificado pela metodologia de Silveira e Silveira (2013), os quais explicitam que as análises descritivas estão

sendo modificadas pelas análises integradas de dados espaciais, com ênfase a utilização de dados da superfície topográfica, na qual pode-se citar a utilização dos Modelos Digitais do Terreno (MDT).

A forma de manipulação desses dados é denominada como parametrização da superfície terrestre, as quais são obtidas por meio da construção de MDTs e de extração de seus derivados, que são denominados, conforme conceituado no Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), de atributos topográficos. Assim, entre esses atributos, pode-se englobar a altitude, a declividade, o plano de curvatura e o perfil de curvatura, sendo as variáveis a serem empregadas nas rotinas metodológicas desse trabalho.

O estudo de (sub) bacias hidrográficas é muito importante pelo fato da mesma abranger uma dinâmica do sistema local, podendo, assim, analisar várias questões que ocorrem na bacia, seja de origem natural ou antrópica. Ou seja, tudo o que possa ocorrer de alteração do uso da terra, movimentos do solo, alterações das matas, sejam elas as formas de transformações (natural ou antrópica), a bacia hidrográfica resumirá essas questões, associando as referidas características à rede de drenagem.

Uma das possíveis formas de análises de uma bacia hidrográfica é por meio da quantificação dos atributos morfométricos, como por exemplo: a declividade (clinografia), a altimetria e as formas de relevo, com foco ao plano e perfil de curvatura.

A proposta desse trabalho é composta pela caracterização dos aspectos referente às unidades de relevo da área de estudo, interligando toda a rotina metodológica com as técnicas de geoprocessamento, com foco aos SIG. Assim, propõe-se realizar uma análise espacial dessas feições.

Portanto, salienta-se que o problema desse trabalho está contido na resolução da seguinte questão: “*quais as características geomorfológicas (das unidades de relevo) do município de Jaguari?*”.

O objetivo geral do trabalho é o de realizar o mapeamento das unidades de relevo de uma área localizada no sul do Brasil, mais precisamente no município de Jaguari, no estado do Rio Grande do Sul e, posteriormente, identificar as características particulares e a localização espacial das unidades de relevo.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Antes de segmentar os procedimentos metodológicos envolvidos nesse trabalho, há de citar os aplicativos os quais foram utilizados. Assim, ressalta-se que, por todos os procedimentos metodológicos foram realizados com a utilização do aplicativo ArcGIS®, versão 10.1. Deve-se salientar, que para realizar todos os processamentos, optou-se na utilização do Modelo Digital do

Terreno (MDT) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), obtido no sítio do USGS (*United States Geological Survey*), com resolução espacial de 30 m, obtido por meio da técnica de interferometria por radar (InSAR).

Deve-se destacar que muitas análises referentes a distribuição das unidades de relevo no município ocorreram por meio da correlação com os distintos usos da terra na área de estudo, a fim de identificar algumas possíveis correlações. Sendo assim, para realizar a referida etapa, utilizou-se imagens do sensor Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), com resolução espacial de 30 m (exceto a banda pancromática que possui um pixel com 15 m de resolução), também obtido pelo sítio do USGS.

Salienta-se, que a área de estudo, englobou os limites do território pertencente ao município de Jaguari, localizado no sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, e o referido recorte espacial possui uma área de 673,1 km<sup>2</sup>.

## 2.2 Métodos

A fim de identificar os procedimentos teórico-práticos implementados nesse trabalho, os mesmos, a seguir, estarão endereçados cronologicamente.

Após realizar o *download* da imagem do SRTM, pelo site <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>, realizou-se o tratamento da cena, por meio da definição (conversão) do sistema de referência para o SIRGAS 2000, em coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 21 J Sul. Consequente, por meio da ferramenta "*Extract by Mask*" (do ArcGIS®) foi realizado o recorte da área útil à modelagem e, para finalizar essa primeira etapa aplicou-se o algoritmo "*Fill*" (do ArcGIS®), a fim de remover as pequenas deformações dos dados altimétricos (ESRI, 2012a).

Com a base cartográfica estando coincidentemente englobada na área de interesse (o município), gerou-se, então o mapa hipsométrico, discretizando os valores em classes pré-determinadas a fim de analisar o comportamento altimétrico da área de estudo. Após essa etapa, fez-se necessário dividir o mapa de altimetria em apenas duas classes, a classes das maiores altitudes que identificará as áreas com processos de dissecação, e as áreas de baixas altitudes, que caracterizarão as áreas com processos de acumulação e depósito de sedimentos (GUADAGNIN; TRENTIN, 2014).

Sendo assim, foi utilizado, como segmentador dos dados altimétricos o critério estatístico do quartil. Destaca-se que com o uso do quartil o conjunto ordenado dos valores altimétricos ficou subdividido em partes homogêneas (GUIMARÃES, 2007), segmentando a área de estudo em partes iguais (ou muito semelhantes).

Para gerar um novo plano de informação, do dado *booleano* (segmentado pelo quartil), utilizou-se a ferramenta "*Reclassify*" (do ArcGIS®) a fim de gerar um novo *raster* (referente a altimetria) segmentado a partir das classes pré-estabelecidas (anteriormente).

Consequente, realizou-se a construção do mapa de declividade, sendo obtido por meio do algoritmo "*Slope*" (do ArcGIS®), metodologia imposta por Horn (1981). Nesse momento, adotou-se um critério diferente para a segmentação da declividade em classes opostas. Assim, a subdivisão diferenciou os valores menores e maiores do que 5% de declividade, sendo um critério proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), que define o limite de 5% como sendo a declividade que condiciona o desencadeamento de processos erosivos, discriminando-se, assim, as áreas de acumulação de sedimentos das áreas de erosão. Novamente empregou-se o "*Reclassify*" (do ArcGIS®) para gerar um novo arquivo matricial, classificado, então, em duas classes (áreas com inclinação maior e menor de 5%).

As últimas duas bases cartográficas foram obtidas por meio da ferramenta "*Curvature*" (do ArcGIS®), a qual foi de extrema importância para a geração do mapa de plano e de perfil de curvatura. Deve-se destacar que o mapa de plano de curvatura foi subdividido entre as classes convergente (valores negativos) e divergente (valores positivos). Já para o mapa de perfil de curvatura, utilizou-se as subdivisões de: convexo (valores negativos) e côncavo (valores positivos). Ambas as metodologias foram definidas conjunto ao algoritmo imposto por Zevenbergen e Thorne (1987). O mapa de perfil de curvatura tem como base a geração de uma curvatura na direção da declividade, já o mapa de plano de curvatura, refere-se a uma superfície perpendicular a direção de declividade (ESRI, 2012b).

Após concluída a etapa de criação das bases cartográficas, empregou-se a metodologia de Guadagnin e Trentin (2014) (os quais se basearam nas pesquisas de Silveira e Silveira (2013) e, estes, na de Iwahashi e Pike (2007)), por meio do cruzamento das informações espaciais (anteriores), sendo de grande importância o uso do SIG, que agilizou o processo de interação dos dados. Sendo assim, no aplicativo ArcGIS®, com a ferramenta "*Raster Calculator*", cruzaram-se os planos de informação, conforme organização disposta na Figura 2.

A partir disso, a Figura 2 apresenta as "notas" atribuídas para cada mapa, porém, o valor da "nota" apenas auxiliará na posterior discretização das classes, na fase de identificação dos resultados finais. A forma em que ocorreu o cruzamento dos dados facilitou na identificação do resultado final, pelo fato de que todo o "somatório" resultante que havia no primeiro dígito do resultado o número "1" seria do mapa hipsométrico menor que o quartil, o número "2" para o hipsométrico maior que o quartil, no segundo dígito do resultado o número "3" para o mapa de declividade menor que 5%, e assim sucessivamente, ou seja, realizou-se uma rotulagem dos dados.

