



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112014019836-5 B1



(22) Data do Depósito: 11/02/2013

(45) Data de Concessão: 08/03/2022

(54) Título: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UM MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL DE RESOLUÇÃO MELHORADA

(51) Int.Cl.: G06T 17/05.

(30) Prioridade Unionista: 13/02/2012 ZA 2012/01016.

(73) Titular(es): STELLENBOSCH UNIVERSITY.

(72) Inventor(es): ADRIAAN VAN NIEKERK.

(86) Pedido PCT: PCT IB2013051117 de 11/02/2013

(87) Publicação PCT: WO 2013/121340 de 22/08/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 11/08/2014

(57) Resumo: MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL. A presente invenção refere-se a um método de produção de um DEM de resolução melhorada que usa dados de contorno para melhorar a precisão de um DEM original que será fornecido em que o DEM original foi fundido com um DEM intermediário interpolado de contornos em que o DEM intermediário tem uma resolução maior do que a resolução nativa do DEM original. A fusão é realizada de uma maneira que a informação de contorno domina apenas em áreas onde a densidade de contorno é significativamente mais elevada do que o DEM original. O DEM intermediário de preferência tem uma resolução de vários fatores superiores ao DEM original. O DEM intermediário pode ser produzido por meio da conversão do DEM original para pontos, seguido por meio do processamento destes pontos usando uma ferramenta de interpolação apropriada tal que as células do DEM intermediário e o DEM modificado combinam substancialmente perfeitamente.

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UM MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL DE RESOLUÇÃO MELHORADA".**

**Campo da Invenção**

[0001] A presente invenção refere-se a um modelo de elevação digital (abreviado aqui em DEM) e, mais particularmente, a um DEM de resolução melhorada, que é derivado a partir de informações que utilizam informação de elevação digital disponível que é acessível, independentemente do DEM existente.

**Antecedentes da Invenção**

[0002] Há uma necessidade de DEMs melhorados ou de alta resolução das regiões geográficas para as quais informações suficientemente detalhadas estão disponíveis em relação a, pelo menos, as partes da região.

[0003] Várias técnicas têm sido empregadas para tentar fornecer DEMs aprimorados ou uma resolução superior com base na informação disponível, que é insuficiente para assegurar o desenvolvimento direto de um DEM de alta resolução.

[0004] Em um exemplo, um DEM melhorado foi interpolado a partir de uma escala de contornos 1:50000 (intervalo vertical de 20m) usando um algoritmo desenvolvido pela Universidade Nacional da Austrália. Uma região em relação ao qual tal DEM foi desenvolvido é a região do Cabo Ocidental da África do Sul e que cujo DEM particular será referido na presente invenção como WCDEM. Não obstante as versões posteriores de outros DEMs cobrindo as regiões específicas, como a da província de Western Cape, WCDEM continua a ser o DEM de escolha para muitas aplicações para essa região. Isto é principalmente devido à sua relativamente alta resolução espacial, consistência e precisão.

[0005] Os Centros de análise geográfica, como o Centro de Análi-

se Geográfica (CGA) na África do Sul receberam pedidos frequentes para DEMs mais detalhados (por exemplo, escala maior).

[0006] A ideia de combinar várias fontes de dados de elevação em um único DEM foi, consequentemente, uma progressão lógica. Experimentos mostraram, no entanto, que a incorporação de várias fontes (e escalas) de dados de elevação em algoritmos de interpolação existentes muitas vezes produz resultados insatisfatórios. Exemplos destes são "costuras" visíveis em zonas de transição entre as diferentes fontes de forma de escala; artefatos como resultado de inconsistências entre as fontes de dados e "texturas" do tipo grade devido à fusão de dados com diferentes resoluções de amostragem.

