

SisterApp Engine v3.4.0

Manual Técnico de Modelos Computacionais

José Pedro Trindade

15 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
6	Modelo de Drenagem (D8 Flow)	3
6.1	Direção do Fluxo (Flow Direction)	3
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	Delineação Interativa	4
8	Métricas Eco-Hidrológicas	4
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

1 Introdução

O **SisterApp Engine** integra sistemas avançados de análise topológica e persistência de dados. A versão 3.4.0 (com extensões v3.5) introduz um novo modelo focado na **Análise de Declividade (Slope Analysis)**, permitindo classificações precisas do terreno.

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.

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 gradiente descendente.

$$\text{Receiver} = \operatorname{argmax}_{n \in \text{Neighbors}} (H_{\text{current}} - H_n)$$

Se $H_{\text{current}} - H_n \leq 0$ 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" (mínimos 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.