Deve-se ressaltar que, dentre todas as unidades classificadas (12), 4 foram tratadas de forma diferente: a unidade 1, 4, 7 e 10. Tal fato é evidenciado na questão em que o perfil de curvatura não apresentava diferenças significativas no cruzamento espacial dos dados, visto que o perfil convergente é mais relevante na definição das referidas unidades. Tal fato foi utilizado idoneamente ao apresentado por Guadagnin e Trentin (2014).

Nota ->	Hipsométrico		Declividade		Plano		Perfil		Somatório
	< Quartil	>Quartil	<5%	>5%	(-) Convergente	(+) Divergente	(-) Convexo	(+) Côncavo	
	1000	2000	300	400	50	60	7	8	
Unidade 1	0	1	0	1	1	0	0	1	2458
Unidade 1	0	1	0	1	1	0	1	0	2457
Unidade 2	0	1	0	1	0	1	0	1	2468
Unidade 3	0	1	0	1	0	1	1	0	2467
Unidade 4	0	1	1	0	1	0	0	1	2358
Unidade 4	0	1	1	0	1	0	1	0	2357
Unidade 5	0	1	1	0	0	1	0	1	2368
Unidade 6	0	1	1	0	0	1	1	0	2367
Unidade 7	1	0	0	1	1	0	0	1	1458
Unidade 7	1	0	0	1	1	0	1	0	1457
Unidade 8	1	0	0	1	0	1	0	1	1468
Unidade 9	1	0	0	1	0	1	1	0	1467
Unidade 10	1	0	1	0	1	0	0	1	1358
Unidade 10	1	0	1	0	1	0	1	0	1357
Unidade 11	1	0	1	0	0	1	0	1	1368
Unidade 12	1	0	1	0	0	1	1	0	1367

**Figura 2** - Análise do cruzamento dos dados: rotulagem para definição das unidades.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Após obtido o mapa das unidades de relevo da área de estudo, o mesmo passou por uma série de análises específicas, entre elas, com a correlação das informações com os distintos usos da terra presentes na área de estudo. Assim sendo, foi necessário a realização de uma classificação digital. Para tal, foi utilizado uma cena do Landsat 8 OLI e TIRS.

Após efetivar o *download* da imagem, pelo site <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>, realizou-se o tratamento da cena, por meio da aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Assim, converteu-se o sistema de referência da imagem para o SIRGAS 2000 (sistema de projeção UTM, fuso 21 J Sul), além da união das bandas espectrais das imagens (*Composite Bands*). Uniram-se, dessa forma, as bandas do vermelho, verde, azul, infravermelho próximo e pancromática das cenas utilizadas do Landsat 8.

Posteriormente, obtiveram-se as amostras do uso da terra da área utilizada, incluindo os seguintes usos: áreas úmidas, lavoura, floresta, campo, água e solo exposto. Conseqüente, realizou-se a classificação digital da imagem, com a utilização do algoritmo máxima verossimilhança (MAXVER).

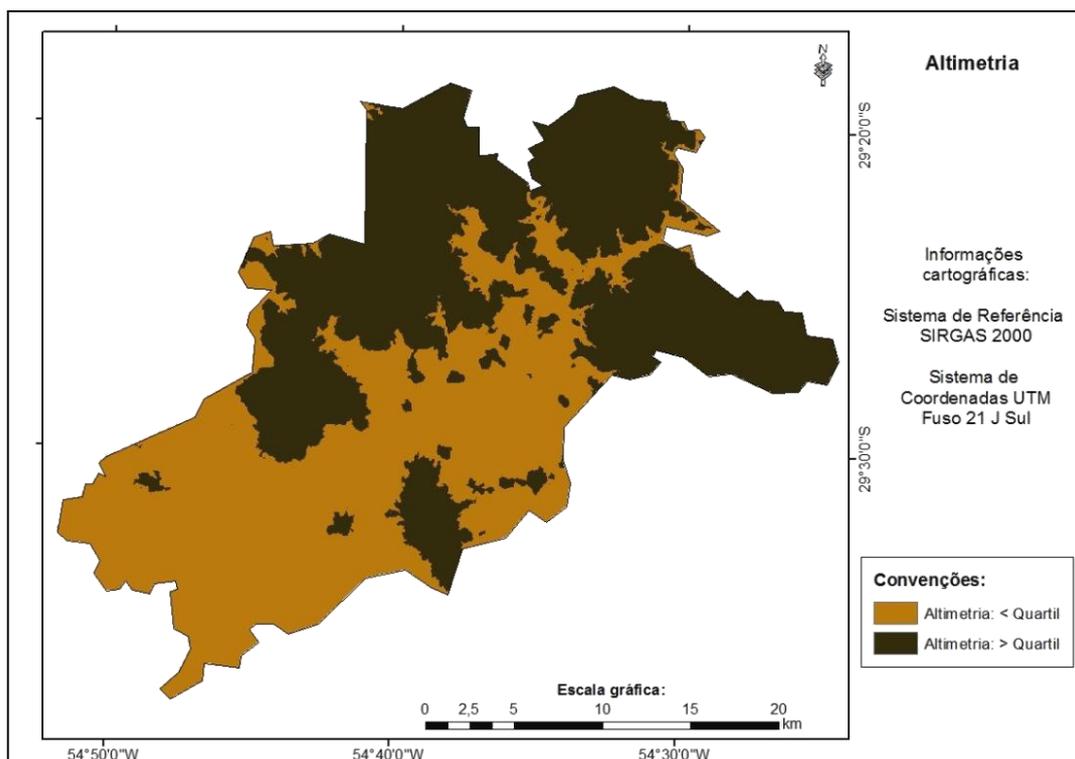
Pode-se destacar, ainda, uma última análise realizada, ou seja, a correlação entre o mapa de uso da terra com o das unidades de relevo, objetivando em analisar as possíveis correlações entre as classes de cada mapa, se esse fosse o caso.

### 3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse momento serão expostos todos os resultados obtidos por meio da aplicação dos procedimentos metodológicos desse trabalho. Alerta-se, que inicialmente serão expostos os resultados da análise das unidades de relevo, posteriormente o mapa de uso da terra, e, por fim, a análise específica das unidades de relevo presentes nos usos da terra do município.

Sendo assim, com a intenção de destacar todas as etapas específicas para a geração das unidades de relevo, inicialmente, construiu-se o mapa altimétrico, o qual está identificado na Figura 3. Nesse mapa há a representação da espacialização da altimetria da área de estudo, por meio de um mapa *booleano*, discretizado em 2 classes, com separação dos dados pelo critério estatístico do quartil, o qual apresentou a cota de 175 m como separador das classes.

