

Síntese de Modelos de Elevação Digital a partir de Análise de Dados Reais

Leandro Cruz, Luiz Velho
VISGRAF Lab - Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada
Rio de Janeiro, Brazil
wwwimpa.br/~{lcruz, lvelho}

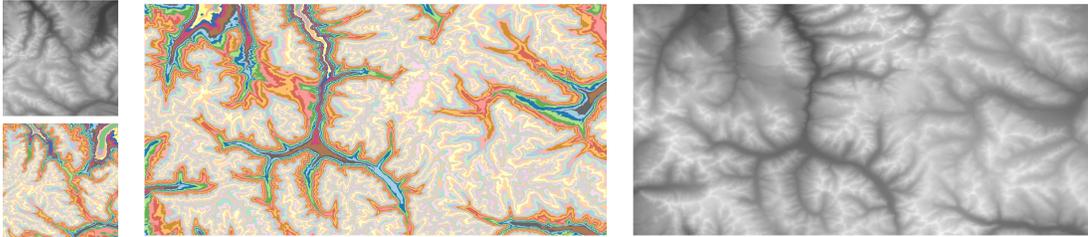


Figura 1. A partir da análise de um exemplar real (esquerda), recriamos um modelo com as mesmas propriedades do dado de entrada (centro), e a partir dele sintetizamos um novo terreno (direita).

Resumo—We will present a combination of techniques for analysis and synthesis of terrains, which the goals are, from a real data, to create a model satisfying the same properties inferred in the input data. For the presented methods, we will discuss the pros and cons related to the macro, meso and micro features of a terrain.

Keywords—Analysis and Synthesis of Terrain; Real Data.

Resumo—Apresentaremos uma combinação de técnicas de análise e síntese de terrenos que visam, a partir de um dado real, criar um modelo satisfazendo as mesmas propriedades inferidas no dado de entrada. Discutiremos os pros e contras dos métodos abordados em relação a macro, meso e micro características de um terreno.

Palavras-chave—Análise e Síntese de terrenos; Dados Reais.

I. INTRODUÇÃO

O problema de síntese de terrenos está sendo estudado há quase quatro décadas. Podemos dividir os métodos propostos em quatro categorias: procedurais, simulação, baseados em sketches, e baseados em dados reais. Atualmente já se conhece métodos bastante sofisticados para criar certas características de um terreno. Contudo, em geral, esses métodos são mais eficientes para criar modelos relativamente pequeno (em escala ou em resolução). Ainda não existe uma solução satisfatória para criar uma grande paisagem, heterogênea, satisfazendo propriedades geomorfológicas reais, a partir de uma especificação que não exija do usuário um profundo conhecimento sobre fenômenos naturais.

Os primeiros métodos propostos eram puramente procedurais utilizando uma abordagem fractal [1], [2]. Terrenos fractais são visualmente semelhantes à uma cadeia de montanha. Contudo, uma análise um pouco mais criteriosa desse modelo identifica que essa abordagem não reproduz a grande maioria dos fenômenos geomorfológicos. Por essa razão, surgiram vários métodos utilizando simulações de certos fenômenos naturais (como, por exemplo, erosão hidráulica) [3]. Embora

essa abordagem seja a mais bem desenvolvidas, em geral, seus métodos provêm pouco controle ao usuário, possuem um alto custo computacional, e estão associados a fenômenos muito específicos. Para aprimorar o controle da especificação de certas características do terreno, surgiram algumas abordagens utilizando sketches [4].

Além dessas abordagens, recentemente surgiram alguns métodos que sintetizam terrenos a partir de exemplares reais. Entre os métodos propostos, já há soluções para controlar as macro [5], e as meso características de um terreno [6]. Além disso, os métodos que utilizam uma abordagem Markoviana para síntese são capazes de reproduzir meso e micro características do modelo, mesmo sem uma especificação explícita. Embora os métodos de síntese baseada em dados possuam propriedades bastante promissoras para a criação de terreno, essa abordagem ainda foi pouco explorada.

