

## **Análise geomorfológica multiescala de modelos numéricos de terreno**

Marcello Antonio Ventura Gorini  
Guilherme Lucio Abelha Mota

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, Rio de Janeiro, CEP: 20550-900, RJ, Brasil  
gorini@gmail.com, guimota@ime.uerj.br

**Abstract.** The world we live in and its complex landscapes result from the combined action of a multitude of processes operating in diverse temporal and spatial scales. In order to grasp the multi-scale character of such surfaces through digital terrain analysis, specific methods are needed to incorporate scale effects and ideally identify fundamental scales of the relief. The present paper introduces one such method based on the fuzzification of Wood's 1996 classification system for morphometric feature extraction. Through the analysis of the scale tendency of feature fuzzy memberships, local maximum scales of calculation are identified, yielding a classification of the fundamental features and scales of a digital elevation model (DEM). We develop and apply the method to a portion of the ocean floor offshore the northeastern United States using a GEBCO\_08 1,000 meter grid. The results show that the multi-scale feature map thus derived has a number of advantages with respect to Wood's original method, such as greater preservation of geomorphological information content, unsupervised constraining of the scales used and associated fundamental scale map. The scale map, in turn, has a number of possible applications that can lead to improved geomorphometric parameterization of surfaces, as well as to more complete frameworks for unsupervised landform classification systems.

**Palavras-chave:** fuzzy logic, scale tendency, morphometric features, Wood, lógica fuzzy, tendência de escala, feições morfométricas, Wood

### **1. Introdução**

O mundo em que vivemos e suas complexas paisagens só são assim percebidos devido à nossa habilidade natural de acessar múltiplas escalas de uma só vez. Escalas espaciais e temporais de diversas magnitudes agem conjuntamente para esculpir as superfícies geomorfológicas nas formas e contornos que podemos ver. Por outro lado, o que realmente somos capazes de ver depende dos nossos objetivos em relação a essas superfícies e da nossa habilidade de extrair informações pertinentes delas. No contexto da geomorfometria – a análise quantitativa das superfícies topográficas – essas informações são normalmente extraídas de Modelos Numéricos de Terreno (MNTs) através de uma gama de métodos de análise digital de terreno. De forma a arrecadar o máximo de informações possíveis dessas superfícies multiescala, o analista deve enfrentar a difícil (porém necessária) tarefa de escolher um número limitado de escalas para analisar ou algum tipo de sumário estatístico multiescala das variáveis em estudo. Contudo, esse tipo de escolha é normalmente não só arbitrária e subjetiva, como também suscetível a significativa perda de informações. Essa escolha raramente é um bom comprometimento entre o que existe para ser visto e o que simplesmente queremos ver.

O esforço de acessar o caráter multiescala de MNTs é ainda mais complicado se considerarmos o principal problema em geomorfometria, segundo Evans (1972) – o fato de que todas as medidas variam com a escala de análise. Escala, nesse contexto, pode ser definida como a combinação de duas características: a *resolução* do dado e a *extensão espacial* da análise. Goodchild e Quattochi (1997) explicam que variando-se uma ou ambas essas características, o valor do parâmetro medido tende a mudar, apresentando um efeito chamado de *tendência de escala*. Qualquer tentativa de se descrever completamente uma superfície deve então considerar sua inerente tendência de escala em um esforço de identificar escalas críticas ou dominantes, onde quebras significativas na tendência ocorrem. Esse procedimento, contudo, não é óbvio ou direto e, apesar de muito já ter sido escrito sobre o assunto como os trabalhos de Gallant e Hutchinson (1997), Schmidt e Andrew (2005), Dragut et al. (2009) e Behrens et al. (2009), ainda há a necessidade de metodologias robustas para a identificação de tais escalas, especialmente de forma automatizada.


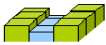
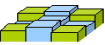
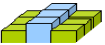

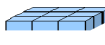
O presente trabalho tem como objetivo identificar essas escalas - aqui chamadas de *escalas fundamentais*. Trabalhamos com a hipótese de que *não há razão geral para se medir uma propriedade em uma escala discrepante da escala da feição geomorfológica local*. Essa premissa

simples nos oferece uma estrutura metodológica robusta para a identificação das escalas fundamentais: primeiro, devemos identificar as *feições fundamentais* do relevo e então obter as escalas mais características de tais feições. Para tanto, utilizamos uma abordagem que tem como base o método de extração de feições morfométricas de Wood (1996), porém o desenvolve em um número de maneiras através da utilização de Lógica Fuzzy e da análise detalhada da tendência de escala das feições morfométricas. O resultado é a geração não só de um mapa de escalas fundamentais, como também um mapa de feições morfométricas mais rico em informações. Nós avaliamos no decorrer do trabalho se esse tipo de análise pode eventualmente contribuir para o desenvolvimento de abordagens multiescala mais completas e objetivas do que as atualmente disponíveis na literatura.