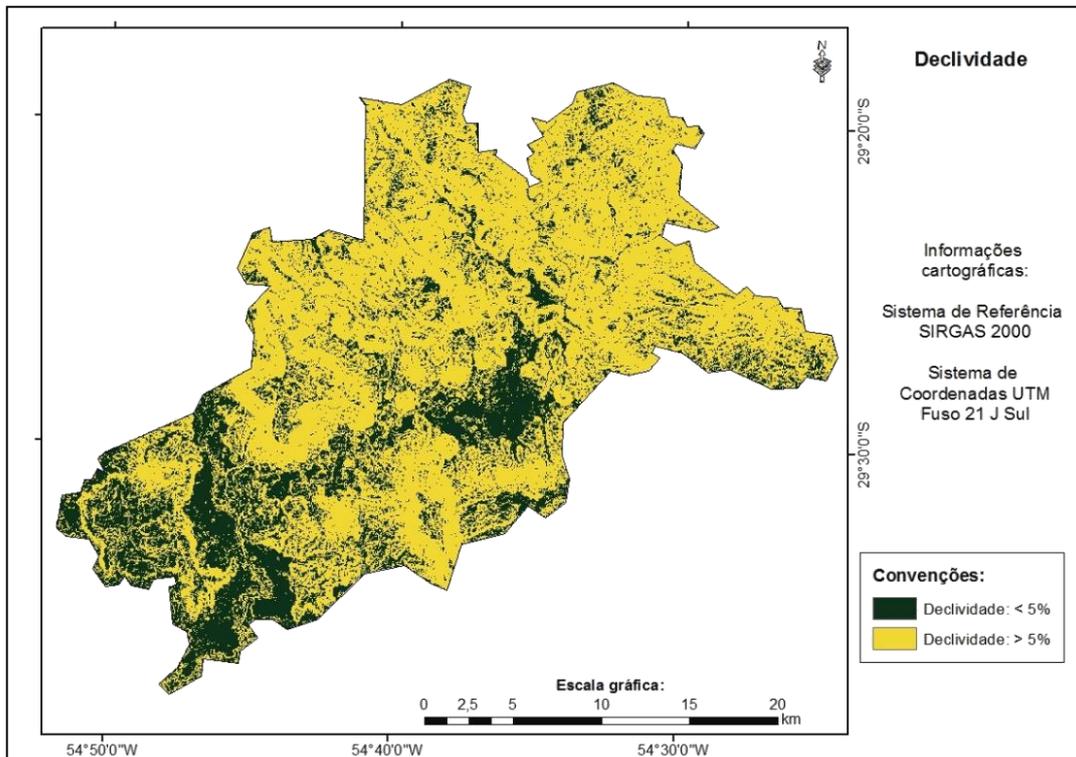
Deve-se salientar que na metodologia de base para esta pesquisa, conforme já salientado, no trabalho de Guadagnin e Trentin (2014), os autores segmentaram a altitude com o valor da média geral. Justifica-se o uso do quartil, nesse trabalho, pelo fato da melhor divisão dos dados, sendo mais representativo do que a média (na área de estudo).



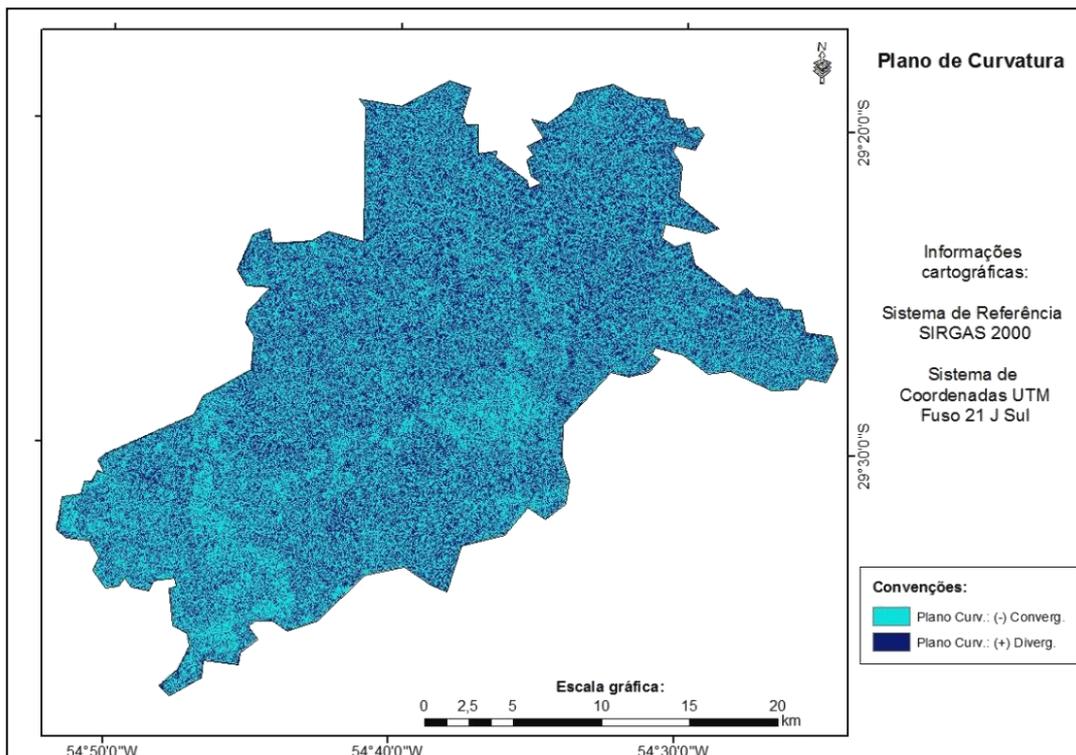
**Figura 3** – Divisão da altimetria na área de estudo: uso do quartil.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

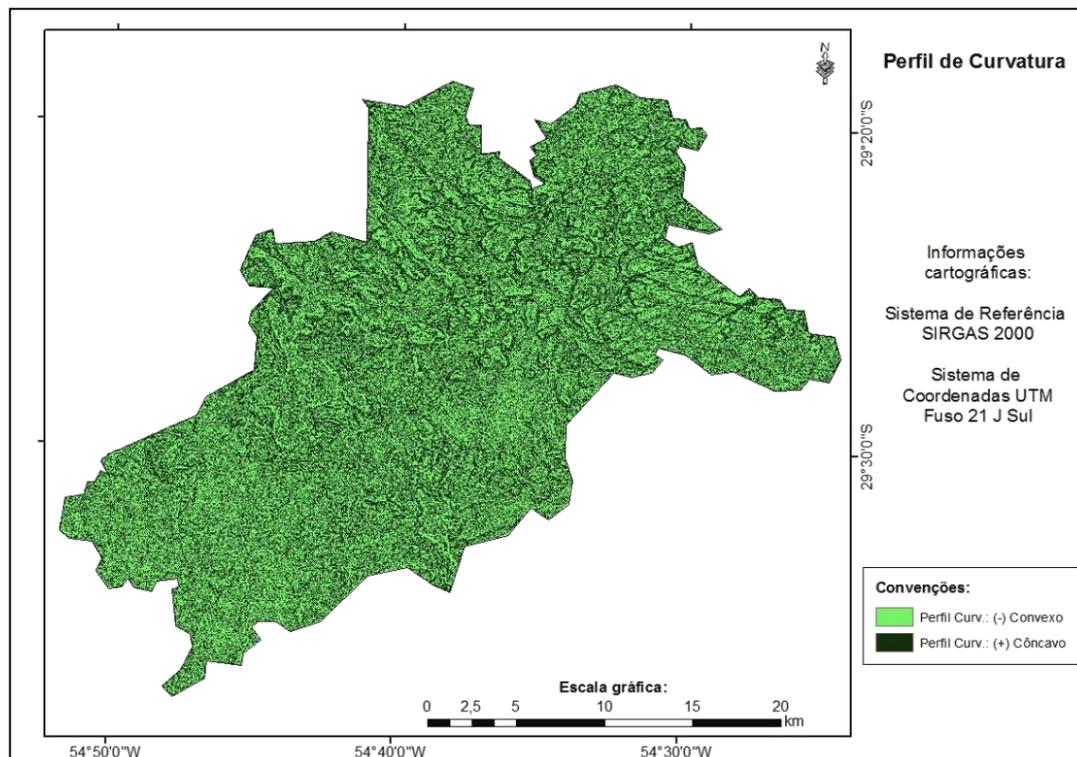
A fim de analisar os demais resultados, a Figura 4 apresenta o mapa de declividade, com a segmentação no intervalo de "5%", a Figura 5 com o mapa de perfil de curvatura e a Figura 6 com o mapa de plano de curvatura.



**Figura 4** - Divisão da declividade na área de estudo: critério adotado pelo IPT (1981).  
**Fonte:** Elaborado pelos autores.