Nesse trabalho, pretendemos colaborar para o avanço da área de síntese de terrenos, tendo em vista os objetivos listados acima. Proporemos uma abordagem que a partir de uma análise de um Modelo de Elevação Digital (DEM, do inglês *Digital Elevation Model*) real, sintetiza um novo terreno com as mesmas propriedades identificadas na etapa de análise. A Figura 1 exibe um esquema ilustrativo da nossa proposta (o resultado exibido é ilustrativo; não foi gerado pelo nosso método, pois ainda estamos trabalhando em certas etapas intermediárias). A partir de um exemplar fornecido (imagem na parte superior da primeira coluna) realizaremos uma etapa de análise. Um exemplo basea-se em clusterizar esse modelo por alturas (imagem exibida na parte inferior da primeira coluna), e realizar uma análise estatística dessa clusterização. Em seguida, reproduziremos um mapa com uma divisão espacial em regiões satisfazendo as mesmas propriedades inferidas na clusterização do exemplar (imagem central). Finalmente, criaremos o DEM com algum método de síntese, baseado clusterização criada na etapa anterior (imagem a direita).

II. MÚLTIPLOS NÍVEIS DE UM TERRENO

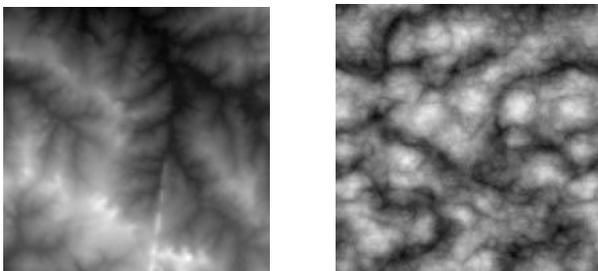
Assumiremos que um grande modelo topográfico está dividido em três níveis: macro, meso e micro. A seguir, apresentaremos exemplos de elementos de cada nível:

- *Macro*: continentes/oceanos; biomas (desertos, cordilheiras, serras, etc.); grandes relevos (planalto e planície; montanhas/morro, vulcões, canyons, ilhas; rios e lagos;
- *Meso*: cumes, vales, penhascos; correços; cavernas; certas formações rochosas;
- *Micro*: pequenas erosões, pequenas rochas; tipo do terreno (arenoso, barroso, com vegetação, etc).

Os autores deste trabalho não conhecem um método para síntese de terreno capaz de criar um modelo satisfazendo fenômenos naturais relacionados com cada nível. Os métodos conhecidos reproduzem bem algumas características geomorfológicas de um ou dois níveis. Acreditamos que a criação de um modelo grande e heterogêneo (com diversos elementos com características distintas) deve ser feita especificando adequadamente características de cada nível, tais como: quais elementos estarão presentes em cada nível, quais são suas propriedades, e como eles se relacionam.

Infelizmente, modelar muitos fenômenos naturais, em diferentes níveis, e as possíveis relações entre elementos adjacentes (por exemplo: a transição entre elementos, e pares de elementos que não podem ser adjacentes) é proibitivo devido a enorme quantidade de possibilidades. Mesmo restringindo a quantidade de fenômenos considerados, ainda é necessário levar em conta que, em geral, os usuários não terão o conhecimento necessário sobre tais fenômenos naturais e suas implicações. Devido a isso, podemos partir de uma especificação das características mais relevantes, e delegar a outros procedimentos a criação das demais. Além disso, podemos utilizar métodos capazes de reproduzir certas características presentes em modelos reais sem uma descrição explícita.

Desta forma, estamos adotando nessa pesquisa uma abordagem para sintetizar terrenos que considera seus efeitos nos três níveis a partir da especificação das características mais relevantes. Devido a dificuldade de especificar detalhadamente os três níveis, proporemos métodos que criam terrenos combinando técnicas de análise e síntese baseadas em descritores de dados reais. Esses descritores estão sendo desenvolvidos com o objetivo de permitir a reprodução de certos fenômenos naturais, mesmo sem uma especificação explícita.