[0007] Usando a África do Sul como exemplo, os 1:50.000 mapas topográficos oficiais que estão disponíveis e que mostram os contornos e alturas pontuais, continuam a ser uma fonte primária de dados de elevação, uma vez que são os únicos dados oficiais previstos cobrindo todo o país. Estes contornos de 20m (intervalo vertical) e alturas pontuais foram digitalizados pela Diretoria Chefe Nacional de Informação Geoespacial Sul-Africano (CDNGI) e estão disponíveis gratuitamente para o público.

[0008] Recentemente, CDNGI também disponibilizou 1:10000 contornos (variando de 5m a 20m intervalo vertical) e alturas pontuais, que foram digitalizados a partir do mapa em série de ortofoto 1:10000 e o CGA tem produzido muitos DEMs de resolução muito elevada (<20m) a partir de dados de contorno 1:10000 escalados, onde esta informação está disponível, e imagens estereográficas aéreas e de satélite. Infelizmente, este conjunto de dados cobre apenas 43% da África do Sul.

[0009] Além disso, o CDNGI desenvolveu um DEM de 25m (também conhecido como o "arquivos ORT") que cobre algumas partes da África do Sul.

[00010] Outras fontes de dados de elevação cobrindo a África do Sul incluem o DEM GTOPO30 a 1 km; Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) a 90 m; DEM Global a 30m (GDEM) e vários DEMs em grande escala que foram desenvolvidos para projetos específicos que são normalmente restritos a áreas muito pequenas.

[00011] O DEM GTOPO30, DEM SRTM e GDEM são geralmente considerados inadequados para algumas aplicações (por exemplo, a modelagem de enchentes, geomorfometria, engenharia civil), devido às suas relativamente baixas resoluções (30m ou menos) e qualidade. Por exemplo, o chamado ASTER-GDEM contém anomalias, tais como padrões de nuvem e efeitos residuais de banda. ASTER significa Emissão Termal Spaceborne Avançada e Reflexão Radiométrica que é um sensor japonês que é um dos cinco dispositivos sensoriais remotos a bordo do satélite Terra lançado em órbita da Terra pela Nasa em 1999. O instrumento tem vindo a recolher dados superficiais desde fevereiro de 2000 e oferece altas imagens de alta resolução do planeta Terra em 15 faixas diferentes do espectro eletromagnético, desde o visível à luz infravermelha térmica. A resolução de imagens varia entre 15 a 90 metros. Dados ASTER são usados para criar mapas detalhados de temperatura da superfície da terra, emissividade, reflectância e elevação.

[00012] O chamado DEM SRTM contém algumas áreas sem informações de elevação (ou seja, vazios). O Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) é um esforço de pesquisa internacional que obteve o DEM em uma escala quase global de 56°S a 60°N, para gerar o banco de dados de alta resolução topográfica digital mais completo da Terra antes da primeira liberação do ASTER GDEM em 2009. SRTM utilizou um sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour. A precisão vertical do DEM SRTM é, contudo, relativamente alta (~ 6m), o que o torna uma fonte atraente para

aplicações regionais.

[00013] Os contornos não são ideais para interpolação dos DEMs como suas densidades variam de acordo com declividade. As áreas de baixo relevo são particularmente problemáticas uma vez que os contornos são muitas vezes demasiadamente espaçados (horizontalmente), reduzindo a confiabilidade das interpolações em tais áreas. A densidade de controlo é ainda mais reduzida, como o intervalo vertical dos aumentos de contornos (ou seja, contornos com um intervalo vertical de 5m geralmente produzem um DEM melhor do que contornos com um intervalo vertical de 20m) e com o aumento da escala (ou seja, contornos com um intervalo vertical de 20m capturado em escala 1:10000 geralmente contêm mais detalhes do que contornos com o mesmo intervalo vertical capturado em escala 1:50000).

