

# Aplicação de ruído de Perlin para simulação de água em movimento

BIANCA FRAGOSO

PUC- Pontifícia Universidade Católica, Rua Marquês de São Vicente, 225, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Resumo.** Técnicas procedurais têm sido usadas frequentemente para modelar superfícies e renderizar materiais de elementos da natureza tais como, madeira, pedras, mármore, granitos, montanhas, etc. Nesse cenário, resultados de renderização tem sido obtido através da modelagem numérica de aleatoriedade (fractal, funções de turbulência), com destaque para o denominado ruído de Perlin. Nosso foco nesse trabalho, será explorar esse ruído de Perlin, e aplicá-lo em uma superfície 2D, gerando rugosidades naturais que se assemelham à água em movimento.

## 1 Introdução

Trabalhos sobre textura procedural remontam aos anos 70. No entanto, é em 1985 que surgiu um dos trabalhos mais importante sobre o assunto, onde K. Perlin estabeleceu as bases para uma das classes mais populares de textura procedural em uso hoje, baseado essencialmente em ruído (uma abordagem estocástica). Essa técnica é também conhecida na literatura como ruído procedural (ver , [1] e [3] ).

A adição eficiente de detalhes visuais a imagens sintéticas sempre foi um dos maiores desafios em computação gráfica. O ruído procedural é uma das ferramentas fundamentais mais bem sucedidas usadas para gerar tais detalhes. Desde a primeira imagem do vaso de mármore, apresentada por K. Perlin [1], o ruído de Perlin tem sido amplamente utilizado tanto na pesquisa quanto na indústria.

O ruído tem sido usado para uma ampla e diversificada gama de finalidades em textura procedural, incluindo nuvens, ondas, tornados, trilhas de foguetes, ondas de calor, movimento incidental de personagens animados e assim por diante.

O ruído procedural tem muitas vantagens: normalmente é muito rápido de ser calculado e utiliza pouca memória, tornando-se um candidato ideal para gerar

detalhes visuais complexos. Além disso, com um conjunto adequado de parâmetros, o ruído procedural pode ser usado para gerar facilmente um grande número de padrões diferentes.

A água é um dos elementos presentes na natureza que pode ser representado usando o ruído de Perlin e que foi escolhido para ser simulado nesse trabalho. De acordo com [2], devido à natureza especial do movimento de líquidos e aleatoriedade, o cálculo da água leva a algoritmos sofisticados e computacionalmente intensivos. Portanto, a simulação da água é uma parte importante no campo da computação gráfica.

Nesse Trabalho o ruído de Perlin será utilizado para introduzir rugosidades aleatórias com aspecto natural à uma superfície e com isso, simular água em movimento.

Vários parâmetros relacionados à geração do ruído de Perlin, como número de oitavas, foram testados para verificar qual seriam os melhores para essa aplicação específica de simulação de água.

O trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentado o ruído de Perlin de forma mais aprofundada: como ele é gerado, bem como quais parâmetros são importantes para modificar certas

características suas que vão influenciar bastante no resultado final dependendo do que se está interessado em se obter. Na seção 3 falamos mais a fundo sobre como foi a aplicação do ruído de Perlin para a geração de água em movimento. Na sessão 4 falamos sobre os resultados obtidos utilizando a técnica descrita na sessão 3 e na sessão 5 temos uma pequena conclusão falando sobre quais seriam possíveis trabalhos futuros.

## 2 Ruído de Perlin

De um ponto de vista matemático, o ruído de Perlin é uma função suave de gradiente de ruído que é invariante em relação à rotação e à translação e tem frequência de banda limitada (não é um ruído branco, pois possui uma estrutura coerente). Esta função de ruído é usada para perturbar funções matemáticas, a fim de criar padrões pseudo-aleatórios.

O ruído de Perlin tem sido amplamente utilizado em vários domínios de aplicação como, por exemplo: renderização de ondas de água, renderização de fogo ou síntese realista da aparência de mármore ou cristal. Mesmo que o ruído de Perlin forneça um certo grau de comportamento natural, ele não expressa totalmente as irregularidades que se pode esperar na natureza. Por exemplo, um terreno tem características grandes e extensas, como montanhas, feições menores, como colinas e depressões, até mesmo menores, como pedras e rochas grandes. A solução para isso é simples: se assume vários resultados de ruído obtidos com parâmetros diferentes e os soma.

