



## UMA EXTENSÃO DO MODELO DE CHOPARD PARA PROPAGAÇÃO DE INCÊNDIO AMBIENTAL BASEADO EM AUTÔMATOS CELULARES COM ALTO DESEMPENHO

**SALLES, Karina da Silva<sup>1</sup>; OLIVEIRA, Ueider Ferreira de<sup>2</sup>; AGUIAR, Marilton Sanchothene de<sup>3</sup>.**

<sup>1,2</sup>Núcleo de Apoio a Projetos de Informática (NAPI) – CPOLI/UCPel  
Rua Félix da Cunha, 412. – CEP 96010-000 – Pelotas – RS. {karina, ueiderfdo}@ucpel.tche.br

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf) – CPOLI/UCPel  
Rua Félix da Cunha, 412. – CEP 96010-000 – Pelotas – RS. marilton@ucpel.tche.br

### 1. INTRODUÇÃO

Os autômatos celulares são modelos matemáticos simples de sistemas naturais. Eles são constituídos de uma malha, ou reticulado, de células idênticas e discretas, onde cada célula tem seu valor sobre um conjunto finito. Os valores evoluem, em passos de tempo discretos, de acordo com regras determinísticas que especificam os valores de cada célula em termos dos valores das células vizinhas. Segundo Stephen Wolfram em (Wolfram 1994) os autômatos celulares podem ser considerados como idealizações discretas das equações diferenciais parciais freqüentemente utilizadas para descrever sistemas naturais. Essa natureza discreta também permite a analogia com computadores digitais, pois os Autômatos Celulares podem ser vistos como computadores de processamento paralelo de construção simplificada.

O conceito original de Autômato Celular está fortemente associado ao grande cientista e matemático John Von Neumann (Von Neumann 1966). Von Neumann estava interessado nas conexões entre biologia e a então nova ciência dos dispositivos computacionais chamada de Teoria dos Autômatos. Nos seus estudos, predominava a idéia do fenômeno biológico da auto-reprodução. A questão era: “Que tipo de organização lógica é suficiente para um autômato ser capaz de reproduzir a si próprio?”.

Von Neumann acreditava que uma teoria geral de computação em redes complexas de autômatos seria essencial para o entendimento de sistemas complexos da natureza e, também, para o desenvolvimento de sistemas artificiais complexos.

O autômato está embutido sobre um espaço celular bidimensional com regra de transição e configuração de estados iniciais particulares, o espaço bidimensional é considerado infinito, mas as células, em quantidade finita, iniciam em um estado

especial de repouso.

A vizinhança de cada célula pode consistir: i) de 5 células: ela mesma e as quatro vizinhas acima, abaixo, à esquerda e à direita, esta vizinhança bidimensional é chamada de vizinhança de Von Neumann; e, ii) de 9 células: a vizinhança de Von Neumann mais as células nas diagonais, é chamada de vizinhança de Moore.

A máquina de Von Neumann é capaz de ir mais além do que a auto-reprodução, ela é um construtor universal, capaz de construir qualquer autômato cuja descrição está na sua fita, e ainda também capaz de computação universal.

Por isso, a auto-reprodução reduz-se a um caso particular onde a fita contém a descrição da própria máquina. Inicialmente, é essencial que o autômato construído esteja desativado, ou seja, seu estado não se modifica antes de receber o sinal de inicialização.

## 2. METODOLOGIA

Originalmente, o modelo de propagação de incêndio em florestas, que foi utilizado como base, seguia um autômato celular probabilístico cujas regras simulavam incêndio e crescimento da vegetação. As regras eram as seguintes: i) uma árvore em chama, torna-se uma célula vazia (solo exposto); ii) uma árvore torna-se uma árvore em chama se pelo menos uma das suas vizinhas mais próximas está em chama; iii) uma árvore cresce com probabilidade  $p$  em uma célula vazia; e, iv) uma árvore sem uma vizinha próxima em chamas torna-se uma árvore em chamas com probabilidade  $f$  (combustão espontânea).

A linguagem de programação C++ foi utilizada para a implementação do ambiente de simulação, de modo orientado a objetos. Juntamente com o ambiente de simulação foi desenvolvido um ambiente de visualização 3D para uma melhor interpretação dos estados das células. Esse ambiente foi desenvolvido utilizando a API OpenGL.

Optou-se pela biblioteca OpenGL por ser uma especificação aberta e multiplataforma de uma biblioteca de rotinas gráficas e de modelagem, bidimensional e tridimensional. Considera-se extremamente portátil e rápida e é utilizada para o desenvolvimento de aplicações de Computação Gráfica (Cohen and Manssour 2006).