## 2. O método de Wood

Wood (1996) criou um sistema de classificação que subdivide uma superfície em seis tipos de feições morfométricas - *fossas, picos, canais, cristas, passos e planos*. Esse sistema, conforme apresenta a Tabela 1, é baseado em quatro parâmetros geomorfométricos – *gradiente, curvatura transversal, máxima e mínima* - combinados através de nove regras. As regras, por sua vez, utilizam limiares *crisp* que identificam o menor gradiente para que uma superfície seja considerada íngreme e a menor curvatura para que ela seja considerada convexa ou côncava.

Tabela 1: Sistema de classificação de Wood (1996) para a extração de feições morfométricas. “X” significa que o parâmetro não é utilizado na classificação.

	<b>Fossa</b> 	<b>Canal</b> 		<b>Passo</b> 	<b>Crista</b> 		<b>Pico</b> 	<b>Plano</b> 	
<b>Gradiente</b>	horizontal	horizontal	íngreme	horizontal	horizontal	íngreme	horizontal	horizontal	íngreme
<b>Curvatura transversal</b>	X	X	côncava	X	X	convexa	X	X	planar
<b>Curvatura mínima</b>	côncava	côncava	X	côncava	planar	X	convexa	planar	X
<b>Curvatura máxima</b>	côncava	planar	X	convexa	convexa	X	convexa	planar	X

Com o objetivo de incorporar os efeitos da escala em suas análises, Wood (1996) isola os componentes da escala, fixando a resolução do MNT e variando o tamanho da janela local utilizada no cômputo das variáveis geomorfométricas. Dessa maneira, ele consegue estabelecer graficamente a tendência de escala não só dos parâmetros geomorfométricos, como também de feições morfométricas.

No caso das feições morfométricas, Wood sumariza os efeitos da escala através de um mapa modal, ou seja, um mapa contendo a feição que mais se repete ao longo das escalas estudadas. No entanto, Fisher et al. (2004) apontam um número de limitações que persistem no método:

- limiares de gradiente e curvatura devem ser arbitrados pelo analista;
- a escala máxima de análise, ou seja, o tamanho máximo da janela local utilizada, também é arbitrada pelo analista, e;
- o cálculo assume pesos idênticos para todas as escalas de análise.

Além disso, há uma crescente planificação do mapa morfométrico resultante com o aumento da escala, ocasionando uma perda crescente de informações e uma constante mudança do mapa modal de acordo com a escala máxima utilizada. A metodologia proposta tem como objetivo minimizar essas limitações, modificando o algoritmo original de forma a obter as feições e escalas fundamentais do terreno.

### 3. Metodologia Proposta

#### 3.1 Fuzzificação das Feições Morfométricas

A primeira etapa do trabalho foi então *fuzzificar* o sistema de Wood (1996). Segundo Fisher (2000b) e Fisher et al. (2004), a Lógica Fuzzy se adapta bem à modelagem da natureza vaga das formas topográficas, permitindo a representação de conceitos conflitantes como por exemplo, *horizontal* e *íngreme*, a partir de conjuntos fuzzy, conforme apresenta a Figura 1. Assim, um mesmo local pode, simultaneamente, ser considerado horizontal e íngreme, mas com graus de pertinência diferentes. Estendendo-se esse princípio para o sistema de classificação morfométrica, temos que um mesmo local pode apresentar diferentes graus de pertinência a mais de um tipo de feição. Isso possibilita uma análise muito mais detalhada da tendência de escala das feições morfométricas, como veremos na seção 3.2.

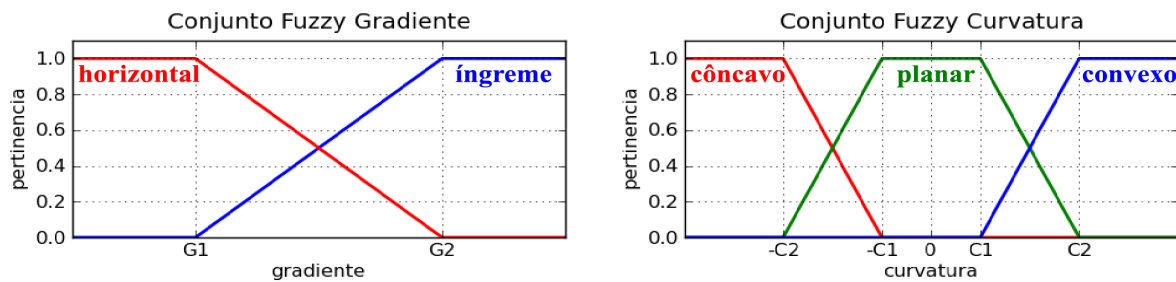


Figura 1. Conjuntos fuzzy que substituem os limiares *crisp* da abordagem original.