De maneira geral, os parâmetros que afetam o que se vê quando se gera o ruído de Perlin são:

- Oitavas: controla o número de níveis de detalhes que você deseja que o ruído de Perlin tenha.
- Frequência: refere - se ao período a que cada dado é amostrado.
- Amplitude: refere - se ao intervalo em que cada resultado pode estar.

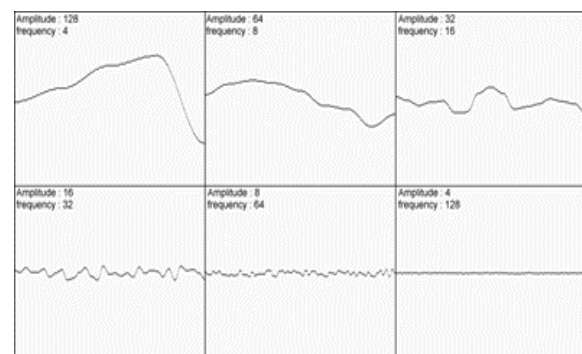
- Lacunaridade: número que determina quantos detalhes são adicionados ou removidos em cada oitava (ajusta a frequência).

- Persistência: número que determina quando cada oitava contribui para a forma geral (ajusta a amplitude).

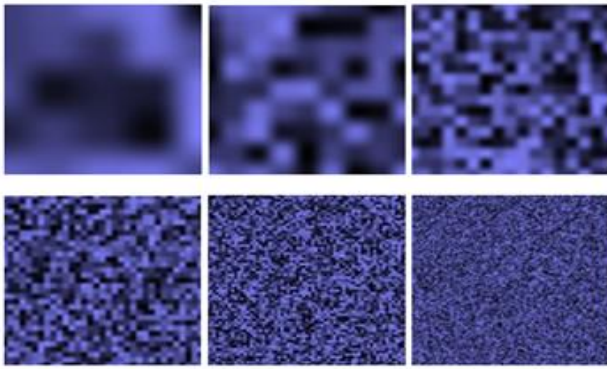
A maneira como esses parâmetros são combinados é que produz os efeitos desejados.

A lacunaridade de mais de 1 significa que cada oitava aumentará seu nível de detalhe de granulação fina (aumento de frequência). A lacunaridade de 1 significa que cada oitava terá o mesmo nível de detalhe. A lacunaridade de menos de um significa que cada oitava ficará mais suave. Os dois últimos são geralmente indesejáveis, então uma lacunaridade de 2 funciona bastante bem.

Persistência determina quanto cada oitava contribui para a estrutura geral do mapa de ruído. Se sua persistência é 1, todas as oitavas contribuem igualmente. Se sua persistência é maior do que 1, oitavas sucessivas, contribuem mais e se chega a algo mais próximo do ruído regular. Uma configuração mais próxima do padrão seria uma persistência menor que 1.0, o que diminuiria o efeito de oitavas posteriores.

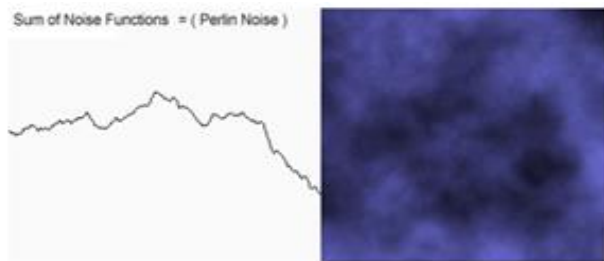


**Figura 1** Exemplo de resultados de noise com diferentes frequências e amplitudes.



**Figura 2** Mesmo exemplo que o da Figura 1, mas em 2D.

Ruídos de Perlin obtidos alterando frequência e amplitude são chamados de oitavas. Na Figura 1 e na Figura 2 temos exemplos de 6 oitavas. Somando essas oitavas, levando em consideração a persistência e lacunaridade escolhidas, temos como resultado uma imagem mais suave e natural, como mostrado na Figura 3.



**Figura 3** Resultado obtido somando as oitavas tanto no 1D quanto no 2D.

Com a enorme possibilidade de alteração dos parâmetros para se obter um ruído de Perlin final, acaba sendo possível gerar múltiplos resultados diferentes, uns melhores que outros. A qualidade do resultado depende do domínio e conhecimento dos parâmetros, para que se possa alterá-los e atingir o objetivo desejado.

### 3 Descrição da Técnica

Como discutido na seção anterior, o ruído de Perlin, é uma forma eficiente de se conseguir representar diversos elementos presentes na natureza. Nesse trabalho, o elemento escolhido foi a água.