[00014] Para aliviar o problema de baixas densidades de contorno em áreas de terreno moderado, alturas pontuais adicionais são mostradas frequentemente em locais estratégicos nos mapas topográficos e ortofotos. Embora, a qualidade de um DEM possa ser melhorada através da incorporação destes pontos de elevação no processo de interpolação, a densidade combinada de pontos de entrada (ou seja, de contornos vértices e alturas pontuais) é muitas vezes insuficiente para representar mudanças sutis no terreno (por exemplo, as planícies aluviais e as margens de rios), especialmente em algumas áreas onde os pontos de entrada podem ser vários quilômetros de distância.

[00015] Existe consequentemente uma necessidade para o desenvolvimento de um procedimento para a produção de DEM de maior resolução ou melhorada da informação existente que pode não ser suficientemente detalhada, em si mesmo, para permitir a produção direta de uma resolução mais elevada de DEM.

### **Sumário da Invenção**

[00016] De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção

é proporcionado um método de produção de um DEM de resolução melhorada, que utiliza dados de contorno para melhorar a precisão de um DEM original, compreendendo o método de fusão, com o DEM original, de um DEM intermediário interpolado a partir de contornos em que o DEM intermediário tem uma resolução maior do que a resolução nativa do DEM original, a fusão que está sendo realizada de forma que as informações de contorno dominam apenas em áreas onde a densidade de contorno é significativamente maior do que os DEMs originais.

[00017] De acordo com um segundo aspecto da presente invenção é proporcionado um método de produção de um DEM de resolução melhorada, compreendendo as seguintes etapas de:

1. Interpolar um DEM de alta resolução a partir de dados de contorno adequados para produzir um DEM intermediário;

2. Interpolar ou reamostrar um DEM original para a mesma resolução que o DEM intermediário gerado na etapa 1 para produzir um DEM modificado;

3. Derivar um gradiente raster de inclinação tanto do DEM intermediário quanto do DEM modificado;

4. Adicionar um pequeno valor constante (por exemplo, 1) ao resultado da etapa 3 para garantir que todos os valores sejam maiores do que 1;

5. Calcular o logaritmo do resultado da etapa 4 e salvar o resultado como um novo rastreador ;

6. Usar um filtro espacial médio para generalizar o resultado da etapa 5;

7. Normalizar o resultado da etapa 6 para uma gama de entre 0 e 1, usando-se uma escala linear;

8. Multiplicar os valores do DEM intermediário com o resultado da etapa 7;

9. Inverter o resultado da etapa 7;
10. Multiplicar o resultado da etapa 9, com o resultado da etapa 2; e,
11. Adicionar o resultado da etapa 10 para o resultado da etapa 8.

[00018] Outras características da presente invenção proporcionam o DEM intermediário a ter uma resolução de vários fatores mais elevados do que o DEM original; para o DEM original sendo o DEM SRTM; para o gradiente de inclinação derivado na etapa 3 para ser de seletivamente derivado do DEM intermediário ou DEM modificado com a seleção normalmente é que de que a saída é geralmente melhor (mais suave) e comumente sendo o DEM intermediário; para a etapa 1 ser realizada recorrendo a um instrumento selecionado de TopoToRaster\_sa; Spline; Vizinho mais próximo; e Kiging com preferência para TopoToRaster\_sa; para a etapa 2 ser realizada por conversão do DEM original de pontos usando, por exemplo, a ferramenta RasterToPoint\_conversion seguido por meio do processamento destes pontos usando uma ferramenta de interpolação apropriada tal como a ferramenta Sline\_sa tal que as células do DEM intermediário e o DEM modificado combinam substancialmente perfeitamente; e para a etapa 4 ser realizada usando a ferramenta Plus\_sa no ArcGIS.

[00019] Ainda outras características da presente invenção prevêem erros de atributos nos contornos digitalizados e alturas no local a serem corrigidas, pelo menos até certo ponto, antes da interpolação para produzir o DEM intermediário; por erros espaciais como lacunas e desembaralhamentos de contornos nas bordas das folhas de mapa a serem corrigidos, pelo menos até certo ponto, antes de interpolação para produzir o DEM intermediário; para espaços vazios no DEM original a serem preenchidos com valores de elevação interpolados a partir dos

contornos corrigidos e alturas pontuais antes de produzir o DEM modificado; e para picos de elevação do DEM original a serem removidos enquanto corrigindo os contornos e alturas pontuais.