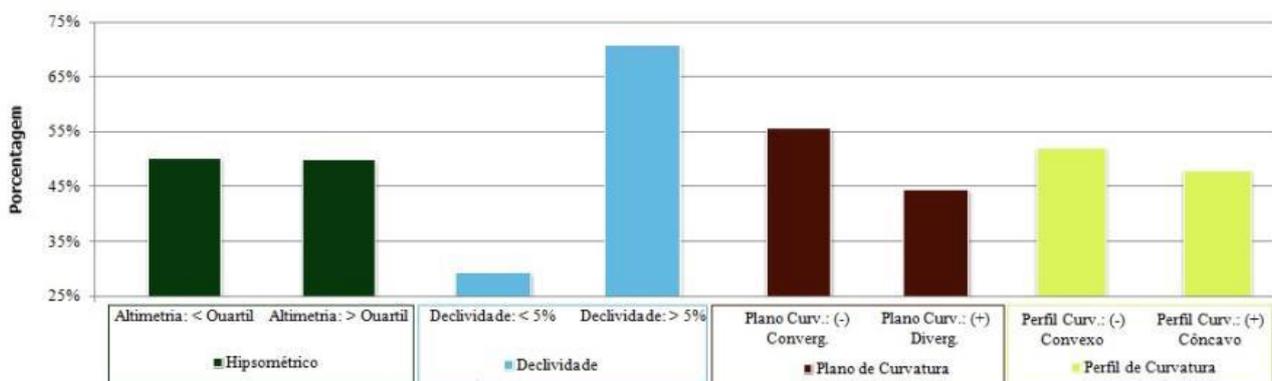
**Figura 5** - Mapa de Plano de Curvatura.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores.



**Figura 6** - Mapa de Perfil de Curvatura.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Com o intuito de analisar, ainda, a geração das informações primárias ao mapa das unidades de relevo, a Figura 7 apresenta a quantificação, em porcentagem de cada classe em cada mapa. Assim, nota-se que entre os mapas classificados, o que apresenta maior discrepância é o mapa de declividade, verificando que há menores porções de áreas planas na área de estudo, induzindo, desta forma, a uma maior concentração de áreas com possível ocorrência de erosões (áreas com declividade maior do que 5%).



**Figura 7** - Análise da segmentação de classes.

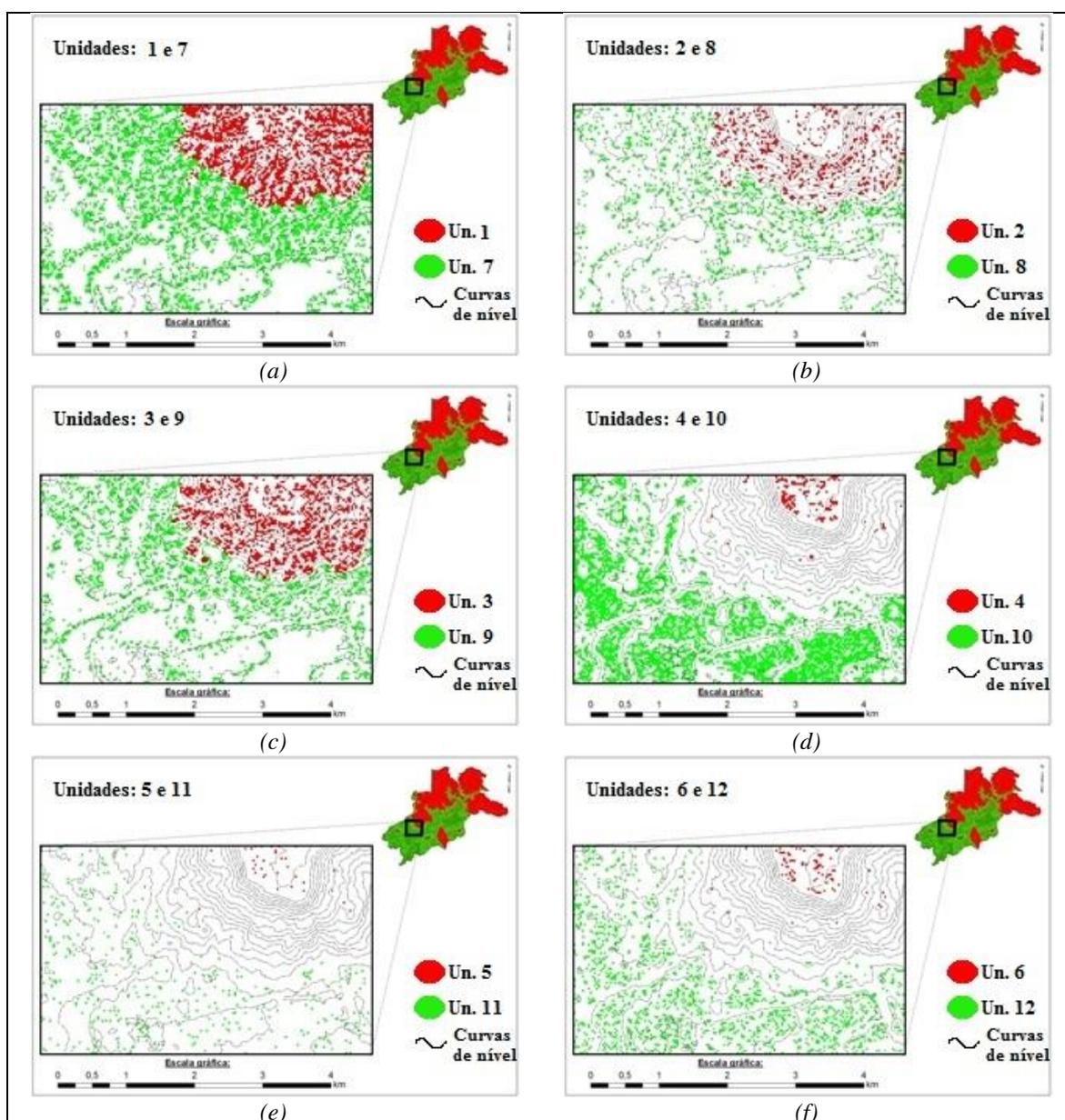
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O referido fato, pode estar relacionado a escolha da área de pesquisa, por estar situada em uma área de rebordo, onde a diferença altimétrica é significativa, ou, ainda, à base cartográfica (imagem do SRTM) por apresentar peculiaridades no mapeamento, no que tange à resolução

espacial (30 m). Porém, independente dos motivos, analisa-se, que no município, há grandes diferenças altimétricas, sendo que, com a imagem SRTM, constatou-se uma amplitude de 370 m da altitude, com valores variando de 78 m a até 448 m.

Após o cruzamento dos dados, gerou-se um mapa das unidades de relevo subdivido em 12 classes, assim, brevemente, a Figura 8 apresenta cada um dos mapas, dando foco separado a cada uma das unidades de relevo classificadas. Os dados apresentados estão destacados com a apresentação de duas unidades de cada vez com o intuito de minimizar o número de imagens e, assim, otimizar a apresentação dos dados.

A seguir, analisar-se-á cada uma das classes, especificando suas características e seu significado geomorfológico, baseando-se, na interpretação de Guadagnin e Trentin (2014).



**Figura 8** – Mapa das unidades de relevo resultante: (a) unidades 1 e 7, (b) unidades 2 e 8, (c) unidades 3 e 9, (d) unidades 4 e 10, (e) unidades 5 e 11, (f) unidades 6 e 12.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A Unidade 1 apresentou 21,3 % mapeado na área de estudo, totalizando 143,5 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura convergente, um perfil de curvatura convexa e côncava, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 192) explicitam que nessa unidade "predominam processos morfogenéticos de erosão devido à declividade superior a 5%, localização predominantemente nos topos das vertentes e maior concentração da água devido ao plano de curvatura ser convergente".

A Unidade 2 apresentou 6,9% mapeado na área de estudo, totalizando 46,1 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura côncava, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 192) explicitam que nessa unidade "apesar da declividade ser maior que 5% os processos erosivos podem ser atenuados devido ao perfil côncavo e plano de curvatura divergente, o que faz com que a água seja dissipada com menor velocidade".

