

## IMPLEMENTAÇÃO ACELERADA POR GPGPU DE UM MODELO DIFUSIVO-LOGÍSTICO DE CRESCIMENTO DE FLORESTAS

ELVIS PRESTES<sup>1</sup>, JOSÉ MARIO VICENSI GRZYBOWSKI<sup>2</sup>

### 1 Introdução

A importância das florestas para a preservação e manutenção das condições ambientais vem tendo cada vez mais reconhecimento no mundo inteiro, sendo que a recuperação dessas florestas é de considerável importância a fim de garantir suporte a biodiversidade e integridade dos recursos hídricos (Richit et al., 2017). O avanço da malha urbana e das áreas agricultáveis sobre as áreas de florestas geram implicações sociais, econômicas e ambientais que não podem ser revertidas a curto prazo, tendo em vista que a escala de tempo no processo de regeneração é da ordem de décadas.

O modelo difusivo-logístico de crescimento de florestas foi proposto por Acevedo (2012), e calibrado, validado e aplicado para estudo de caso de Porto Rico. Os autores estabeleceram comparações entre as saídas do modelo DLG e as saídas de modelos randômicos para proporções equivalentes de floresta e concluíram que o modelo DLG apresenta melhor desempenho na descrição da dinâmica de regeneração da floresta.

Entretanto, conforme relatam alguns autores, a implementação do modelo DLG, da forma como proposta, requer longo tempo computacional, ou então a redução drástica da resolução da malha na região de interesse. Ambas as possibilidades têm más implicações. Por um lado, abre-se mão de disponibilidade de computação, na medida em que o tempo de computação é alto, tornando a solução demorada. Por outro lado, como alternativa, reduz-se a resolução da malha na região de interesse, fazendo com que os resultados fiquem potencialmente mais grosseiros e com maior nível de erro, de forma que sejam potencialmente desinteressantes do ponto de vista prático ou científico.

### 2 Objetivo

Utilizar imagens de Unidades de Conservação Integrais (UCIs) do Brasil, realizando as correções necessárias nessas imagens para posteriormente implementar, calibrar, validar e

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim, Bolsista contato: prestes.elvis@gmail.com.

<sup>2</sup>Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil(2012) Professor Adjunto IV da Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil.

aplicar o modelo de crescimento logístico-difusivo para crescimento de florestas em GPGPU utilizando a plataforma CUDA.

### 3 Material e Métodos

A implementação e teste da versão paralela da rotina de resolução do modelo difusivo-logístico de crescimento de florestas foi desenvolvida pelo grupo de pesquisa. De acordo com Acevedo (2012), o modelo difusivo-logístico é representado pela equação diferencial

$$\frac{\delta u}{\delta t} = D \left( \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) + ru \left( 1 - \frac{u}{k} \right) \quad (1)$$

Sendo posteriormente resolvida para a variável de interesse  $u$  através do esquema de Crank-Nicolson (Crank e Nicolson 1996).

A partir da rotina, implementada na plataforma de computação paralela Cuda da NVIDIA, foi possível realizar a calibração dos parâmetros do modelo, em áreas de diferentes biomas, para posteriormente simulação de crescimento de floresta nessas áreas. A calibração do modelo tem como objetivo encontrar os valores ótimos de  $D$  e  $ru$ , a fim de representar de forma mais aproximada possível o sistema desenvolvido a partir da equação (1), sendo essa calibração realizada através do emprego de duas imagens em condições temporais distintas, uma condenação inicial conhecida e uma condição final também conhecida (RICHIT *et al.*, 2017). O cálculo do erro foi realizado através do Root Mean Square Error – RMSE (Acevedo *et al.*, 2012), de acordo com a expressão:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i^2)}}{n} \quad (2)$$

A calibração e validação do modelo foi desenvolvida na plataforma CUDA a fim de acelerar o seu processo. As áreas utilizadas para a calibração do modelo são unidades de proteção integral, escolhidas devido a maior conservação da vegetação nessas áreas, resultando em parâmetros mais próximos aos reais do crescimento de florestas.

Para a calibração, validação e aplicação do modelo foi necessário obter as densidades de vegetação dessas imagens. Para tanto, fez-se o cálculo das densidades por meio do Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index - EVI), dado pela equação

$$EVI = k(NIR - R) / (L + NIR + C1 \cdot R - C2 \cdot B) \quad (3)$$

em que  $R$ ,  $B$  e  $NIR$  são as bandas vermelha (red), azul (blue) e próximo ao infravermelho (NIR). Além disso,  $k$  é um fator de ganho,  $C1$ ,  $C2$  são coeficientes de ajuste relacionados ao efeito de aerossóis e  $L$  é um fator de ajuste para o efeito do solo. Os valores tipicamente

adotados são  $L = 1$ ,  $C1 = 6$ ,  $C2 = 7,5$  e  $k = 2,5$  (JUSTICE *et al.*, 1998).