O sistema fuzzy proposto utiliza as mesmas regras que o método original de Wood, porém, cada regra resulta em uma classe distinta, ou seja, *canais*, *cristas* e *planos* que eram individualmente gerados por duas regras, agora dividem-se em duas sub-classes: uma classe *horizontal* e uma classe *íngreme*, como pode ser percebido na Tabela 1.

No sistema, os antecedentes das regras são combinados através do operador fuzzy  $E$  que corresponde à definição *t-norm mínimo*. A fim de exemplificar este procedimento, a Equação 1 apresenta o cálculo do consequente da regra fuzzy associada à classe morfométrica *crista íngreme*.

$$\mu_{crista\ íngreme}(grad(s), ctransv(s), s) = \min[\mu_{íngreme}(grad(s)), \mu_{convexo}(ctransv(s))] \quad (1)$$

onde  $grad(s)$  e  $ctransv(s)$  correspondem respectivamente aos valores das variáveis morfométricas gradiente e curvatura transversal medidas numa determinada escala  $s$  enquanto  $\mu_{íngreme}$  e  $\mu_{convexo}$  representam as pertinências aos conceitos nebulosos *íngreme* e *convexo*.

No presente trabalho, a agregação dos consequentes produzidos pelas regras fuzzy é feita através do *s-norm máximo*. Este procedimento é apresentado na equações (2) e (3).

$$\mu_{feição}(s) = \max_{\forall i \in \Omega} [\mu_i(grad(s), ctranv(s), cmin(s), cmax(s))] \quad (2)$$

$$feição(s) = \arg \max_{\forall i \in \Omega} [\mu_i(grad(s), ctranv(s), cmin(s), cmax(s))] \quad (3)$$

onde  $\mu_{feição}(s)$  é a pertinência máxima obtida em cada escala,  $feição(s)$  é a feição extraída e  $\Omega$  é o conjunto que compreende as nove classes de feições morfométricas.

#### 3.2 Definição da Escala Máxima de Análise

Aplicando-se o sistema a crescentes escalas de análise, podemos analisar graficamente a variação das pertinências fuzzy, ou seja, a tendência de escala de cada uma das nove feições morfométricas, conforme apresenta a porção superior da Figura 2. As pertinências variam em um padrão ondulatório como se buscassem por escalas onde a pertinência máxima, ou seja, aquela referente à feição extraída em uma dada escala, seja consideravelmente maior que as pertinências secundárias, conferindo um caráter estável à classificação. Essa estabilidade pode, então, ser medida, nos oferecendo um critério objetivo para a definição da escala máxima local de análise: é a escala onde a estabilidade é perdida pela primeira vez.