[00020] É para ser entendido que na etapa 5 o uso de uma transformação logarítmica de inclinação do terreno é importante, porque produz um histograma melhor distribuído e impede o domínio do DEM original durante a fusão.

[00021] A etapa 6 também pode ser chamada de um filtro-passa baixo ou suavização da operação circundante.

[00022] Ao realizar o método da presente invenção, o detalhe do DEM original será melhorado e, dessa maneira, atualizado em áreas montanhosas e de colina, onde o intervalo de contorno horizontal é maior do que a resolução nativa do DEM original, em questão, enquanto a integridade do DEM original está mantida em áreas de terreno moderadas.

[00023] A fim de que a presente invenção possa ser mais completamente entendida uma aplicação será agora descrita com mais pormenores, a título de exemplo, com referência aos desenhos anexos.

### **Breve Descrição dos Desenhos**

[00024] Nos desenhos: -

[00025] A Figura 1 é uma ilustração esquemática de uma grande área dividida em áreas de mapeamento individuais;

[00026] a Figura 2 é um exemplo de sombras de colina de uma área coberta por um DEM SRTM original; e,

[00027] a Figura 3 é um exemplo de tons de colina da mesma área de processamento seguinte de acordo com a presente invenção.

### **Descrição Detalhada com Referência aos Desenhos**

[00028] No exemplo da presente invenção descrito abaixo três conjuntos de dados de entrada foram usados para desenvolver, de acordo com a presente invenção, um DEM atualizado de áreas limitadas da

Africa do Sul. A metodologia para melhorar os detalhes de DEM existente usou os contornos disponíveis a partir de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

[00029] Foi dada preferência a contornos de grande escala (ou seja, 1:10000) e alturas pontuais, enquanto que os dados de escala menor (ou seja, 1:50000) só foram usados em áreas onde os dados em larga escala não estavam disponíveis. O procedimento utilizou os contornos combinados e os pontos de elevação com o DEM SRTM (versão "grade de pesquisa").

[00030] Um método automatizado foi desenvolvido para detectar e corrigir até mesmo os menores erros nos dados. Além disso, foi desenvolvido um método para fundir os dados de elevação de diferentes fontes e escalas de modo que "os efeitos de borda" foram minimizados.

[00031] Os principais problemas verificados com os dados de entrada foram relacionados a atribuir erros nos contornos digitalizados e alturas pontuais; erros espaciais como lacunas e contornos de desembaralhamento nas bordas das folhas de mapa; e espaços vazios no DEM SRTM.

[00032] Atributos de erros referem-se a casos em que as elevações armazenadas no campo "ALTURA" de contornos e alturas pontuais foram incorretamente capturados a partir dos mapas originais. Um algoritmo foi desenvolvido e implementado para identificar e corrigir tais erros. O algoritmo analisa os perfis verticais (seções transversais) criados em intervalos regulares (determinado por meio da extensão do contorno menor) dentro de uma área especificada de encontrar erros. Cada perfil é normalizado (ou seja, a distância horizontal entre contornos é unificada) e testado contra um conjunto de regras topológicas. O algoritmo não só identifica contornos incorretos (ou sequências de contornos), mas também "corrige" erros, analisando cada perfil.

[00033] As correções foram então verificadas por um operador. Cerca de 1% (2926 de 3.479.217) dos contornos que foram usados como entrada para as correções de atributo necessárias para a interpolação de contorno. Centenas de edições espaciais foram exigidas. Pontos de alturas que eram suscetíveis de estarem incorretos foram identificados por meio da comparação de suas alturas para a altura do contorno mais próximo (corrigido). Se a diferença de altura absoluta era mais do que duas vezes o intervalo vertical do contorno, em seguida, a altura do ponto foi etiquetada como "provavelmente incorreta". Estes pontos foram excluídos do processo de interpolação.