O primeiro passo para a implementação é a criação do grid de pontos para que a superfície lisa para aplicação do ruído de Perlin possa ser gerada.

A discretização do grid é uma das escolhas importantes nesse trabalho. Isso porque como o noise é aplicado a cada ponto, com uma quantidade pequena de pontos a grandes distâncias um do outro o resultado não fica com um nível de detalhes razoável e a aparência resultante não fica boa.

No *vertex shader* é feito o cálculo do ruído de Perlin para que se insira rugosidade nessa superfície. Nesse cálculo, as

oitavas são somadas. Cada oitava é calculada mandando para a função de noise a coordenada do ponto multiplicada pela frequência, com uma lacunaridade de 2. A persistência usada foi de 0.5 e o ruído final é gerado somando todas as oitavas.

Como o objetivo também é simular o movimento da água, devemos mudar de tempos em tempos a posição de seus vértices, mas de maneira mais natural possível. Para isso, o noise 3D é utilizado, usando a terceira coordenada como sendo o tempo.

Para que se tenha a impressão de que a água está correndo e as ondas estão sendo propagadas, um incremento de tempo também pode ser usado na coordenada y.

Esse ruído gerado com todos esses parâmetros é utilizado como coordenada z do ponto que anteriormente tinha valor zero.

Com uma nova superfície gerada, é necessário calcular as normais para cada ponto da superfície para fazer um cálculo correto de iluminação.

O cálculo é feito aproveitando o fato de que temos as informações dos pontos vizinhos pois sabemos a distância entre eles, ou seja, temos como calcular suas coordenadas x e y e também suas coordenadas z pela função de noise.

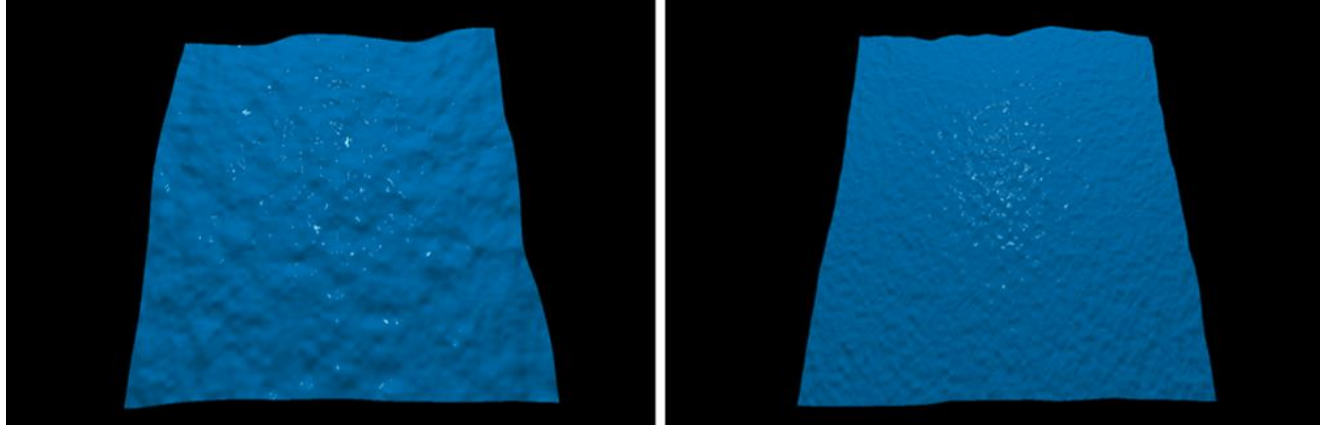
Sabendo as coordenadas de cada vizinho do ponto podemos calcular uma normal de segunda ordem fazendo o produto vetorial do vetor formado pelos vizinhos de cima e de baixo com o vetor formado pelos vizinhos da direita e da esquerda. Assim, cada ponto terá sua normal e a iluminação ficará correta.