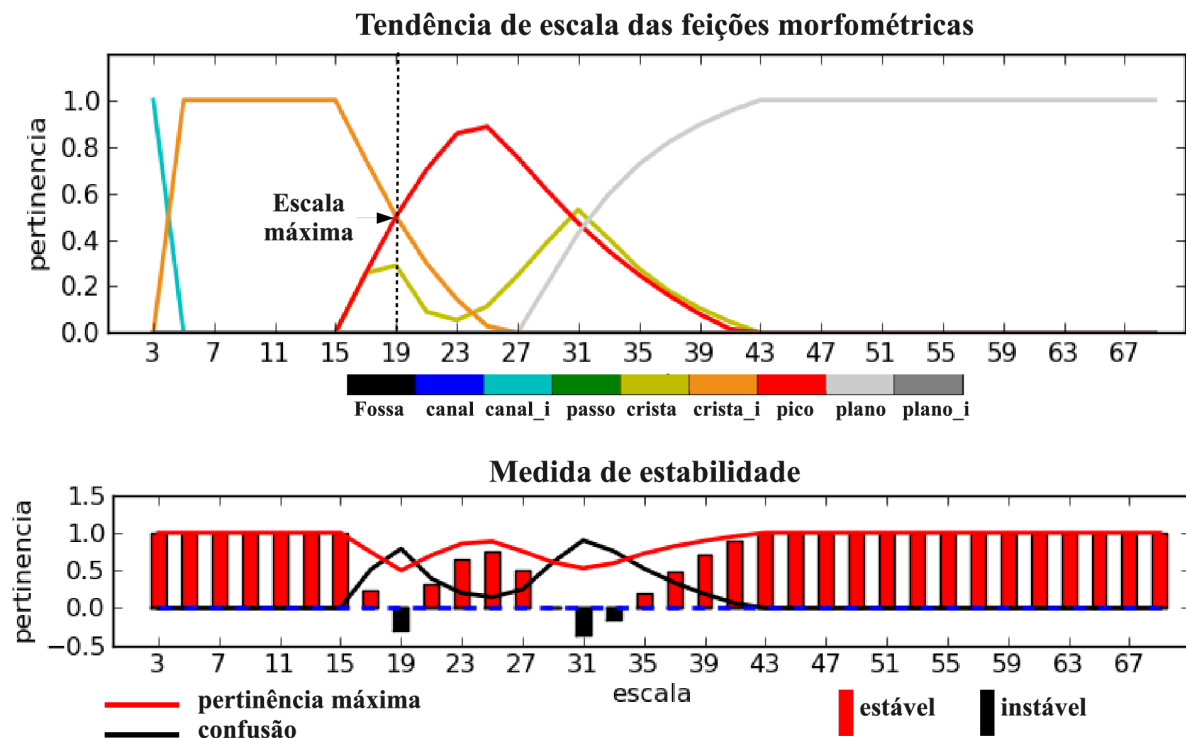


Figura 2. Definição da escala máxima local de análise. Acima, vê-se o padrão ondulatório das pertinências fuzzy das feições morfométricas. Abaixo, uma medida de estabilidade é introduzida para identificar a primeira escala onde a estabilidade é perdida (linha preta tracejada).

A ideia conceitual é permitir que ao menos uma feição estável seja extraída, sem no entanto, expandir demasiadamente a escala de análise, incorrendo em grande tempo de processamento e na obtenção de feições não tão significativas. Para o cálculo da estabilidade, a Equação 4 introduz uma medida diferente do índice de confusão utilizado em trabalhos como o de Burrough et al. (1997).

$$ME(s) = \arg \max_{\forall i \in \Omega} \mu_i(s) - \sum_{\forall i \in \left\{ \Omega - \arg \max_{\forall i \in \Omega} \mu_i(s) \right\}} \mu_i(s) \quad (4)$$

A porção inferior da Figura 2 demonstra graficamente os componentes da Equação 4. A medida de estabilidade  $ME$  (barras pretas e vermelhas) é obtida a partir da diferença entre a pertinência máxima  $\arg \max \mu_i(s)$  (linha vermelha) e a soma das pertinências secundárias  $\mu_i(s)$  (linha preta). Quando a linha preta corta a linha vermelha para cima, a medida de estabilidade torna-se negativa (barras pretas) e considera-se, então, que a estabilidade foi perdida. Dessa forma, a medida  $ME$  apresenta um limiar de estabilidade implícito e não arbitrado pelo analista. A escala onde a medida torna-se negativa é, então, definida como a escala máxima local de análise (linha preta tracejada).

Além disso, ainda usando o exemplo da Figura 2, caso a estabilidade não fosse perdida, a escala máxima seria definida como aquela onde uma feição *plano horizontal* é extraída pela primeira vez, no caso, a escala 33x33. Essa restrição é necessária porque com o aumento da escala, eventualmente uma feição *plano horizontal* será sempre extraída, causando um efeito de planificação indesejável (como demonstrado na Figura 7). Dessa forma, partimos do princípio que toda feição morfométrica verdadeiramente plana deve ser composta por outras feições planas de menor escala espacial, caso contrário, representa a obliteração de feições morfométricas não-planas locais. Assim, independentemente da perda de estabilidade ocorrer, definimos a escala onde uma feição *plano horizontal* é extraída como o limite máximo local de análise.

### 3.3 Obtenção das Feições e Escalas Fundamentais

A partir do agora restrito conjunto de escalas consideradas localmente, deve-se obter algum tipo de sumário estatístico das feições extraídas de forma a definir a feição fundamental. Wood utiliza a moda estatística, ou seja, ele identifica a feição que mais se repete ao longo das escalas

consideradas. Para esse cálculo, ele atribui pesos iguais para cada escala. A presente abordagem explora a utilização de pesos diferenciais para cada escala, buscando harmonizar os efeitos (i) da imprecisão dos dados, os quais normalmente apresentam ruído, levando à extração de feições errôneas em escalas pequenas; e (ii) da limitação do próprio método, o qual extrai feições que representam cada vez mais aproximações do relevo real à medida que a escala aumenta. A Figura 3 mostra a função *peso de escala* considerada. Como escala máxima para a construção de tal função, utilizou-se o limite operacional do software empregado (69x69 células).