[00034] Espaços vazios do DEM SRTM foram preenchidos com valores de elevação interpolados a partir dos contornos corrigidos e alturas pontuais. Um procedimento semelhante foi usado para remover os picos de elevação no DEM SRTM.

[00035] O procedimento da presente invenção foi desenvolvido usando uma combinação de algoritmos. O algoritmo ANUDEM (como implementado pelo Topo para a função Raster em ArcGIS) foi usado para a interpolação de um DEM a partir de contornos e alturas pontuais. ANUDEM é um programa que calcula os modelos digitais de elevação de grade regular (DEMs) com forma sensata e estrutura de drenagem a partir de conjuntos de dados topográficos arbitrariamente grandes. Ele tem sido usado para desenvolver DEMs que variam de captações experimentais de escala precisa para escala continental.

[00036] O produto, um intermediário DEM, foi empregado para identificar e corrigir os erros no DEM SRTM (ou seja, espaços vazios e picos). Uma vez corrigido, o DEM SRTM foi fundido com o DEM intermediário usando um algoritmo recentemente desenvolvido, que garante que o DEM SRTM só seja aplicado em áreas com baixa densidade de contornos e alturas pontuais. Embora se reconheça que o DEM SRTM não é um verdadeiro DEM, o procedimento de fusão reduz o

efeito de objetos de superfície.

[00037] Hengl (2006) sugeriram o uso de uma equação para calcular o tamanho de célula adequada quando interpolando o DEM de contornos. Ao aplicar a Equação 1 em contornos de vários intervalos e escalas, e em vários tipos de terrenos na África do Sul, a resolução "ótima" variou entre 5m e 50m. Consequentemente, decidiu-se produzir o DEM com uma resolução de 5m para assegurar que nenhuma variação topográfica se perca como resultado do tamanho da célula. A produção do DEM atualizado da presente invenção a uma resolução de 5m também permitirá a incorporação de outros DEMs (por exemplo, aqueles que foram criados usando imagens estéreo e LiDAR) no futuro.

#### **Equação 1:**

$$p = \frac{A}{2 \cdot \sum I}$$

em que  $p$  é o tamanho do pixel;  $A$  é o tamanho total da área de estudo;  $I$  representa o comprimento do contorno.

[00038] Um exemplo do método da presente invenção, foi então levado a cabo do seguinte modo, a fim de melhorar a qualidade da resolução do DEM SRTM 90m usando escalas de contorno de 1:10000 usando o software ArcGIS. As etapas realizadas são as seguintes.

[00039] Interpolar um DEM de resolução de 5m a partir dos dados corrigidos de contorno usando, neste caso, a ferramenta TopoToRaster\_sa, para criar um DEM intermediário.

[00040] Sobre-escalar (interpolar), o DEM SRTM de resolução de 5m convertendo-o em pontos usando a ferramenta RasterToPoint\_conversion. Um DEM modificado de 5m poderia, então, ser interpolado a partir destes pontos usando uma ferramenta de interpolação, no presente exemplo, o Sline\_sa. Foi tomado cuidado para definir a SnapRaster para o DEM intermediário gerado na etapa 1 para asse-

gurar que as duas células de DEM combinassem perfeitamente.

[00041] Derivar um gradiente raster de inclinação (graus) do DEM intermediário interpolado de contorno usando a ferramenta Slope\_sa.

[00042] Adicionar um pequeno valor constante (por exemplo, 1) com o resultado da etapa 3 para garantir que todos os valores sejam maiores do que 1, em preparação para a próxima etapa. A ferramenta Plus\_sa no ArcGIS provou ser ideal para esta operação.