A Unidade 3 apresentou 14,9% mapeado na área de estudo, totalizando 100,1 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura convexo, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 192) explicitam que nessa unidade "pode levar à ocorrência de processos erosivos acentuados devido ao aumento da velocidade do fluxo (perfil convexo) e dissipação da água (plano divergente)".

A Unidade 4 apresentou 4,2% mapeado na área de estudo, totalizando 28,3 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura convergente, um perfil de curvatura convexa e côncava, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade inferior a 5%.

A Unidade 5 apresentou 0,6% mapeado na área de estudo, totalizando 4,1 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura côncava, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade inferior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 194) explicitam que nessa unidade "apesar da declividade inferior a 5% e perfil côncavo, provavelmente não ocorram significativos processos de acumulação devido ao plano de curvatura divergente".

A Unidade 6 apresentou 2,0% mapeado na área de estudo, totalizando 13,2 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura convexa, áreas acima de 165 m (quartil) e com declividade inferior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 194) explicitam que nessa unidade "pode-se considerar que há aumento da energia do fluxo, porém, pela declividade inferior a 5%, os possíveis processos erosivos são atenuados".

A Unidade 7 apresentou 14,6% mapeado na área de estudo, totalizando 98,3 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura convergente, um perfil de curvatura convexa e côncava, áreas abaixo de 165 m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 194) explicitam que nessa unidade pode haver a formação "de concentração de água e possibilidade de processos morfológicos de erosão".

A Unidade 8 apresentou 4,7% mapeado na área de estudo, totalizando 31,5 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura côncava, áreas abaixo de 165m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 194) explicitam que nessa unidade "diminuição da energia e dissipação do fluxo na vertente (perfil côncavo e plano divergente), bem como pela possibilidade de ocorrência de processos erosivos devido à declividade superior a 5%".

A Unidade 9 apresentou 8,5% mapeado na área de estudo, totalizando 57,0 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura convexa, áreas abaixo de 165 m (quartil) e com declividade superior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 194) explicitam que nessa unidade "predomínio de processos morfológicos de erosão pela declividade superior a 5% associada ao aumento da energia e dissipação do fluxo (perfil convexo e plano divergente)".

A Unidade 10 apresentou 15,3% mapeado na área de estudo, totalizando 103,8 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura convergente, um perfil de curvatura convexa e côncava, áreas abaixo de 165 m (quartil) e com declividade inferior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 196) explicitam que nessa unidade "caracteriza-se pela concentração do fluxo convergindo na base da vertente (plano convergente)".

A Unidade 11 apresentou 1,5% mapeado na área de estudo, totalizando 9,9 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura côncava, áreas abaixo de 165m (quartil) e com declividade inferior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 196) explicitam que nessa unidade "diminuição da energia do fluxo divergente (perfil côncavo e plano divergente)".

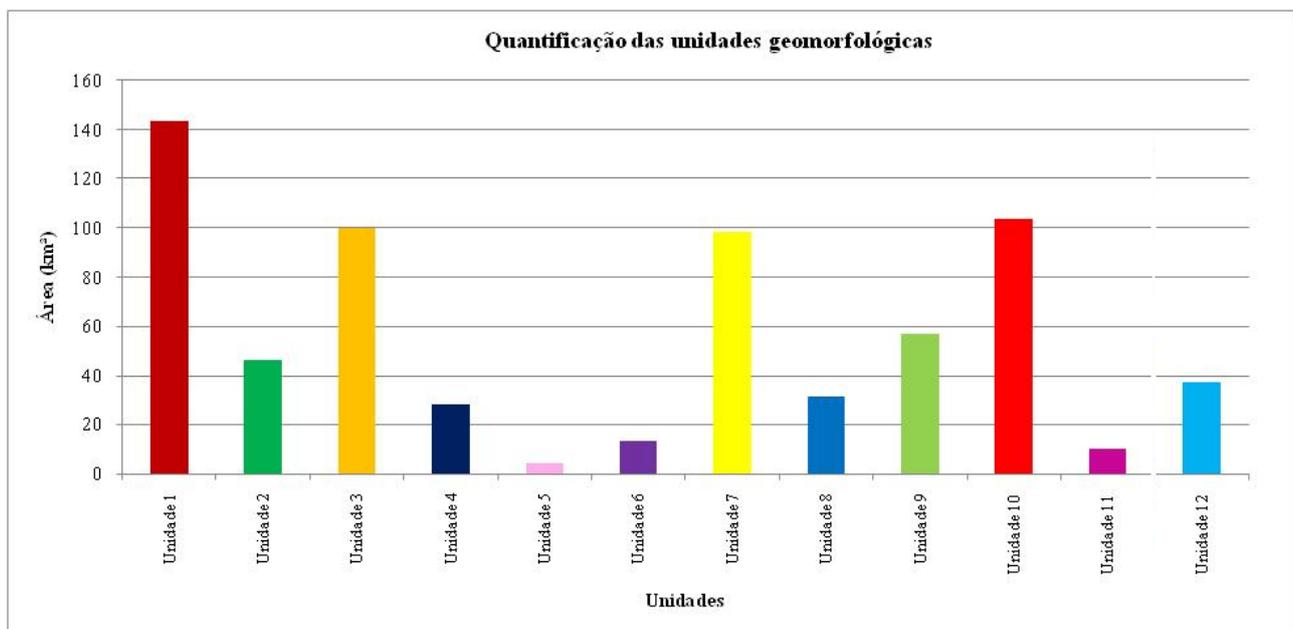
A Unidade 12 apresentou 5,5% mapeado na área de estudo, totalizando 37,3 km<sup>2</sup>. A combinação de informações para caracterizar a área está disposta em um plano de curvatura divergente, um perfil de curvatura convexa, áreas abaixo de 165m (quartil) e com declividade inferior a 5%. Guadagnin e Trentin (2014, p. 196) explicitam que nessa unidade há um "aumento da velocidade do fluxo em direção à base da vertente (perfil convexo), porém com fluxo divergente (plano divergente)".

Um resumo quanto a área das unidades está representada no Quadro 1 e na Figura 9, já quanto a estrutura de cada unidade, bem como sua representação visual está contextualizado no Quadro 2.

**Quadro 1 - Áreas das unidades de relevo.**

	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Unidade 1</b>	21,3	143,5
<b>Unidade 2</b>	6,9	46,1
<b>Unidade 3</b>	14,9	100,1
<b>Unidade 4</b>	4,2	28,3
<b>Unidade 5</b>	0,6	4,1
<b>Unidade 6</b>	2,0	13,2
<b>Unidade 7</b>	14,6	98,3
<b>Unidade 8</b>	4,7	31,5
<b>Unidade 9</b>	8,5	57,0
<b>Unidade 10</b>	15,3	103,8
<b>Unidade 11</b>	1,5	9,9
<b>Unidade 12</b>	5,5	37,3
<b>Soma:</b>	<b>100</b>	<b>673,1</b>

Fonte: Elaborado pelos autores.