Após correção das imagens, as matrizes de índice de vegetação foram utilizadas para realizar as calibrações e simulações de crescimento de florestas, com tempos de 10 anos e 40

#### 4 Resultados e Discussão

A calibração do modelo utilizando diferentes áreas gerou valores diferentes de  $ru$  e  $D$ , como mostra o Quadro 1.

Tabela 1 Valores calibrados de  $ru$  e  $D$  para áreas de diferentes tipos de biomas

Unidade de conservação	Bioma	$ru$	$D$
Estação Ecológica do Taim	Pampa	0,0609	$1 \times 10^{-5}$
Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa	Mata Atlântica	0,0443	$1 \times 10^{-5}$
Estação Ecológica da Serra das Araras	Serrado	0,0413	$1 \times 10^{-5}$
Estação Ecológica da Aiuaba	Caatinga	0,0478	$1 \times 10^{-5}$
Estação Ecológica de Taiamá	Pantanal	0,0402	$1 \times 10^{-5}$
Estação Ecológica de Cuni	Amazônia	0,0503	$1 \times 10^{-5}$

É possível notar que há uma variação nos valores de  $ru$  de acordo com o tipo de bioma da área analisada, enquanto os valores de  $D$  se mantiveram constantes. Com esses valores calibrados foram feitas simulações de crescimento de floresta nessas áreas para tempos de 10 e 40 anos. A Figura 1 apresenta uma das simulações realizadas em código paralelo.

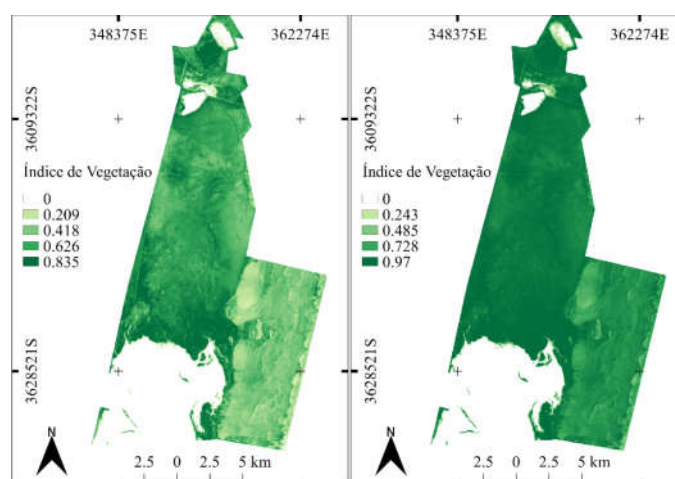


Figura 1: Crescimento de floresta simulado na estação ecológica do Taim para os períodos de 10 anos (esquerda) e 40 anos (direita).

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou os resultados para a calibração do modelo Difusivo-Logístico de crescimento de florestas utilizando programação paralela em CUDA. Através do uso da programação paralela foi possível realizar as simulações de cenários futuros em áreas de grandes dimensões em um curto tempo, o que não era muito viável quando utilizando programação em CPU. Tendo em vista os valores diferentes de  $ru$  quando analisado áreas de diferentes biomas, pode-se então pensar em realizar novos estudos com o intuito de descobrir quais fatores climáticos ou físicos que influenciam nessa diferença, bem como a influência de cada fator. Para isso, a programação paralela em CUDA apresentou um bom desempenho e também há a possibilidade de adicionar mais variáveis ao modelo para estudar demais fatores que influenciam no crescimento das florestas.

## Referências

ACEVEDO, M. A.; MARCANO, M.; FLETCHER, R. J. Short communication. **A diffusive logistic growth model to describe forest recovery**. Ecological Modelling, 2012. v. 244, p. 13–19. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.07.012>>.

Crank, J., Nicolson, P., 1996. **A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat-conduction type**. Adv. Comput. Math. 6 (1), 1–7

JUSTICE, C. O. *et al.* The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 1998. v. 36, n. 4, p. 1228–1249.

RICHIT, L. A. *et al.* **Modelling forest regeneration for performance-oriented riparian buffer strips**. Ecological Engineering, 2017. v. 106, p. 308–322. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.044>>.

**Palavras-chave:** GPGPU, modelo difusivo-logístico, crescimento de florestas.

## Financiamento

PROBIC - FAPERGS.