(a) Terreno real

(b) Gerado por *Value Noise*

Figura 2. Modelos muito distintos com a mesma distribuição de alturas.

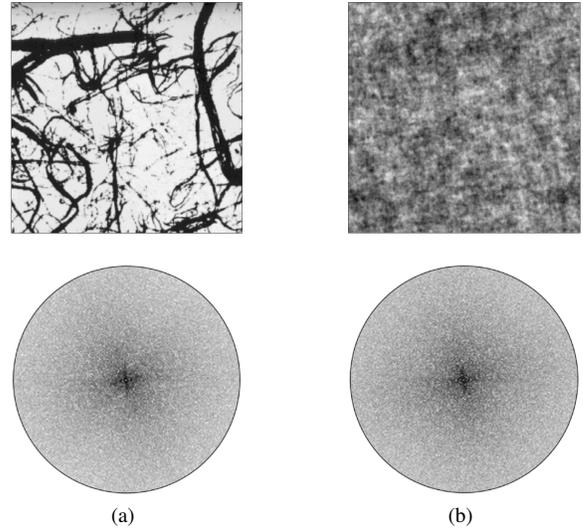


Figura 3. Imagens com o mesmo espectro de frequência (extraídas de [8]).

III. ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE E SÍNTESE DE TERRENO

Nesta seção, discutiremos algumas estratégias para análise e síntese de terrenos, seus prós e contras, quais características de cada nível de terreno são apropriadamente criadas, e possíveis direções que podem ser tomadas para aprimorar tais métodos.

A. Histogramas

Parberry [7] propôs uma abordagem para geração de terrenos baseada em dados reais combinando um processo de análise a partir da construção de um histograma de alturas, e fazendo síntese utilizando *Value Noise*. A filosofia adotada neste trabalho é semelhante a utilizada pelos primeiros métodos de síntese de terreno: gerar modelos visualmente bons. Contudo, ser visualmente bom não significa ser realista (e portanto, impróprio para certas aplicações). Essa técnica parte de duas suposições incompatíveis com a natureza: a distribuição da ocorrência de intervalos de altura (histograma de altura) descreve adequadamente um terreno; e que o método de *Value Noise* gera um modelo geomorfológicamente correto.

A Figura 2 ilustra como um modelo gerado por *Value Noise* possui características bastante diferentes de um terreno real, mesmo que ambos possuam histogramas de altura semelhantes. Isso ocorre porque tal descritor não define nenhuma correlação entre os dados, visto que analisa apenas uma distribuição de ocorrência de alturas. Além disso, o método de *Value Noise* consegue criar uma distribuição de macro estruturas de um terreno (grandes oscilações de alturas lembram morros), bem como pequenos detalhes (pequenas oscilações lembram detalhes de um terreno). Contudo, esse modelo não é capaz de gerar meso estruturas, como fenômenos de erosão.

Métodos de simulação de erosão e alguns métodos guiados por exemplares são capazes de criar modelos com cumes e vales de morros bastante realistas. Zhou et. al. [6] destaca o quanto essas características são importantes para a percepção da qualidade do modelo. E o método proposto por Pasberry falha nessa métrica de qualidade.

B. Análise Espectral

O mesmo que ocorre na análise de distribuição espacial de alturas, ocorre com a distribuição de frequências. A Figura 3 mostra um exemplo de duas imagens bastante diferentes que apresentam o mesmo espectro de frequências. Da mesma forma que o histograma de alturas não capta correlação entre os dados em seu domínio espacial, a Transformada de Fourier também não capta a correlação das frequências.

