

SisterApp Engine v3.7.3

Manual Técnico de Modelos Computacionais

José Pedro Trindade

16 de dezembro de 2025

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Modelo de Análise de Declividade (Slope Analysis)	2
2.1	Cálculo de Inclinação (Percentual)	2
2.2	Classificação Topológica (5 Classes)	2
2.3	Persistência e Configuração	2
3	Modelo de Vegetação (Suspensão)	3
4	Geração de Topologia (Terrain Models)	3
5	Configuração do Usuário	3
5.1	Variáveis de Controle Espacial	3
6	Modelo de Drenagem (D8 Flow)	4
6.1	Direção do Fluxo (Flow Direction)	4
6.2	Acumulação de Fluxo (Flow Accumulation)	4
6.3	Visualização	4
7	Análise de Bacias Hidrográficas (Watershed Analysis)	4
7.1	Segmentação Global	4
7.2	2. Delineação Interativa	5
7.3	3. Visualização de Contornos	5
8	Métricas Eco-Hidrológicas	5
8.1	Índice Topográfico de Umidade (TWI)	5
8.2	Densidade de Drenagem (D_d)	5
8.3	Estatísticas por Bacia (Basin-Level Metrics)	5
9	Resolução Espacial Variável (V3.6.5)	5
9.1	Definição de Escala	6
10	Módulo de Análise de Solos (V3.7.3)	6
10.1	Metodologia Estocástica	6
10.2	Classes e Cores	6

1 Introdução

O **SisterApp Engine** integra sistemas avançados de análise topológica e persistência de dados. A versão 3.7.3 introduz um novo modelo focado na **Análise Semântica de Solos (Semantic Soil Analysis)**, garantindo consistência total entre visualização e dados físicos.

2 Modelo de Análise de Declividade (Slope Analysis)

Este modelo substitui a anterior lógica abstrata de resiliência por uma abordagem quantitativa baseada na inclinação local do terreno.

2.1 Cálculo de Inclinação (Percentual)

A declividade é calculada como a razão entre a diferença de altura (rise) e a distância horizontal (run), expressa em porcentagem. Para um ponto no terreno, a inclinação $S_{\%}$ é dada por:

$$S_{\%} = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta z)^2}}{\text{run}} \times 100$$

Onde:

- Δx e Δz são os gradientes de altura nas direções X e Z.
- A distância base (*run*) é definida pela resolução do voxel (2 unidades).

Isto permite uma correlação direta com normas técnicas de engenharia civil.

2.2 Classificação Topológica (5 Classes)

O terreno é segmentado em classes configuráveis pelo usuário. Os limiares (thresholds) padrão são:

Classe	Intervalo ($S_{\%}$)	Descrição
Flat (Plano)	0% – 3.0%	Áreas adequadas para infraestrutura.
Gentle Slope (Suave)	3.0% – 8.0%	Áreas de transição suave.
Rolling (Ondulado)	8.0% – 20.0%	Terreno ondulado, requer terraplanagem.
Steep Slope (Íngreme/Forte)	20.0% – 45.0%	Encostas fortes, risco de erosão.
Mountain (Montanha)	> 45.0%	Áreas inacessíveis ou de preservação.

Tabela 1: Classes de Declividade Padrão (v3.5)

2.3 Persistência e Configuração

Diferente dos modelos anteriores, todas as configurações de declividade são **persistentes**. O sistema serializa os limiares definidos pelo usuário em um arquivo JSON ('prefs.json'), garantindo que os critérios de análise sejam mantidos entre sessões.

3 Modelo de Vegetação (Suspendo)

Na versão 3.4.0, a geração de vegetação foi temporariamente suspensa para permitir foco total na validação das camadas de análise topológica. O sistema de tipos de solo (Grass, Dirt, Stone) permanece ativo para feedback visual.

4 Geração de Topologia (Terrain Models)

É fundamental distinguir o **Gerador de Topologia** do **Analizador de Declividade**. O sistema mantém três perfis de geração baseados em ruído Perlin, que definem a geometria física do mundo:

- **Rippled Flat:** Baixa frequência base, gera predominantemente classes *Flat* e *Gentle*.
- **Smooth Hills:** Frequência média, introduz áreas *Rolling*.
- **Rolling Hills:** Alta amplitude, necessária para gerar áreas *Steep* e *Mountain* para validação.

O fluxo de processamento é:

Modelo (Geometria) → Voxel Grid → Slope Analysis (Classificação)

5 Configuração do Usuário

Interface atualizada no menu *Tools*:

Slope Sliders: Ajuste dos limites percentuais para cada classe.

Probe Tool: Ferramenta de diagnóstico (clique esquerdo) mostra $S_{\%}$ exato.

Persistence: Botões para salvar/carregar preferências manualmente.