Para a aplicação do paralelismo em toda a malha de modo distribuído, utilizou-se a biblioteca de interface de mensagens chamada MPI (Gropp et al. 1999), desenvolvida para ser padrão em ambientes de memória distribuída e é portátil para qualquer arquitetura.

## 3. RESULTADOS

O presente trabalho é uma extensão do modelo dinâmico baseado em autômatos celulares para a simulação de incêndios em florestas (*Forest Fire Model*), como o modelo de Chopard (Chopard et al. 1998). Além disso, propõe-se um autômato celular probabilístico tridimensional, que simula incêndios em áreas florestais e urbanas, utilizando-se a vizinhança de Moore.

Nesta proposta, os estados que cada célula pode atingir compreendem: i) casa (área urbana); ii) árvore (área florestal); iii) água; iv) estrada; v) solo exposto e vi) fogo (incêndio). Para fins de experimentação do modelo, o estado inicial escolhido

para o autômato é definido a partir de uma situação sintética. Definiu-se uma “estrada” fixada na malha do autômato. Além disso, definiu-se um “lago” em um dos lados do autômato e as demais células são preenchidas aleatoriamente, podendo ser: casa, árvore ou solo.

O autômato evolui, ou seja, os estados das células são alterados conforme o estado de suas células vizinhas, de acordo com as seguintes regras: i) uma célula de estado água ou estrada não é alterada (inicialmente o modelo não está tratando mudança de volume de corpos d'água e construção de novas estradas/vias); ii) uma célula de estado casa ou árvore, com vizinha de estado fogo, transforma-se em célula de estado fogo; iii) uma célula de estado solo, transforma-se em árvore, se na sua vizinhança houver mais células de estado árvore, ou transforma-se em casa, se na sua vizinhança houver mais células de estado casa; iv) uma célula de estado fogo permanece fogo, por um espaço de tempo  $t$ , depois transforma-se em solo; v) nas células cujos estados árvore e solo há uma probabilidade  $p_{urb}$  deles tornarem-se casa; vi) nos estados casa e árvore há uma probabilidade  $p_{inc}$  de tornarem-se fogo; e, vii) no estado solo há a probabilidade  $p_{cresc}$  de tornar-se árvore.

As regras que permitem a evolução do modelo de autômato celular são aplicadas paralelamente em toda a malha de modo distribuído com a utilização de trocas de mensagens, possibilitando um alto desempenho no modelo. A plataforma alvo deste trabalho são ambientes de memória distribuída e agregados de computadores.

O simulador segue o modelo mestre/escravo onde: (i) a malha é dividida em pequenas partes e essas partes são distribuídas para que outras máquinas do cluster apliquem as regras do modelo na malha recebida; (ii) as malhas atualizadas em cada máquina escrava são enviadas ao *frontend* que as coleta, recompõe e apresenta a evolução resultante.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho é uma proposta de extensão do modelo dinâmico baseado em autômatos celulares para a simulação de incêndios em florestas de Chopard (Chopard et al. 1998). Mais especificamente, buscou-se a extensão desde modelo para atender a condições mais detalhadas de tipo de vegetação e outros aspectos ambientais, como corpos d'água, estradas e áreas urbanas, que não estavam presentes no modelo de Chopard.

O modelo de propagação de incêndio florestal está definido por um autômato celular probabilístico tridimensional síncrono, e por essas características, é razoável imaginar o modelo como um programa paralelo e distribuído. Os resultados de simulações alcançados neste projeto permitem concluir que modelos como o proposto, além de serem mais concretos e simplificados, apresentam resultados compatíveis com os modelos matemáticos analíticos, que necessitam de muita computação e, por isso, exigem muito mais recursos computacionais.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLEKAMP, E. R., CONWAY, J. H., and GUY, R. K. (1982). Winning Ways for your Mathematical Plays, volume 2. Academic Press.

CHOPARD, B., LUTHI, P., and MASSELOT, R. (1998). Cellular automata and lattice boltzmann techniques: An approach to model and simulate complex systems. In *Advances in Physics*.

COHEN, M. and MANSSOUR, I. H. (2006). *OpenGL Uma Abordagem Prática e Objetiva*. Novatec Editora.

GROPP, W., LUSK, E., and SKJELLUM, A. (1999). *Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message–Passing Interface*. The MIT Press, Cambridge, MA, second edition.

VON NEUMANN, J. (1966). *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press, Urbana, Illinois. Edited and completed by Arthur W. Burks.

WOLFRAM, S. (1994). *Cellular Automata and Complexity: Collected Papers*. Addison-Wesley.