**Figura 9 - Quantificação de todas as unidades de relevo.**

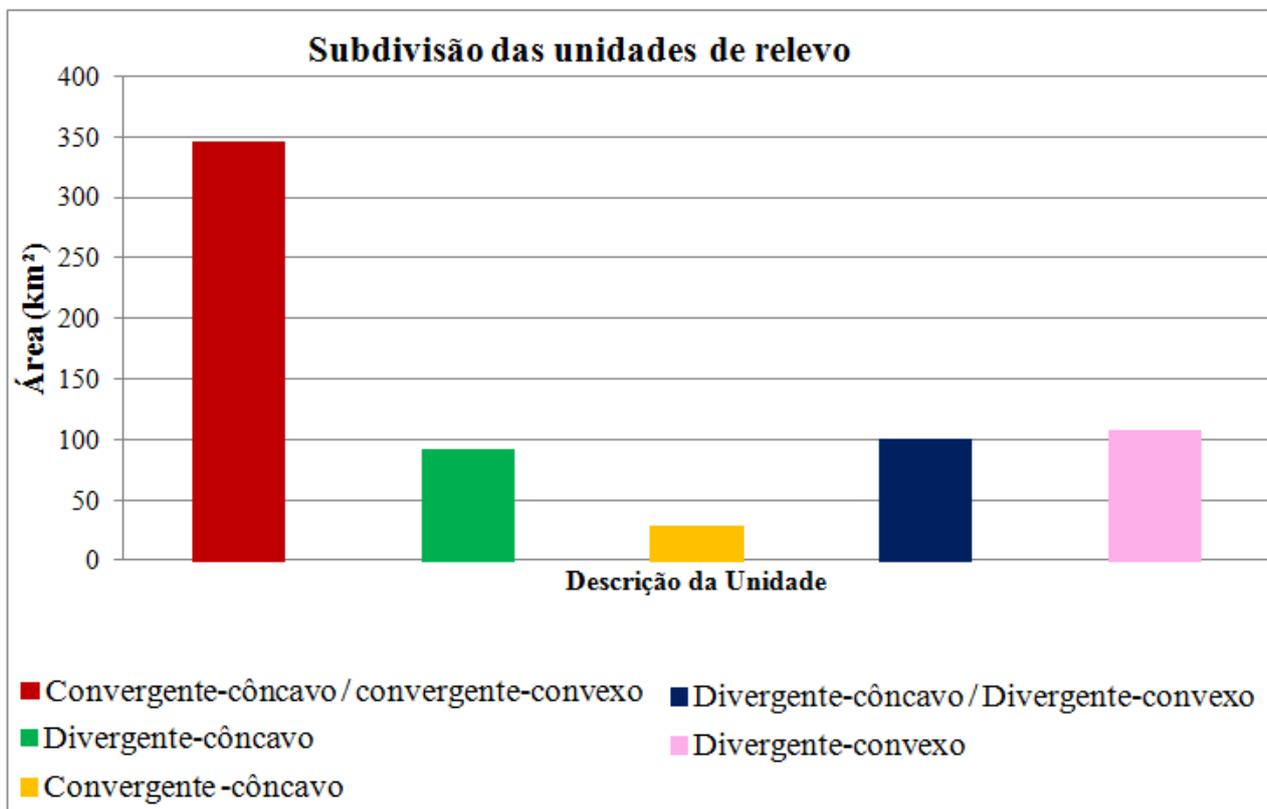
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Quadro 2 - Resumo das unidades de relevo.**

	<b>Desenho</b>	<b>Altitude</b>	<b>Declividade</b>
<b>Unidade I</b>	 <i>Convergente-côncavo / convergente-convexo</i>	<b>&gt; 175m</b>	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade VII</b>		< 175m	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade X</b>		< 175m	< 5%
<b>Unidade II</b>	 <i>Divergente-côncavo</i>	<b>&gt; 175m</b>	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade V</b>		<b>&gt; 175m</b>	< 5%
<b>Unidade VIII</b>		< 175m	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade XI</b>		< 175m	< 5%
<b>Unidade III</b>	 <i>Convergente-côncavo</i>	<b>&gt; 175m</b>	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade IV</b>	 <i>Divergente-côncavo / Divergente-convexo</i>	<b>&gt; 175m</b>	< 5%
<b>Unidade VI</b>	 <i>Divergente-convexo</i>	<b>&gt; 175m</b>	< 5%
<b>Unidade IX</b>		< 175m	<b>&gt; 5%</b>
<b>Unidade XII</b>		< 175m	< 5%

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

No Quadro 2, realizou-se uma subdivisão das unidades de relevo em 5 classes, conforme as suas características acerca do Plano e Perfil de curvatura, assim sendo, analisou-se, a referida espacialização, e, junto a Figura 10, há a apresentação particular desse resultado. Com isso, pode ser constatado que a maioria da área do município apresenta característica convergente-côncavo/convergente-convexo, totalizando quase 350 km<sup>2</sup>, o qual representa mais de 50 % da área.



**Figura 10** - Unidades de relevo subdivididas em cinco classes.

Fonte: Elaborado pelos autores.

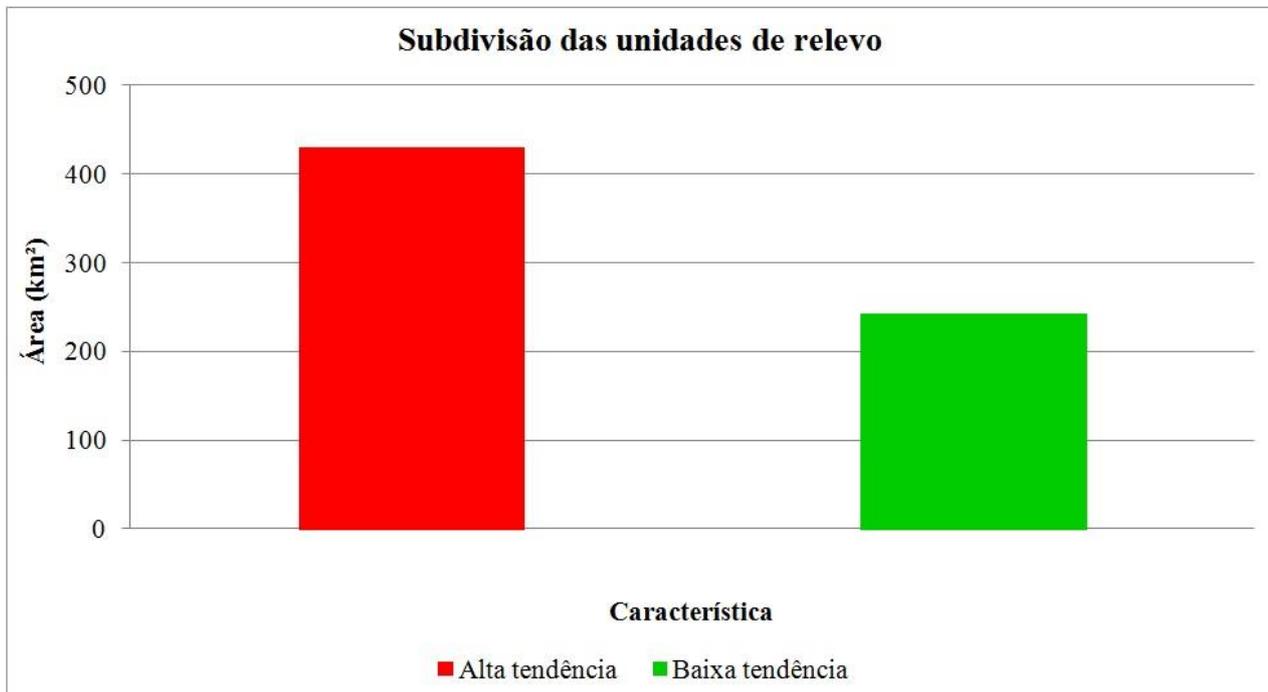
Após realizada a análise detalhada das unidades de relevo obtidas, realizou-se uma interpretação a fim de segmentar a área de estudo quanto às áreas com maior tendência de ocorrência de processos erosivos, assim sendo, segmentou a análise na divisão de alta e baixa tendência à erosão (Figura 11). Deve-se realizar referência a questão de que há inúmeras variáveis que podem induzir e caracterizar a ocorrência ou não de processos erosivos, porém, haverá a contextualização dessa hipótese, por meio das unidades de relevo, as quais utilizam critérios hipsométricos, clinográficos e de perfil e plano de curvatura.