5.1 Variáveis de Controle Espacial

O sistema permite o ajuste fino da topografia através de três variáveis principais:

1. **Feature Size (Frequência):** Controla o tamanho horizontal das montanhas. Valores menores geram grandes maciços; valores maiores geram colinas frequentes.
2. **Roughness (Persistência):** Controla a irregularidade da superfície.
 - Baixa (< 0.5): Colinas suaves e dunas.
 - Alta (> 0.5): Terreno rochoso, escarpado e ruidoso.
3. **Amplitude:** A altura máxima vertical em metros.
4. **Cell Size (Resolução):** A dimensão física de cada pixel da grade (em metros).

6 Modelo de Drenagem (D8 Flow)

A partir da versão v3.6.0, o sistema substituiu o modelo estocástico de erosão por partículas por um algoritmo determinístico de drenagem D8 (Steepest Descent).

6.1 Direção do Fluxo (Flow Direction)

Para cada célula do grid de terreno, o algoritmo determina a direção de escoamento para um dos 8 vizinhos com maior **declividade** descendente (Steepest Slope).

$$\text{Receiver} = \operatorname{argmax}_{n \in \text{Neighbors}} \left(\frac{H_{\text{current}} - H_n}{\text{Distance}_n} \right)$$

Onde Distance_n é a distância física até o vizinho (Resolution para cardeais, $\text{Resolution} \times \sqrt{2}$ para diagonais). Se o declive for ≤ 0 para todos os vizinhos (mínimo local), a célula é um "sink"(sumidouro).

6.2 Acumulação de Fluxo (Flow Accumulation)

O fluxo é calculado iterativamente, ordenando as células por altura (decrecente). Cada célula transfere seu valor de fluxo acumulado para o seu vizinho receptor (Receiver), simulando a conservação de massa da água.

$$F_{\text{receiver}} + = F_{\text{upstream}}$$

O resultado é um *Flux Map* onde valores altos representam rios e canais principais.

6.3 Visualização

O shader utiliza o mapa de fluxo acumulado para renderizar recursos hídricos:

- **Canais Principais:** Células com fluxo $F > 1.0$ (limite visual configurável) são coloridas em Cyan (0.0, 0.8, 1.0).
- **Continuidade:** O método D8 garante redes de drenagem dendríticas contínuas sem artefatos geométricos ("spots").

7 Análise de Bacias Hidrográficas (Watershed Analysis)

Introduzido na versão v3.6.3, este módulo permite a identificação e delimitação de bacias de drenagem baseadas na topologia D8.

7.1 Segmentação Global

O algoritmo de segmentação particiona todo o terreno em bacias distintas. O processo ocorre em duas etapas:

1. **Identificação de Sinks:** Localização de todos os "sumidouros"(minimos locais ou bordas do mapa). Cada sink recebe um ID único.

2. **Propagação Upstream (BFS):** Um algoritmo de busca em largura (Breadth-First Search) percorre a rede de fluxo no sentido inverso (de jusante para montante), atribuindo o ID do sink a todas as células constituintes de sua área de contribuição.

7.2 2. Delineação Interativa

Permite ao usuário consultar a bacia de contribuição de um ponto arbitrário $P(x, y)$. O sistema rastreia recursivamente todos os vizinhos que fluem para P , gerando uma máscara binária instantânea da área de captação a montante.

7.3 3. Visualização de Contornos

O usuário pode habilitar a opção "Show Contours" na interface. O sistema utiliza a derivada parcial do ID da bacia (via shader `fwidth`) para detectar arestas onde o ID muda, desenhando uma linha escura de 1 pixel sobre os limites das bacias para melhor distinção visual.

8 Métricas Eco-Hidrológicas

O Relatório Hidrológico foi expandido para incluir indicadores funcionais derivados da topografia:

8.1 Índice Topográfico de Umidade (TWI)

$$TWI = \ln \left(\frac{A}{\tan \beta} \right)$$

Onde A é a área de contribuição específica (fluxo) e $\tan \beta$ é a declividade local. O TWI estima zonas de saturação do solo. O sistema reporta a porcentagem da área com $TWI > 8.0$ como proxy para zonas úmidas.

8.2 Densidade de Drenagem (D_d)

$$D_d = \frac{L_{total}}{Area_{total}}$$

Calculado como a razão entre células classificadas como "rio" ($Fluxo > 100$) e o total de células. Indica a permeabilidade e dissecação do relevo.

8.3 Estatísticas por Bacia (Basin-Level Metrics)

O sistema agora agrega métricas de elevação, declividade, TWI e densidade de drenagem individualmente para as 3 maiores bacias identificadas, permitindo uma análise comparativa da resposta hidrológica de diferentes sub-regiões do modelo.

9 Resolução Espacial Variável (V3.6.5)

Para atender à necessidade de maior definição nos limites de bacias e redes de drenagem, foi introduzido o controle de **Cell Size (Resolução)**.