Bruna e Mallat [8] propuseram uma abordagem para análise e classificação de dados baseada nos *Operadores de Scattering*. Esse descritor apresenta uma análise espectral mais sofisticada do que a realizada pela Transformada de Fourier sendo capaz de distinguir as imagens exibidas em Figura 3, possibilitando representar o dado em multirresolução (o que viabilizaria uma decomposição nos três níveis propostos).

Além disso, esse operador pode ser utilizado para síntese de modelos com a mesma dimensão do exemplar através de deformações em coeficientes de baixa ordem. Contudo, ainda não se sabe como utilizar essa abordagem para criar, com algum grau de controle, um modelo com resolução arbitrária.

C. Clustering

Conforme discutido anteriormente, um dos problemas de descritores globais, como histogramas de altura e frequência, é a incapacidade em estabelecer a correlação entre os dados. Podemos citar alguns exemplos de correlação: a distribuição dos pontos em determinados intervalos de altura, a presença de descontinuidade, os níveis de rugosidade, presença e densidade de meso estruturas, tipos de transição entre regiões distintas (ou seja, fenômenos naturais que ocorrem na fronteira entre dois elementos distintas).

Como a descrição dessa correlação de uma forma adequada com a natureza é uma tarefa árdua, quando não proibitiva, uma possibilidade de estabelece-la implicitamente é agrupando pontos (clustering) de um terreno real de acordo com certos critérios. É claro que o critério utilizado define todas as propriedades do agrupamento, e portanto deve ser feito com cuidado (por exemplo, pode se inspirar em certos fenômenos naturais). Nesta nossa pesquisa (em andamento), realizamos alguns testes clusterizando terrenos por altura, rugosidade, e densidade de pontos classificados como cumes ou vales.

Descrever um terreno a partir de clusterização de alturas, embora simples, já é capaz de captar diversas propriedades implícitas dado que, em geral, pontos vizinhos que tem alturas semelhantes, e portanto tendem a ser agrupados, passam por fenômenos naturais distintos. Além disso, analisando um terreno não muito grande, dois pontos com alturas semelhantes, mesmo que relativamente distantes tendem a conter características geomorfológicas semelhantes (a medida que o tamanho do terreno aumenta essa suposição passa a ser falsa). Esse descritor é bastante eficiente para descrever (e portanto re-sintetizar) características do nível macro.

A clusterização por rugosidade é capaz de captar características derivadas de erosão: diferentes rugosidades estão relacionadas com diferentes fenômenos de erosão. A dificuldade deste passo está em definir a métrica de rugosidade. Por ora, estamos

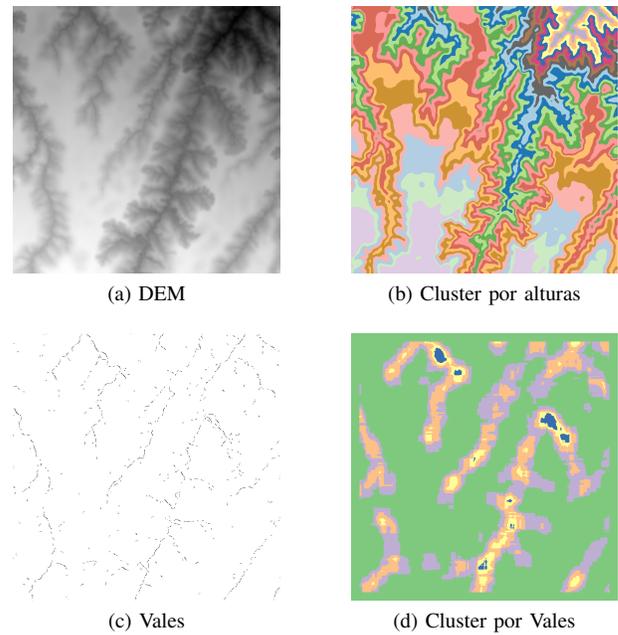


Figura 4. Descritores de terrenos.

supondo que um terreno real foi gerado utilizando o método *Midpoint Displacement Mapping (MDM)* [2]. Dessa forma, assumimos que a rugosidade é a variância na vizinhança de cada ponto. Devido a fragilidade dessa suposição (análoga ao dito para o método Value Noise), estamos pesquisando novas formas para determinar uma métrica para a rugosidade. Esse método MDM é eficiente para adicionar detalhes ao modelo. Dessa forma, podemos usá-lo no nível micro, e usar outras abordagens para os demais níveis.