Assim sendo, essa subdivisão, em duas classes, uniu algumas características particulares de cada uma das unidades de relevo, com isso, as identificadas com alta tendência a processos erosivos foram: 1, 3, 7, 8 e 9, as quais totalizaram um montante de 430,3 km<sup>2</sup> (cerca de 64% da área). Por outro lado, o restante das unidades (2, 4, 5, 6, 10, 11 e 12) classificou-as como de baixa tendência à erosão, com o total de 242,8 km<sup>2</sup> (cerca de 36% da área).

Com a apresentação das unidades de relevo, junto às suas características, nesse momento, há a exposição da classificação digital da imagem. Assim, obteve-se a quantificação das feições, as quais foram segmentadas nas classes: água, áreas úmidas, vegetação, lavouras, solo exposto, campo e área urbana.

Brevemente, destaca-se que o uso da terra que obteve o maior predomínio sobre os demais foi o solo exposto (35,3% da área de estudo), seguido das lavouras (22,3%), da vegetação (22,1%) e

dos campos (15,7%). Ainda, há as áreas úmidas (3,0%), águas (1,3%) e a área urbana (sede municipal, com 0,3% da área do município).



**Figura 11** - Unidades de relevo subdivididas em três classes.

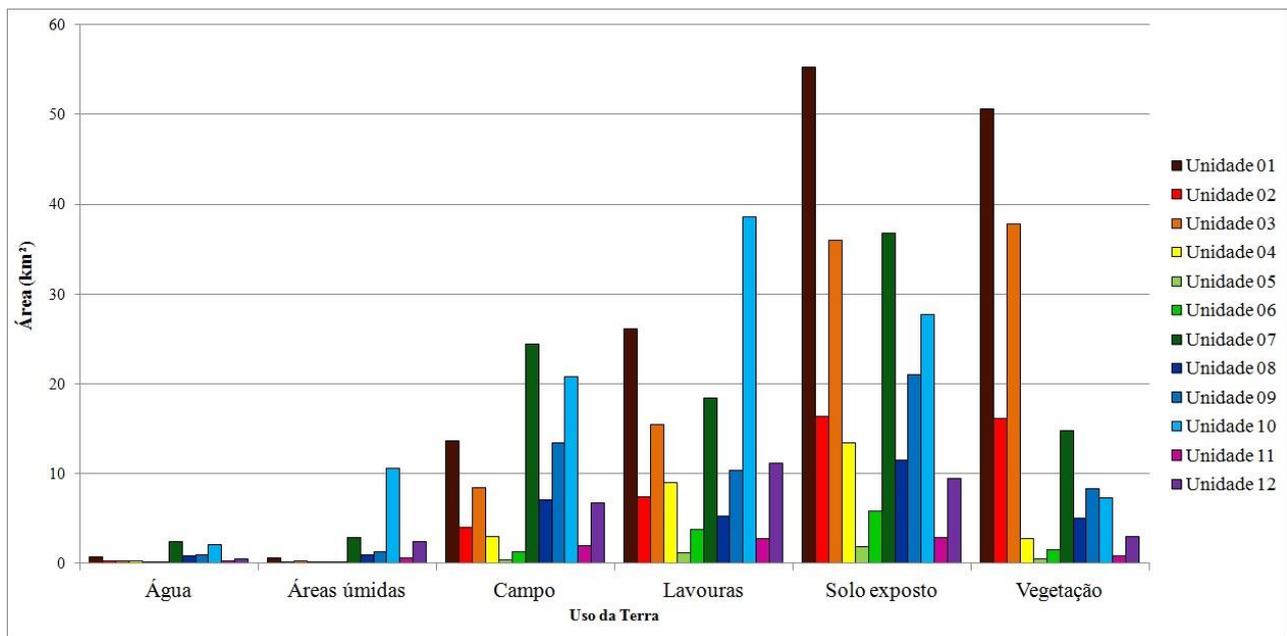
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Com a etapa de classificação dos distintos usos da terra do município, realizou-se a próxima etapa do referido trabalho, ou seja, a correlação entre as unidades de relevo com os usos da terra.

Assim, compararam-se as informações obtidas da base geomorfológica (das unidades de relevo) com os usos da terra, identificando a porcentagem de cada unidade presente em cada um dos usos, conforme exposto na Figura 12. Com a referida análise, fica nítido a eficiência de identificar qual das unidades de relevo está mais presente em cada uma das feições terrestres.

Com a análise da Figura 12, é visto que há algumas unidades que se sobrepõem sobre os usos da terra. No que tange aos corpos hídricos, denota-se que quase 50% do uso há a presença das unidades 7 e 10. O predomínio dessas unidades pode ser evidenciado pelo fato das mesmas serem caracterizadas por áreas de concentração de fluxo, uma vez que é o que existe no local, no que tange aos rios. Idêntico aos corpos hídricos, os campos houve um predomínio das unidades 7 e 10, com cerca de 40% da área.

Nas áreas úmidas houve um predomínio acentuado a respeito da unidade 10, com mais de 50% do uso. Novamente, a concentração de fluxo é a característica principal, junto a declividade menor que 5% e localizadas em áreas topograficamente mais baixas.



**Figura 12** - Porcentagem das unidades de relevo presente em cada classe de uso da terra.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

No que tange as lavouras, destaca-se o predomínio das unidades 10 e 1, juntas, totalizando mais de 40 % da área. Já, referente as áreas com solo exposto há o predomínio das unidades 1, 3 e 7 (cerca de 50 %).

Nas áreas de vegetação há o predomínio das unidades 1 e 3, totalizando quase 60 % da área. Nessas unidades, há como característica a probabilidade de ocorrência de erosão, porém, uma vez que as mesmas estão protegidas com a vegetação, há uma minimização dessa ocorrência.

A fim de minimizar as análises e, ao mesmo tempo, otimizar esses resultados, tem-se, por meio da correlação dos distintos usos da terra com as análises das unidades de relevo, subdividida em duas classes (tangenciando os critérios referente à erosão), a quantificação dos usos da terra mais propícios a ocorrência de processos erosivos. Assim sendo, a Figura 13 ilustra a referida questão. Analisa-se que, no que tange a área urbana, a mesma foi excluída da análise, uma vez que é uma área particular para a análise de processos erosivos, incompatível com a escala de mapeamento desse trabalho.

Junto a Figura 13, verifica-se, principalmente com a análise das áreas com tendência a ocorrência de processos erosivos que a maior parte dessas áreas está correlacionado a alguns usos da terra, com foco ao solo exposto (164 km<sup>2</sup>, que representam 24,5% da área) representado na Figura 14, à vegetação (120 km<sup>2</sup>, que representam 17,8 % da área), às lavouras (77 km<sup>2</sup>, que representam 11,5 % da área) e aos campos (68 km<sup>2</sup>, que representam 10,2% da área).

Verifica-se, especialmente com as análises referenciadas nesse trabalho, que a maior parte das áreas com probabilidade de ocorrência de processos erosivos estão localizadas em locais com

incidência de solo exposto. Assim sendo, verifica-se que tal questão é preocupante a esse tipo de processo, uma vez que a não proteção do solo, favorece a ocorrência dos processos erosivos.