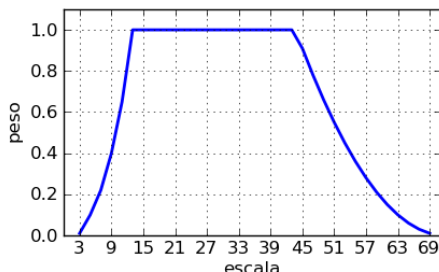
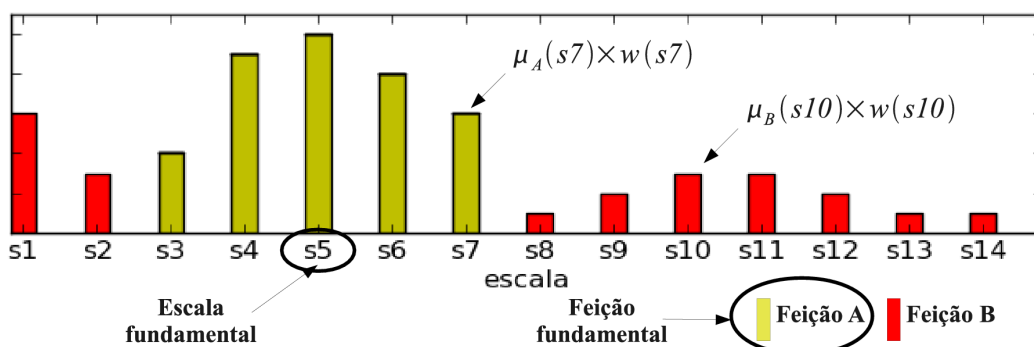


Figura 3. Função *peso de escala*.

A Figura 4 demonstra gráfica e numericamente a obtenção da feição e da escala fundamental. Inicialmente, obtém-se, a partir da Equação 5, funções discriminantes,  $g_i$ , equivalentes à soma das pertinências fuzzy de cada feição  $i$  ponderadas pelo peso  $w$  em todas as escalas  $s$  em que a feição é encontrada. A Equação 6 define então a feição fundamental  $j$  como aquela que apresenta o maior valor de  $g_i$ . Note que esta não é necessariamente a feição que mais se repete ao longo das escalas. No exemplo esquemático da Figura 4, a feição A é extraída menos vezes que a feição B, no entanto, apresenta a maior soma ponderada de pertinências, sendo considerada a feição fundamental. Por sua vez, a escala fundamental corresponde ao centróide de todas as escalas onde a feição fundamental foi extraída.



$$g_i = \sum_{\forall s \in S} \mu_i(s) \times w(s) \Rightarrow \text{Soma ponderada das pertinências} \quad (5)$$

$$j = \arg \max_{\forall i \in \Omega} g_i \Rightarrow \text{Feição fundamental} \quad (6)$$

$$\text{centróide}(\mu_j(s)) \Rightarrow \text{Escala Fundamental} \quad (7)$$

Figura 4. Esquema demonstrativo do cálculo das feições e escalas fundamentais a partir das pertinências fuzzy das feições morfométricas ponderadas pelo peso de escala.

## 4. Procedimento Experimental

### 4.1 Área de Estudo

A metodologia e os resultados aqui apresentados foram desenvolvidos utilizando-se um MNT extraído da base global de dados topográficos do fundo dos oceanos GEBCO\_08 (“*General Bathymetric Charts of the Oceans*”) com resolução de trinta segundos do arco. O MNT foi reinterpolado para uma resolução de mil metros em projeção Mercator e representa uma porção do



setor nordeste da margem continental dos Estados Unidos, desde o Banco George ao norte até o Canyon Hudson ao sul, conforme apresenta a Figura 5. A região é uma típica margem passiva, ou do tipo atlântico, apresentando plataforma, talude e elevação continentais bem desenvolvidos e é uma das regiões mais bem estudadas do mundo. A área de estudo engloba ainda parte dos montes submarinos que formam a Cadeia de New England e parte da planície abissal de Sohm.