### 4 Resultados obtidos

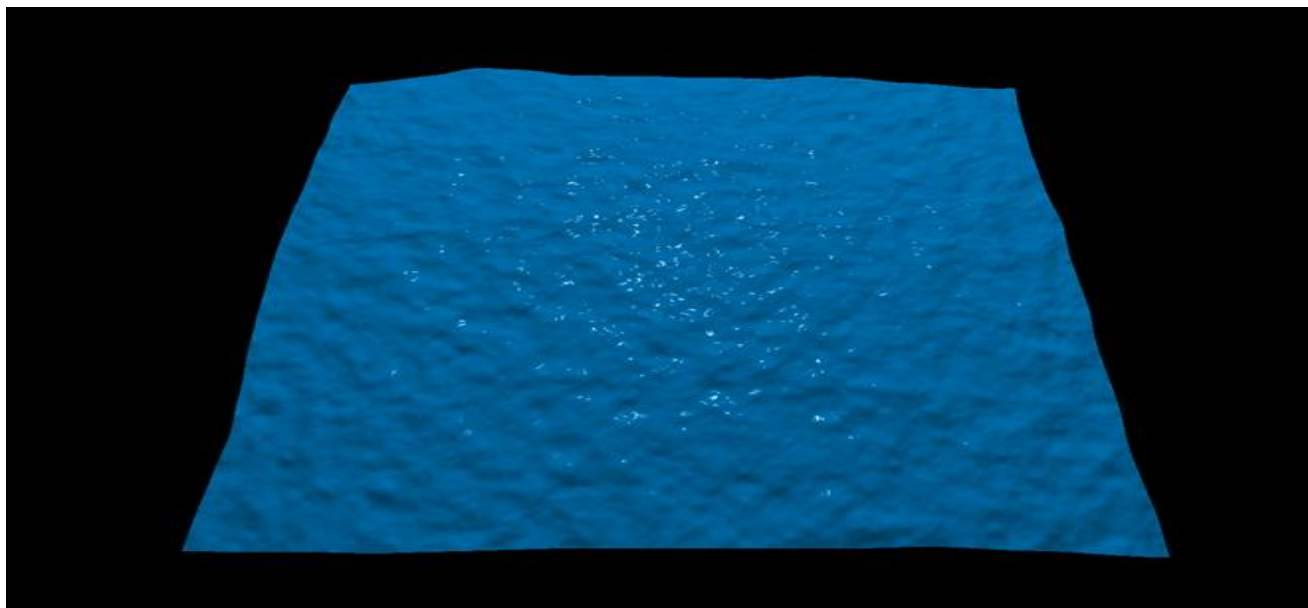
Para gerar um ruído que se assemelha a água, foi necessário testar diferentes parâmetros na geração do noise. O principal parâmetro testado foi o número de oitavas. No entanto, a lacunarização e persistência também foram variados para tentar gerar melhores resultados.

Os melhores resultados conseguidos foram usando 3, 4 e 5 oitavas.

Com 3 oitavas, as elevações na água ficam maiores, como mostrado na Figura 4 no lado esquerdo. Já com 5 oitavas as elevações ficam bem pequenas e são mais elevações do que com 3 oitavas, como mostrado também na Figura 3 no lado direito. Com 4 oitavas, o resultado fica com um aspecto mais natural como mostrado na Figura 5.



**Figura 4** Resultado obtido usando 3 oitavas (esquerda) usando 5 oitavas (direita)



**Figura 5** Utilizando 4 oitavas para geração do ruído de Perlin

## 5 Conclusão

O ruído de Perlin é realmente eficiente para simulação de aspectos naturais. No entanto é extremamente importante testar a variação dos parâmetros geradores do ruído, pois dependendo da simulação que se deseja fazer, uma combinação pode ser melhor do que outra.

Como a mudança na geometria já gerava um aspecto rugoso na superfície, a normal não foi alterada. No entanto, futuramente seria interessante inserir uma perturbação na normal para checar se o resultado fica com o aspecto mais natural.

Além disso, o ruído de Perlin permite introduzir rugosidades e movimento, no entanto a água tem outras propriedades, como a transparência e ela reflete como um espelho, por isso seria interessante futuramente renderizá-la utilizando um algoritmo de traçado de raios como em [2].

## Referências

- [1] Perlin, K. 1985. An image synthesizer. In B. A. Barsky, ed., Computer Graphics(SIGGRAPH '85 Proceedings), 19(3):287–296.
- [2] Li, H. , Yang, H., Zhao, J. Water Reflection, Refraction Simulation Based on Perlin Noise and Ray-tracing, International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, Vol. 10, No. 3 (2017), pp. 63-74
- [3] Ebert, D. S., Musgrave, F.K., Peachey, D., Perlin, K., Worley, S. Texturing and Modeling – A procedural approach. 3 ed. USA: Elsevier Science, 2003.