[00043] Calcular o logaritmo, usando a ferramenta Log10\_sa, do resultado da etapa 4 e salvar o resultado como uma nova varredura.

[00044] FocalStatistics\_sa (média com um núcleo de célula 11x11) é usado para generalizar o resultado da etapa 5.

[00045] Normalizar o resultado da etapa 6 para uma gama entre 0 e 1, usando-se uma escala linear. Isso pode ser feito usando a ferramenta SingleOutputMapAlgebra\_sa.

[00046] Multiplicar os valores do DEM intermediário interpolado com o resultado da etapa 7, usando a ferramenta Times\_sa.

[00047] Inverter o resultado da etapa 7, usando a ferramenta SingleOutputMapAlgebra\_sa.

[00048] Multiplicar o resultado da etapa 9, com o resultado da etapa 2, usando a ferramenta Times\_sa.

[00049] Adicionar o resultado da etapa 10 para o resultado da etapa 8, usando a ferramenta Plus\_sa.

[00050] Para determinar a precisão do DEM atualizado, valores de elevação foram sistematicamente comparados com elevações de referência. Os pontos LiDAR altamente precisos (centímetros), obtidos a partir da Companhia de levantamento aéreo Sul-Africano, Southern Mapping Company (Pty) Ltd, foram usados como dados de referência. Um total de 177 pontos de referência foram selecionados aleatoriamente a partir de uma série de campanhas de LiDAR que cobrem diversos tipos de terreno e áreas geográficas na África do Sul (comparar

as Figuras 2 e 3 dos desenhos em anexo).

[00051] Para determinar a precisão vertical, o erro médio absoluto (MAE) e erro quadrático médio (RMSE) para o DEM resultante atualizado foram calculados usando equações 2 e 3, respectivamente.

### **Equação 2:**

$$MAE = \frac{\sum |x_i - x_j|}{n}$$

onde  $MAE$  é o erro médio absoluto;  $x_i$  é o valor de elevação do DEM;  $x_j$  é o valor de elevação do ponto de referência; e  $n$  é o número de pontos de referência.

### **Equação 3:**

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_j)^2}{n}}$$

[00052] onde  $RMSE$  é a raiz quadrada média do erro;  $x_i$  é o valor de elevação do DEM;  $x_j$  é o valor de elevação do ponto de referência; e  $n$  é o número de pontos de referência.

[00053] Os resultados das avaliações de precisão encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1

PRODUTOS	MAE (m)	RMSE (m)
SRMT DEM	4,6	43,4
DEM atualizado	2,2	10,2

[00054] É evidente a partir dos resultados que o DEM atualizado de acordo com a presente invenção apresenta um desempenho significativamente melhor do que o DEM SRTM em termos de MAE e RMSE.

[00055] A avaliação qualitativa também revelou que alguns dos artefatos (por exemplo, faixas, listras de tigre, e efeitos de onda), que estão frequentemente presentes no DEM interpolados de contorno são reduzidos quando a fusão SRTM é realizada como será bastante evidente a partir de uma referência às Figuras 2 e 3 dos desenhos.

[00056] A partir das avaliações quantitativas e qualitativas, é claro

que o DEM atualizado da presente invenção é significativamente mais preciso do que o DEM SRTM. Quanto maior a resolução do DEM atualizado também permite a inclusão de mais detalhes do terreno.

[00057] Experiências conduzidas da maneira descrita acima, por conseguinte, mostraram que a qualidade do DEM SRTM em áreas de moderada a terrenos íngremes pode ser significativamente melhorada quando o DEM SRTM (versão "de grau de pesquisa") é usado em combinação com os contornos e os pontos de elevação em áreas relativamente planas.

[00058] O ASTER-GDEM também foi considerado para esse fim, mas as avaliações de precisão indicaram desvios significativos a partir dos dados de referência. Esta observação é suportada por outros que descobriram que o DEM SRTM é superior a ASTER-GDEM. O CDNGI DEM de 25m (também conhecido como o "CDSM arquivos ORT") provavelmente será incorporado em edições futuras do método da presente invenção, mas apenas uma vez verificações e correções foram concluídas.