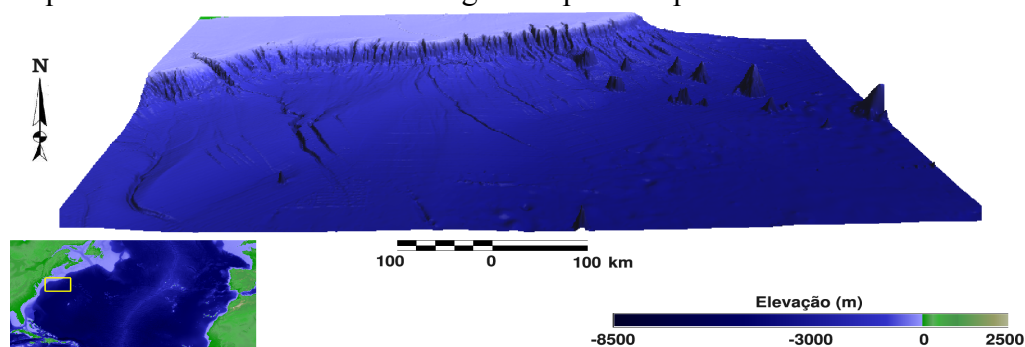


Figura 5. Área de estudo – setor nordeste da margem continental dos Estados Unidos.

#### 4.2 Resultados e Discussão

A Figura 6 apresenta o resultado principal da metodologia, na forma de um mapa de feições fundamentais e um mapa de escalas fundamentais. Apesar de a análise ter englobado todas as escalas desde 3x3 até 69x69, a legenda do mapa de escalas nos mostra que a maior escala fundamental obtida foi 43x43, demonstrando a extensão máxima significativa de uma janela local que deve ser aplicada à área de estudo. Comparando-se ambos os mapas, podemos notar, por exemplo, que todo o ruído do dado original (como listras paralelas devido aos levantamentos originais de batimetria multi-feixe) foi claramente identificado no mapa de escalas (tons de cinza claro), porém não constam do mapa de feições, graças ao uso da função *peso de escala*. Note também que montes submarinos maiores apresentam tonalidades progressivamente mais escuras, demonstrando escalas fundamentais coerentemente maiores. Grandes feições lineares como a quebra da plataforma e a base do talude continental também apresentam tonalidades mais escuras, mostrando que apesar de o método não levar em consideração a anisotropia do relevo, tais feições foram corretamente identificadas como persistentes por várias escalas de análise.

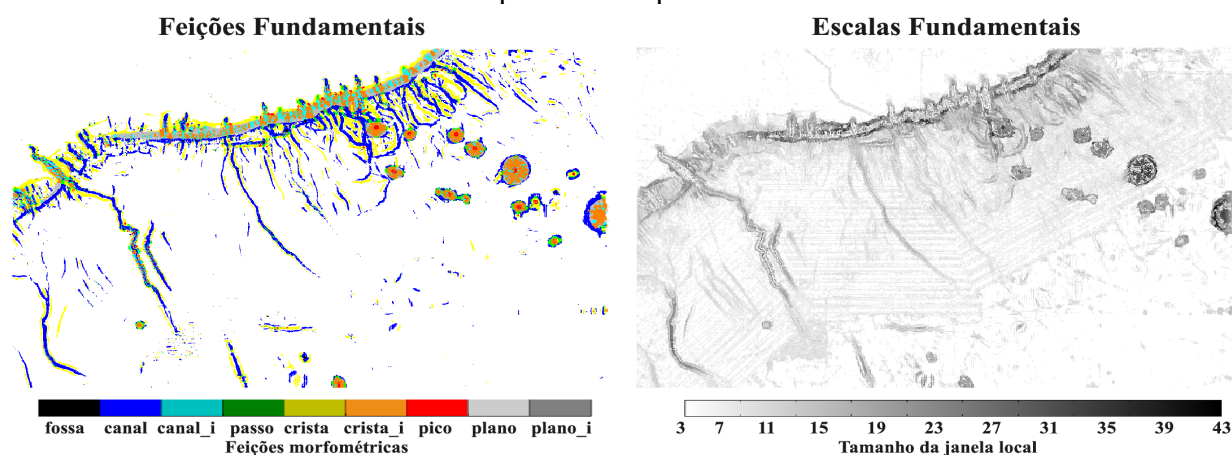


Figura 6. Mapa de feições morfométricas fundamentais e mapa de escalas fundamentais.

A Figura 7 traz mapas de feições morfométricas modais produzidos com a abordagem original de Wood a partir de diferentes escalas máximas. O mapa modal 69x69 leva em consideração as mesmas escalas utilizadas na presente abordagem e demonstra o efeito deletério da planificação das feições quando escalas muito grandes são consideradas. Quase todas as feições são obliteradas, restando apenas os montes submarinos mais proeminentes e pequenas porções do talude continental. Se utilizarmos escalas máximas menores como 49x49 ou mesmo 29x29, a planificação

ainda é grande. Mesmo no mapa 29x29, nota-se uma continuidade bem menor dos canyons submarinos existentes na área, até mesmo deixando escapar por completo uma grande feição como o Canyon do Higrógrafo. Note que esta feição foi identificada na Figura 6, no mapa de feições fundamentais, produzido pelo método proposto.