A clusterização por densidade de pontos de cumes (ou vales) é uma forma explícita de descrever um fenômeno natural bastante importante, conforme citado anteriormente. Um método para calcular tais pontos é o PPA (*Profile recognition and Polygon-breaking Algorithm*) [9]. Esse algoritmo tem três passos: identificar os pontos candidatos a serem cumes (ou vales), ou seja, pontos que são máximos (ou mínimos) locais em alguma direção; criar um perfil desses pontos, ou seja, conectar todos esses pontos vizinhos, que por estarem dispostos em um grid regular criará uma cadeia de triângulos, ou segmentos conectados (pontos, segmentos e triângulos isolados são descartados); e finalmente, simplificar essa estrutura para obter uma cadeia de curvas que descreva globalmente a forma da estrutura dos cumes (ou vales). Para o processo de clusterização, apenas o primeiro passo é suficiente. Contudo, para futuras análises, a estrutura final pode ser interessante. Ainda não temos um método eficiente para gerar um terreno a partir de uma especificação por cumes e vales, mas acreditamos que métodos de morfologia poderão produzir bons resultados. Além disso, podemos utilizar essa abordagem para aprimorar a qualidade de um modelo básico contendo as macro características do modelo, e em seguida usar alguma outra técnica para adicionar detalhes (micro características).

Podemos combinar esses três descritores para termos uma clusterização mais adequada. Além disso, essa combinação possibilita obter uma representação do terreno nos três níveis.

A síntese de terreno a partir da análise por clusterização pode ser feita em duas etapas. A primeira consiste em obter um mapa, do tamanho do modelo a ser sintetizado, contendo uma subdivisão espacial em clusters satisfazendo as propriedades estatísticas inferidas a partir da clusterização do dado de entrada. A segunda etapa consiste em gerar o terreno de acordo com esse mapa.

Entre essas propriedades estatísticas podemos citar, para cada classe, a quantidade de clusters, a área média e variância de seus tamanhos. Uma forma de criar esse mapa é distribuir aleatoriamente sementes de clusters, satisfazendo a proporção de quantidade de clusters por cada classe, e crescer essas regiões, utilizando um algoritmo de avanço de frentes, em pontos ainda não definidos, de modo que a escolha da região que será ampliada deve satisfazer as propriedades de média e variância da área previamente estabelecidas.

Este método de avanço de frentes satisfaz as propriedades estatísticas listadas. Contudo, ainda não sabemos como podemos garantir que ele também satisfaça outras restrições como: manter características relacionadas com a geometria da fronteira das regiões, e estabelecer relações de adjacência.

Uma vez criado o mapa de clusters, podemos usar algum método baseado em exemplar para sintetizar o interior de cada região. A vantagem dessa abordagem é que os pontos no interior de cada cluster serão adequadamente sintetizados, satisfazendo correlações de acordo com a natureza (uma vez que isso está presente nos exemplares). Contudo, se sintetizarmos isoladamente cada região, a transição entre clusters adjacentes será inadequada. Uma outra maneira é utilizar o método proposto por Cruz et. al. [5], criando um guia (um DEM contendo a baixa escala do terreno a ser sintetizado) a partir do mapa de clusterização. No caso de clusterização por altura, a criação desse guia pode ser feita definindo uma vizinhança em torno das fronteiras entre regiões, e interpolar as alturas nessa vizinhança; ou criar um DEM aonde cada ponto receberá uma altura relativa a seu cluster e depois convoluir esse modelo com um filtro que suavize o dado.