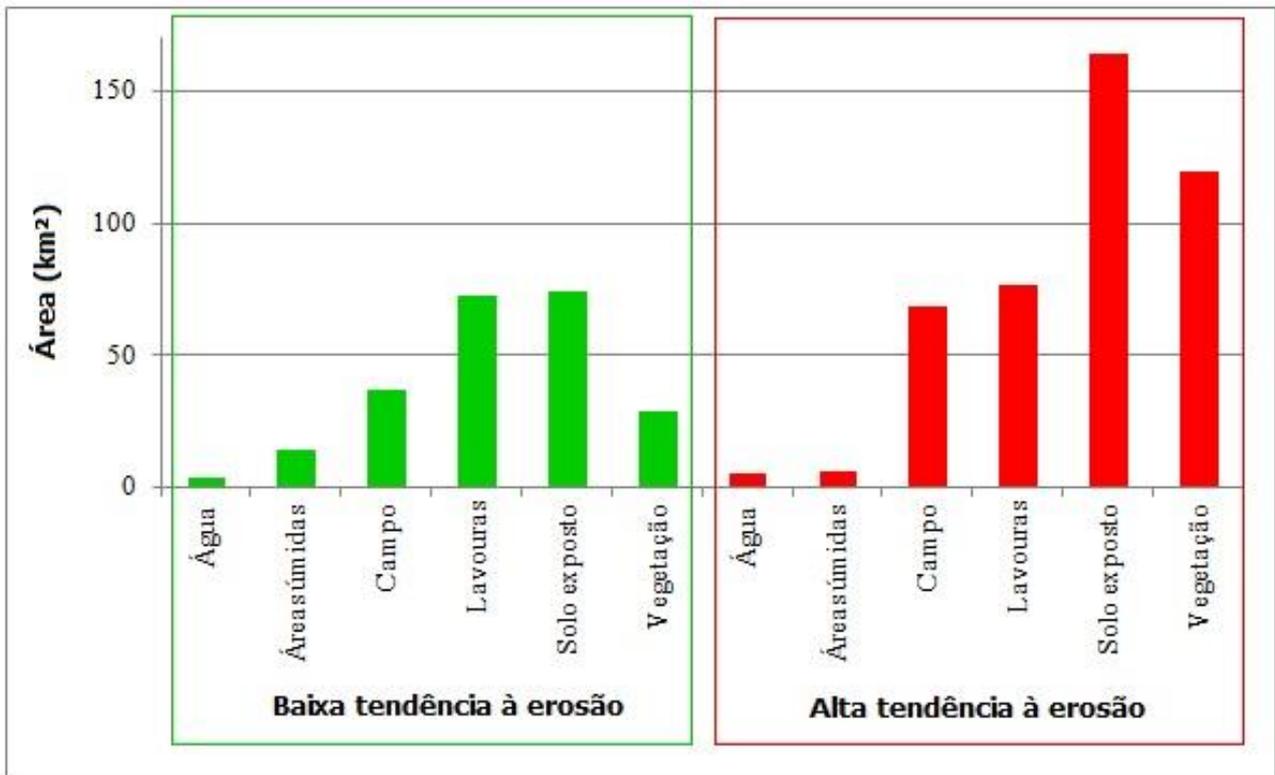


Figura 13 - Análise espacial entre uso da terra e tendência a erosão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

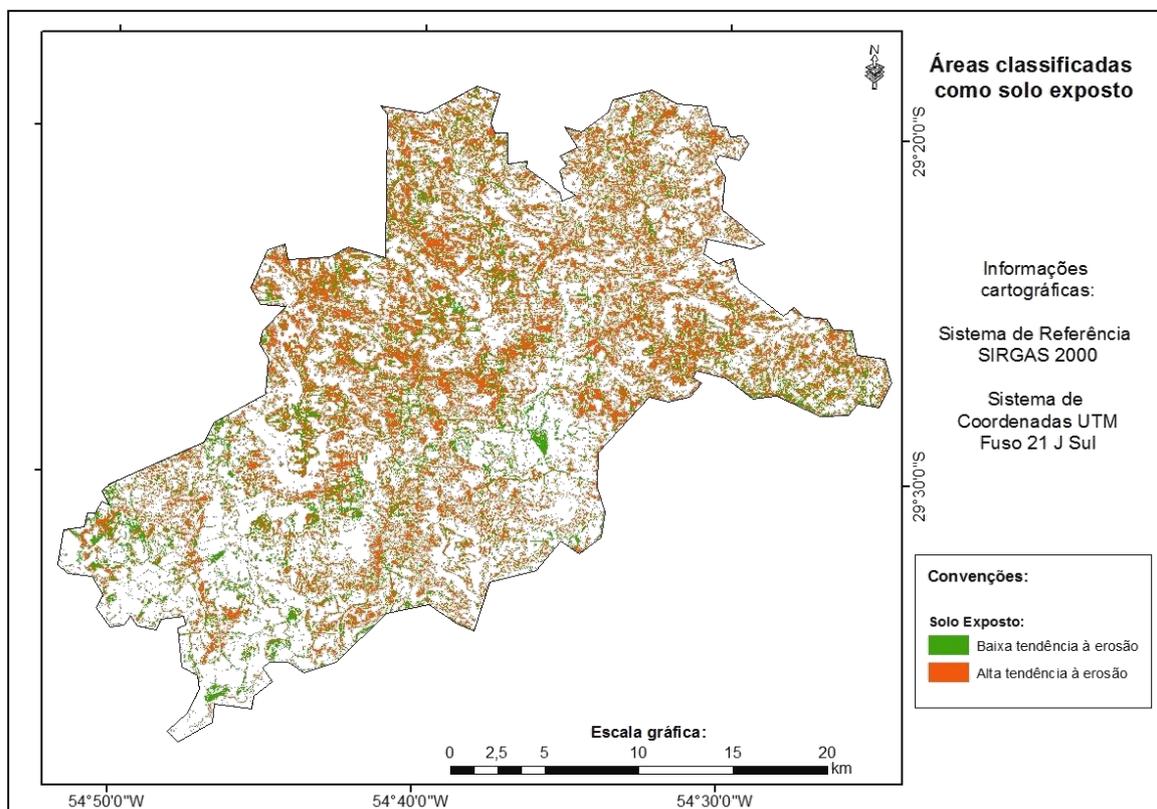


Figura 14 - Áreas classificadas como solo exposto: análise da tendência à ocorrência de processos erosivos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alerta-se que a implementação das rotinas desse trabalho, para a geração das 12 unidades de relevo, foi válida para verificar, inclusive, a caracterização e a quantificação dos usos da terra dispostos em áreas com tendência a ocorrência de processos erosivos. Dessa forma, pode-se analisar os usos do solo dispostos nas áreas com tendência a ocorrência de processos erosivos.

A utilização das ferramentas de geoprocessamento foi essencial para desenvolver todas as etapas metodológicas dessa pesquisa, junto a utilização da imagem do sensor Landsat 8 (com técnicas de sensoriamento remoto e PDI) para realizar a classificação digital dos distintos usos da terra a até o uso da imagem SRTM para obtenção dos atributos topográficos. Ainda, deve-se fazer referência a aplicação do SIG, sendo de grande importância na análise de dados múltiplos, na correlação de informações (unidades de relevo *versus* uso da terra).

Por fim, destaca-se que com a aplicação das rotinas metodológicas desse trabalho, gerando uma vasta gama de resultados, possibilitou identificar as características das unidades de relevo do município de Jaguari, auxiliando, inclusive, na identificação e entendimento de prováveis situações futuras no que tange a ocorrência de processos erosivos.

#### REFERÊNCIAS

ESRI (2012a). **Fill** (Spatial Analyst) - ArcGIS Help 10.1.

Disponível em:

<<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009z00000050000000>>. Acesso em 05 dez.2014.

ESRI (2012b). **Curvature** (Spatial Analyst) - ArcGIS Help 10.1. Disponível em:

<<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009z000000tw000000>>. Acesso em 05 dez.2014.

GUADAGNIN, P M A; TRENTIN, R. Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Arroio Caverá - RS. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v.16, n. 25, v.1, p.183-199, 2014.

GUIMARÃES, P R B. **Métodos Quantitativos Estatísticos**. IESDE Brasil S.A., 2007. 245 p.

HORN, B K P. **Hill shading and the reflectance map**. Proceedings of the IEEE, n. 69, v. 01, 1981, p. 14-47.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo/Brasil, 1981.

SILVEIRA, C T; SILVEIRA, R M P. **Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Vitória/ES, 2013.

ZEVENBERGEN, L W; THORNE, C R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography.  
**Earth Surface Processes and Landforms**, v.12, p.47-56, 1987.