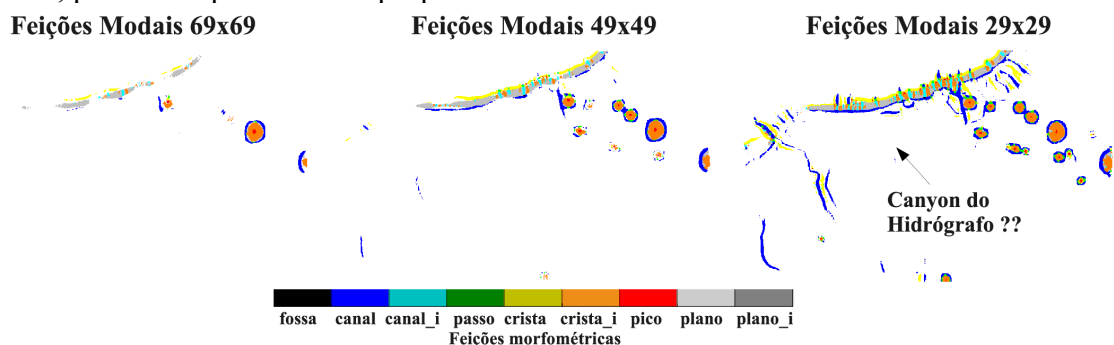


Figura 7. Mapas de feições morfométricas modais obtidos a partir do método original de Wood (1996) utilizando-se diferentes escalas máximas de análise.

Se variarmos a escala máxima de análise desde 3x3 até 69x69 e gerarmos os respectivos mapas modais de Wood, eventualmente identificaremos aquele que melhor representa a área de estudo. A opinião dos autores é que este mapa seria o referente à escala 19x19, cuja visualização em três dimensões é encontrada na Figura 8 (à esquerda). Podemos notar que a grande maioria das feições importantes foi extraída. Comparando-o com o mapa fundamental (à direita), notam-se grandes semelhanças. No entanto, enquanto a decisão pelo mapa modal em questão demandou uma laboriosa apreciação subjetiva de trinta e quatro mapas, o mapa fundamental foi obtido de maneira automática e não-supervisionada, ainda assim sendo capaz de captar grande parte da estrutura geomorfológica inerente ao relevo da área.

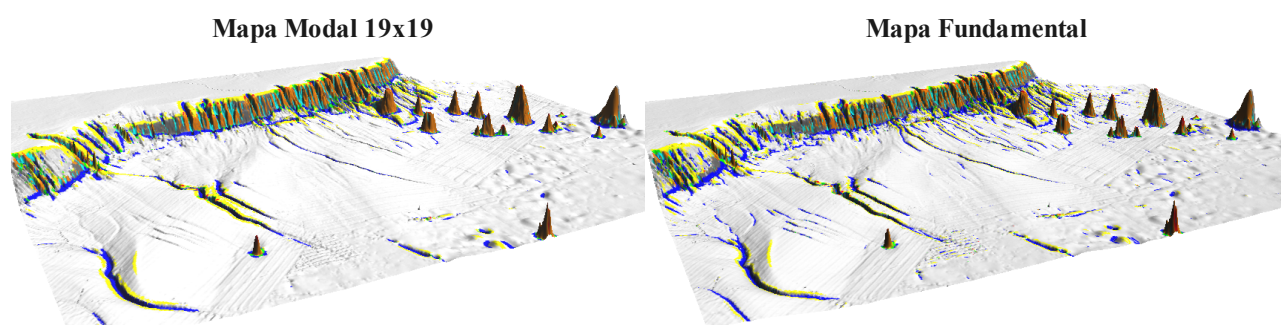


Figura 8. Visualização em três dimensões do melhor mapa modal (19x19) e do mapa fundamental.

Os testes preliminares realizados sugerem que o método apresentou avanços na direção de uma descrição mais fiel de MNTs, captando feições formadas em diferentes situações geomórficas e com diversas escalas de expressão no relevo. No entanto, algumas limitações ainda persistem. Por exemplo, uma das maiores utilidades na detecção de escalas é eventualmente produzir melhores representações paramétricas. Para isso, é interessante que as escalas a serem usadas no cálculo de parâmetros geomorfométricos reduzam-se em áreas rugosas onde há mais detalhes importantes e ampliem-se em áreas mais monótonas. No entanto, o mapa de escala denota escalas muito pequenas em todas as regiões caracterizadas por feições planas, onde o relevo é notoriamente suave. Isso é coerente para o processo de extração de feições e demanda um tempo de processamento mais baixo, porém, tal mapa não é o ideal na produção de parâmetros geomorfométricos multiescala.