[00059] Além disso, outras fontes de informação, tais como DEM ASTER, linhas fluviais, DEM epipolar (derivados de fotografias aéreas estéreo de alta resolução e imagens de satélite) e os dados LiDAR podem muito bem tornarem-se uma parte do método desta invenção.

[00060] Numerosas variações podem, portanto, ser feitas para o exemplo da invenção descrito acima, sem o âmbito do presente documento.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de um modelo de elevação digital (DEM) de resolução melhorada que usa os dados de contorno para melhorar a precisão de um DEM original, **caracterizado pelo fato de** que compreende:

a geração de um DEM baseado em contorno intermediário interpolado a partir de dados de contorno adequados em que o DEM intermediário tem uma resolução maior do que a resolução nativa do DEM original;

reamostrar o DEM original com a mesma resolução que o DEM intermediário para produzir um DEM modificado;

gerar valores de ponderação com base em um gradiente raster de inclinação do DEM intermediário; e

fundir o DEM intermediário com o DEM modificado, incluindo a aplicação dos valores de ponderação de uma maneira que o DEM intermediário domine em áreas de maior densidade de contorno para produzir uma resolução DEM aprimorada.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a aplicação dos valores de ponderação aplica os valores de ponderação ao DEM intermediário e um inverso dos valores de ponderação ao DEM modificado para promover o DEM intermediário em áreas de maior densidade de contorno.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de** que a geração de valores de ponderação inclui escalar linearmente funções logarítmicas do gradiente de inclinação.

4. Método de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de** que a geração de valores de ponderação inclui:

1) derivar um gradiente raster de inclinação tanto do DEM intermediário quanto do DEM modificado;

2) adicionar um pequeno valor constante (por exemplo, 1) ao resultado da etapa 1 para garantir que todos os valores sejam maiores do que 1;

3) calcular o logaritmo do resultado da etapa 2 e salvar o resultado como um novo rastreador;

4) usar um filtro espacial médio para generalizar o resultado da etapa 3; e

5) normalizar o resultado da etapa 4 para uma gama de entre 0 e 1, usando-se uma escala linear para resultar nos valores de ponderação.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que a fusão do DEM intermediário com o DEM modificado inclui:

multiplicar os valores do DEM intermediário com os valores de ponderação;

multiplicar os valores DEM modificados com inversos dos valores de ponderação; e

adicionar os resultados dos valores de DEM intermediários ponderados e os valores de DEM modificados inversamente ponderados.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que o DEM intermediário tem uma resolução de vários fatores mais elevada do que do DEM original.

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que o DEM original é o um DEM de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que o gradiente raster de inclinação é derivado seletivamente a partir do DEM intermediário ou DEM modificado com a seleção sendo aquela que melhor representa a saída (suave).

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que a geração de um DEM intermediário é realizada usando um mecanismo selecionado de TopoToRaster\_sa.; Spline; Vizinho mais próximo; e Kriging.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que a reamostragem do DEM original é realizada por meio da conversão do DEM original de pontos, seguido por meio do processamento destes pontos usando uma ferramenta de interpolação apropriada tal que as células do DEM intermediário e o DEM modificado correspondem perfeitamente.

11. Método de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de** que a etapa 2 é realizada usando a ferramenta Plus\_sa no ArcGIS.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que os erros atribuídos nos contornos digitalizados e alturas do ponto são corrigidos, em certa medida antes da interpolação para produzir o DEM intermediário.

13. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que os erros espaciais, incluindo as lacunas e as inadequações de contornos nas bordas das folhas do mapa são corrigidos, em certa medida antes da interpolação para produzir o DEM intermediário.

14. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que espaços vazios no DEM original são preenchidos usando valores de elevação interpolados a partir dos contornos e alturas do ponto corrigidos antes da produção do DEM modificado.

15. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado pelo fato de** que os picos de elevação do DEM original são removidos ao mesmo tempo corrigindo os contornos e alturas de amostragem.

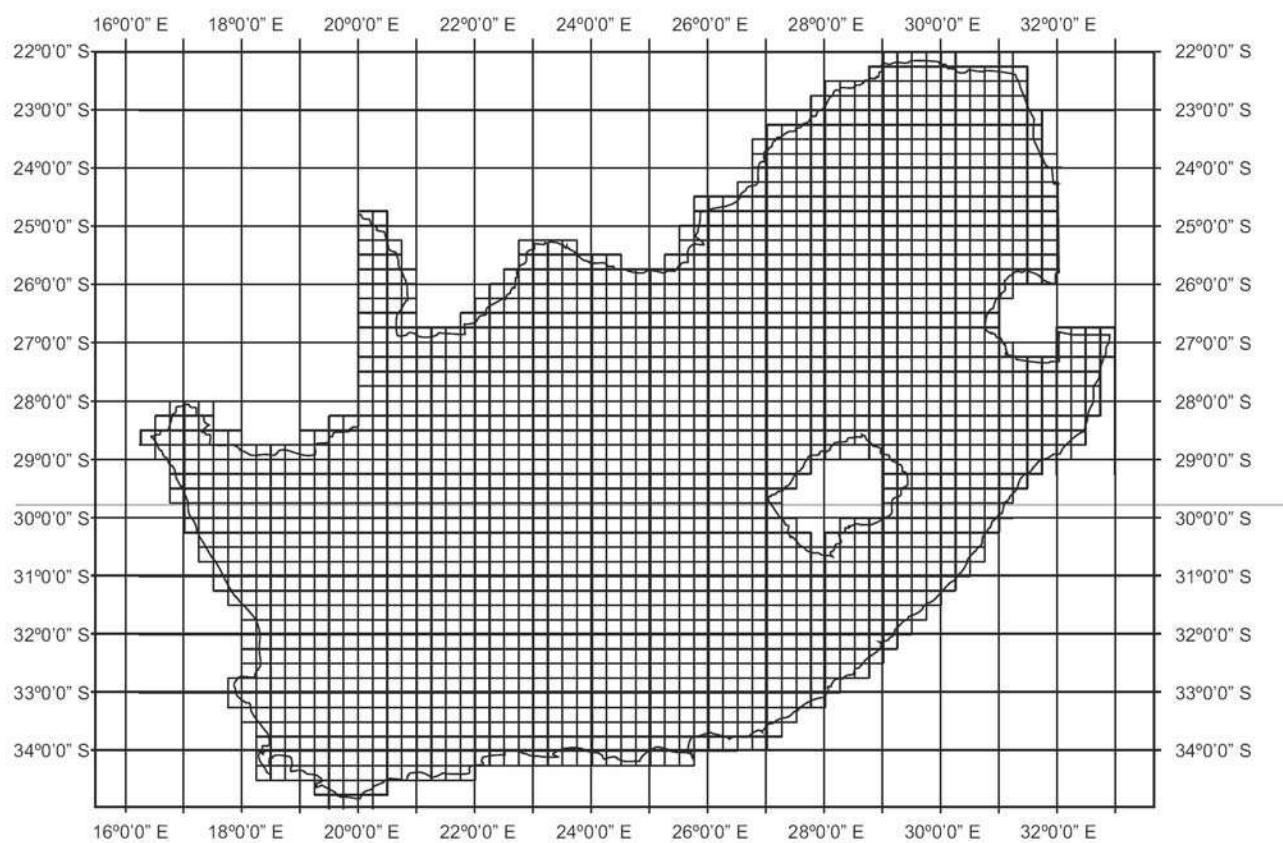


FIG. 1

2/2



FIG. 2



FIG. 3