9.1 Definição de Escala

O usuário pode ajustar o tamanho métrico de cada célula (pixel) da grade de simulação:

- **1.0 m (Padrão):** Equilíbrio entre cobertura de área e detalhe.
- **< 1.0 m (Alta Resolução):** Aumenta a densidade de vértices por unidade de área. Ideal para suavizar limites de bacias e detalhar canais de drenagem, reduzindo o efeito de "pixelização" (aliasing geométrico).
- **> 1.0 m (Baixa Resolução):** Permite cobrir grandes extensões geográficas com menor custo computacional.

O sistema ajusta automaticamente a visualização e a lógica de interação (raycasting) para manter a coerência espacial independentemente da escala escolhida.

10 Módulo de Análise de Solos (V3.7.3)

O sistema inclui agora uma camada de pedologia probabilística baseada na declividade, conforme a tabela de relação Relevo-Solo definida pelo usuário.

10.1 Metodologia: Ruído Coerente e Métricas de Paisagem

Para reproduzir os padrões espaciais descritos pelos índices de Ecologia da Paisagem (LSI, CF, RCC), o sistema substituiu a distribuição aleatória simples por um algoritmo de **Competição de Padrões** baseado em ruído procedural (Perlin/Simplex).

Cada tipo de solo possui um "perfil de ruído" configurado para mimetizar suas métricas (Ver Tabela 2):

- **Domain Warping (Distorção):** Simula o LSI. Solos com alto LSI sofrem forte distorção de coordenadas, criando bordas complexas.
- **Frequência e Rugosidade:** Simulam o CF. Solos com alto CF utilizam mais oitavas de ruído fractal.
- **Anisotropia (Estiramento):** Simula o RCC. Solos com baixo RCC são esticados em um eixo para criar formas alongadas.

O solo final em cada pixel é determinado por uma competição onde o tipo com maior "força" de padrão local vence (dentre os candidatos válidos para a declividade).

10.2 Classes e Cores

- **Plano (0-3%):** Hidromórfico (Teal), B Textural (Laranja), Argila Expansiva (Roxo).
- **Suave (3-8%):** B Textural, Bem Desenvolvido (Terracota), Argila Expansiva.
- **Ondulado (8-20%):** B Textural, Argila Expansiva.
- **Forte (20-45%):** B Textural, Solo Raso (Amarelo).
- **Montanhoso (45-75%):** Solo Raso (Amarelo).
- **Escarpado (> 75%):** Afloramento Rochoso (Cinza).

Tabela 2: Descritores de estrutura espacial das manchas de solo segundo métricas da Ecologia da Paisagem (Farina)

Tipo de Solo	LSI	CF	RCC
Solo Raso	5434.91	2.49	0.66
Bem Desenvolvido	2508.07	2.36	0.68
Hidromórfico	3272.30	2.27	0.65
Argila Expansiva	1827.24	2.84	0.64
B-Textural	2766.09	3.36	0.66

Nota: LSI = Índice de Forma da Paisagem (*Landscape Shape Index*), indicador da complexidade geométrica média das manchas; CF = Complexidade da Forma, expressando irregularidade e alongamento das manchas; RCC = Coeficiente de Circularidade Relativa, variando de 0 (formas alongadas ou irregulares) a 1 (formas altamente compactas).

Descritores de forma das manchas

A estrutura espacial das manchas de solo foi caracterizada por descritores clássicos da Ecologia da Paisagem, conforme proposto por Farina (1998, 2006), os quais permitem avaliar a complexidade geométrica, a irregularidade das bordas e o grau de compactação das manchas na paisagem. Foram utilizados o Índice de Forma da Paisagem (LSI), a Complexidade da Forma (CF) e o Coeficiente de Circularidade Relativa (RCC), descritos a seguir.

Índice de Forma da Paisagem (LSI) O LSI expressa a complexidade geométrica das manchas a partir da relação entre perímetro e área, sendo definido por:

$$LSI = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

em que P corresponde ao perímetro da mancha e A à sua área. Valores de LSI próximos de 1 indicam manchas com formas simples e compactas, enquanto valores mais elevados refletem maior irregularidade e desenvolvimento de bordas.

Complexidade da Forma (CF) A Complexidade da Forma representa o grau de irregularidade geométrica das manchas, considerando o aumento relativo do perímetro em relação à área:

$$CF = \frac{P}{A}$$

em que P é o perímetro e A a área da mancha. Valores mais elevados de CF indicam formas mais alongadas, recortadas ou dendríticas.

Coeficiente de Circularidade Relativa (RCC) O Coeficiente de Circularidade Relativa avalia o quão próxima a forma da mancha está de um círculo perfeito, sendo calculado por:

$$RCC = \frac{4\pi A}{P^2}$$

em que A corresponde à área da mancha e P ao seu perímetro. O RCC varia entre 0 e 1, sendo valores próximos de 1 indicativos de manchas altamente compactas e valores menores associados a formas alongadas ou fragmentadas.