D. Decomposição em Relevos

As estratégias de clusterização descritas anteriormente podem ser utilizadas para identificar um elemento geomorfológico, gerando uma decomposição do dado de entrada. Podemos recriar um modelo de terreno a partir de composições desses elementos previamente identificados.

Ainda não conseguimos resultados consistentes nessa abordagem, mas estamos conjecturando que poderemos definir a fronteira de um elemento a partir de uma análise de curvas de cumes e vales (possivelmente auxiliados por variações de rugosidades e/ou regiões quase planas).

Uma vez que resolvermos o problema de decomposição, podemos criar uma representação vetorial do modelo a ser sintetizado, contendo as curvas de cada elemento e possivelmente traços relacionados com outras características do modelo, e a

partir dessa descrição podemos utilizar o método introduzido por Cruz et. al [10] para fazer edições na distribuição da posição dessas regiões.

Uma outra possibilidade é distribuir esses elementos no modelo a ser sintetizado, utilizar uma abordagem de interpolação na região de transição entre esses modelos. Em seguida, podemos utilizar a técnica proposta por Cruz et. al. [5] para sintetizar a região de transição, usando a interpolação previamente criada como guia.

IV. CONCLUSÃO

O objetivo dessa pesquisa é aprimorar a capacidade das técnicas de síntese de terrenos de criar modelos de paisagens, heterogêneos, satisfazendo propriedades geomorfológicas reais, a partir de uma especificação simples. Para tal, apresentamos três descritores de DEM, inspirados em diferentes fenômenos naturais, cada um relacionado com características de um dos níveis de um terreno. Apresentamos também, estratégias de análise e síntese de terrenos baseadas nesses descritores, que combinadas, possibilitam a criação de uma paisagem com diferentes características, nos múltiplos níveis.

O principal desafio desta pesquisa é obter um método de síntese capaz de reproduzir as propriedades inferidas por um dado descritor. Embora hajam passos intermediários dos quais ainda não alçamos uma solução adequada, os resultados parciais que obtivemos nos mostram que essa direção é bastante promissora. As seguintes etapas dessa pesquisa se focarão no aprimoramento dos descritores, e na capacidade das técnicas de síntese de replicar as propriedades inferidas. Além disso, trabalharemos também para aprimorar o controle de certas características.

AGRADECIMENTO

Gostaríamos de agradecer a CAPES que suporta o primeiro autor com uma bolsa de Pós-doutorado.

REFERÊNCIAS

- [1] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman and Co, 1983.
- [2] A. Fournier, D. Fussell, and L. Carpenter, "Computer rendering of stochastic models." *Communications of the ACM*, 1982.
- [3] J.-D. Genevaux, E. Galin, E. Guerin, A. Peytavie, and B. Benes, "Terrain generation using procedural models based on hydrology." *ACM SIGGRAPH*, 2013.
- [4] F. P. Tasse, A. Emilien, M.-P. Cani, S. Hahmann, and A. Bernhardt, "First person sketch-based terrain editing." *Graphics Interface Conference*, 2014.
- [5] L. Cruz, L. Velho, E. Galin, A. Peytavie, and E. Guerin, "Patch-based terrain synthesis." *GRAPP*, 2015.
- [6] H. Zhou, J. Sun, G. Turk, and J. Rehg, "Terrain synthesis from digital elevation models." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2007.
- [7] I. Parberry, "Designer worlds: Procedural generation of infinite terrain from real-world elevation data." *Journal of Computer Graphics Techniques*, 2014.
- [8] J. Bruna and S. Mallat, "Invariant scattering convolution networks." *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2013.
- [9] Y.-C. Chang, G.-S. Song, and S.-K. Hsu, "Automatic extraction of ridge and valley axes using the profile recognition and polygon-breaking algorithm." *Computers and Geosciences*, 1998.
- [10] L. Cruz, L. Velho, D. Lucio, E. Galin, A. Peytavie, and E. Guerin, "Landscape specification resizing." *CLEI*, 2014.