Outro inconveniente refere-se à criação dos conjuntos fuzzy que modelam os conceitos *horizontal*, *íngreme*, *côncavo*, *convexo* e *plano*. Assim como na definição dos limiares utilizados no método original de Wood, no presente trabalho, os conjuntos são definidos manualmente. Contudo, em função de características específicas do MNT sob análise, como, por exemplo, sua resolução espacial, ou das características geomorfológicas da área em estudo, os parâmetros e as formas do

conjuntos fuzzy podem vir a demandar ajustes. Por outro lado, a função *peso de escalas* utilizada mostrou-se bastante genérica e transferível, reforçando, juntamente com a definição automática das escalas máximas de análise, o caráter promissor dos resultados ora obtidos e encorajando a continuidade da pesquisa por novas representações multiescala de modelos numéricos de terreno.

#### 4. Conclusão

O trabalho objetivou estudar a natureza multiescala de modelos numéricos de terreno em uma tentativa de identificar suas escalas fundamentais. Partindo do princípio que tais escalas devem corresponder às feições fundamentais do relevo, a abordagem proposta corresponde a uma versão fuzzy do método de extração de feições morfométricas de Wood (1996). Apesar das limitações que ainda persistem, considera-se que o resultado foi promissor, uma vez que o mapa de feições fundamentais foi produzido de forma não supervisionada e apresentou um conteúdo geomorfológico ainda mais completo do que mapas modais de Wood, aparentemente captando melhor a estrutura multiescala do relevo. O mapa de escalas fundamentais, por sua vez, foi capaz de caracterizar desde ruídos até grandes feições fisiográficas, sugerindo inúmeras aplicações possíveis. Dentre elas, destacam-se a obtenção de mapas paramétricos multiescala que melhor reflitam a estrutura topográfica e a possibilidade de se caracterizar diferentes tipos de terreno e/ou feições fisiográficas a partir de sua tendência de escala. Esperamos que métodos como esse possam eventualmente levar a estudos mais completos do ponto de vista geomorfológico do que abordagens restritas à escala inerente à resolução do dados ou a uma escala arbitrária apenas.

#### 5. Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos à fundação de amparo à pesquisa do estado do Rio de Janeiro (Faperj) pelo apoio financeiro fornecido ao projeto IOBAC; e a todos os pesquisadores citados no presente trabalho, cujas realizações foram nossa fonte de inspiração.

#### 6. Referências Bibliográficas

- Behrens, T.; Zhu, A.; Schmidt, K.; Scholten, T. Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. **Geoderma**, 10258, pp. 11, 2009.
- Burrough, P.A.; van Gaans, P.F.M.; Hootsmans, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. **Geoderma**, v. 77, p. 115-135, 1997.
- Dragut, L.; Schauppenlehner, T.; Muhar, A.; Strobl, J.; Blaschke, T. Optimization of scale and parametrization for terrain segmentation: An application to soil-landscape modeling. **Computers & Geosciences**, v. 35, p.1875-1883, 2009.
- Evans, I.S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In **Spatial Analysis in Geomorphology**. London, Harper & Row, 1972. pp. 17-90.
- Fisher, P. F. Sorites paradox and vague geographies. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 113, p. 7-18, 2000b.
- Fisher, P.; Wood, J.; Cheng, T. Where is Helvellyn? Fuzziness of multiscale landscape morphometry. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 29, n. 1, p. 106-128, 2004.
- Gallant, J.C.; Hutchinson, M.F. Scale dependence in terrain analysis. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 43, p. 313-321, 1997.
- Goodchild, M.F.; Quattrochi, D.A. Scale, multiscaling, remote sensing and GIS. In: Goodchild, M.F.; Quattrochi, D.A. (Eds.). **Scale in Remote Sensing and GIS**. London, CRC Press, 1997. p. 1-11.
- Schmidt, J.; Andrew, R. Multi-scale landform characterization. **Royal Geographical Society (with The Institute of British Geographers)**, v. 37, n. 3, p. 341-350, 2005.
- The GEBCO\_08 Grid, version 20100927, <http://www.gebco.net>
- Wood, J. The geomorphological characterisation of digital elevation models. 1996. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Leicester, Leicester, UK.