



Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
Colegiado de Ciência da Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

**Um Modelo Multiagente em *Bitstring* em *CUDA* para Simular a Propagação de
Hipotéticas Doenças Baseadas em Modelagem Compartmental Tipo *SEIRS***

Wesley Luciano Kaizer

CASCABEL
2016

WESLEY LUCIANO KAIZER

**UM MODELO MULTIAGENTE EM *BITSTRING* EM *CUDA* PARA
SIMULAR A PROPAGAÇÃO DE HIPOTÉTICAS DOENÇAS BASEADAS
EM MODELAGEM COMPARTIMENTAL TIPO *SEIRS***

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da
Computação, do Centro de Ciências Exatas e Tec-
nológicas da Universidade Estadual do Oeste do
Paraná - Campus de Cascavel

Orientador: Prof. Dr. Rogério Luís Rizzi

CASCABEL
2016

WESLEY LUCIANO KAIZER

**UM MODELO MULTIAGENTE EM *BITSTRING* EM *CUDA* PARA
SIMULAR A PROPAGAÇÃO DE HIPOTÉTICAS DOENÇAS BASEADAS
EM MODELAGEM COMPARTIMENTAL TIPO *SEIRS***

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em
Ciência da Computação, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel,
aprovada pela Comissão formada pelos professores:

Prof. Dr. Rogério Luís Rizzi (Orientador)
Colegiado de Matemática, UNIOESTE

Profa. Dra. Claudia Brandelero Rizzi
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Prof. Dr. Guilherme Galante
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Cascavel, 23 de junho de 2016

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

SEIRS	Modelo Compartmental Suscetível, Exposto, Infectado, Recuperado e Suscetível
API	<i>Application Programming Interface</i>
CUDA	<i>Compute Unified Device Architecture</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
GPU	<i>General Purpose Graphics Processing Unit</i>

Lista de Símbolos

α	Taxa de infecção
β	Período de exposição
δ	Período de infectância
γ	Período de recuperação

Sumário

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
Lista de Símbolos	ix
Sumário	x
Resumo	xii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Motivação e Justificativas	2
1.3 Organização do Trabalho	3
2 Fundamentos	4
2.1 Introdução a Epidemiologia Computacional e Textos Correlatos	4
2.2 Tipos de Modelos, Classificação, entre outros	4
2.3 Agentes e Multiagentes	4
2.4 Modelagem em Operadores e Bitstring (Compartmental, Operadores, Bitstring)	4
2.5 Refinamento do Modelo	4
3 Metodologias Computacionais	5
3.1 Introdução	5
3.2 SIMULA	5
3.3 Estruturas de Dados, Linguagens, etc.	5
3.4 CUDA e OpenMP	5
4 Soluções	6
4.1 Introdução	6

4.2	Normal com CUDA e OpenMP	6
4.3	Bitstring com CUDA e OpenMP	6
4.4	Discussões Qualitativas, Quantitativas, Eficiência, Acurácia	6
5	Resultados e Discussões	7
5.1	Introdução	7
5.2	Cases: Discutir Simulações na 445, 445 + Vizinhas e etc.	7
	Glossário	8

Resumo

A aplicação de modelos computacionais baseados em modelagem compartimental na epidemiologia é amplamente estudada, como pode-se observar na extensa literatura disponível. A simulação de dinâmicas epidemiológicas é de particular interesse no estudo, prevenção e controle de doenças. Com base nestas premissas, este trabalho busca abordar o problema de simulação de hipotéticas doenças baseadas em modelo compartimental tipo SEIRS fazendo uso de técnicas de sistemas multiagentes, modelagem de indivíduos sob a especificação de palavras binárias, como em técnicas de *bitstring*, uso de dados georreferenciados para a especificação e composição de um *lattice* apropriado à simulação e a paralelização do sistema de simulação utilizando GPGPU na plataforma *CUDA*. Como resultado prático pretende-se apresentar uma aplicação totalmente funcional, capaz de simular eventos epidemiológicos computacionais em uma região da cidade de Cascavel. A avaliação do modelo proposto será executada através da realização de experimentos numérico-computacionais, buscando compará-los com aqueles obtidos da literatura e investigando ainda aspectos computacionais e performáticos da implementação realizada.

Palavras-chave: Epidemiologia, Sistemas multiagentes, Modelos compartimentais, modelagem *bitstring*, plataforma computacional paralela *CUDA*

Capítulo 1

Introdução

Epidemiologia pode ser definida como o estudo da frequência, da distribuição e dos estados ou eventos relacionados com a distribuição de doenças transmissíveis e não transmissíveis em populações específicas, e a aplicação dos resultados desses estudos na prevenção e controle dos problemas de saúde. Modelos computacionais baseados em indivíduos vêm sendo empregados na epidemiologia para estudar a propagação e transmissão de doenças, que são processos centrais na dinâmica de doenças infecto-contagiosas. O emprego destes modelos permite a modelagem de fenômenos de natureza probabilística e da heterogeneidade das relações entre os indivíduos e o meio, conferindo mais realidade ao modelo estudado. Modelos compartimentais podem ser utilizados para a definição de modelos mais complexos, tendo como base a subdivisão da população em categorias, onde os indivíduos fluem entre as categorias de acordo com determinadas taxas e cenários, eventualmente podendo respeitar as características particulares de um doença de interesse.

Para a implementação de modelos baseados em indivíduos em uma linguagem computacional pode ser interessante utilizar abordagens mais eficientes para codificação do sistema e ainda definir-se um *lattice* apropriado para a execução de futuros experimentos computacionais. Dependendo da dimensão do *lattice*, da quantidade de indivíduos e da complexidade das dinâmicas modeladas, é desejável otimizar o tempo de execução dos experimentos realizados, utilizando os recursos computacionais de processamento e armazenamento disponíveis da forma mais eficiente possível, buscando extrair máximo desempenho da máquina.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é propor, desenvolver e implementar um modelo epidemiológico computacional multiagente, com formulação em *bitstring*, para simular computacionalmente a propagação de hipotéticas doenças que possam ser modeladas por modelos compartimentais tipo *SEIRS*, utilizando como *lattice* uma região da cidade de Cascavel. A solução computacional do modelo proposto contemplará uma implementação utilizando *Compute Unified Device Architecture (CUDA)* para extrair máxima eficiência computacional através de paralelismo de dados. Para alcançar este objetivo é necessária a conclusão de objetivos mais específicos que contemplam:

1. Revisão bibliográfica nas temáticas pertinentes ao trabalho, incluindo temas como epidemiologia computacional, modelagem compartimental, sistemas multiagentes, formulação *bitstring*, estruturas de dados e plataforma computacional paralela *CUDA*.
2. Desenvolvimento e implementação de um modelo multiagente em *bitstring*, baseado em formulação compartimental, tendo como *lattice* uma quadra da cidade de Cascavel.
3. Paralelização em nível de dados do sistema multiagente de simulação em *bitstring* utilizando a plataforma computacional paralela *CUDA*.
4. O emprego e o aperfeiçoamento de uma ferramenta computacional para viabilizar e otimizar as fases de pré-processamento, processamento e pós-processamento da simulação, como as etapas de configuração e visualização dos resultados obtidos, sob o *lattice* escolhido.
5. Realização de experimentos numérico-computacionais visando verificar a acurácia da solução implementada bem como sua eficiência computacional e demais aspectos computacionais.

1.2 Motivação e Justificativas

Em conformidade com os objetivos estabelecidos, este trabalho justifica-se pelos seguintes motivos:

- O estudo e aplicação de modelos compartimentais em epidemiologia computacional é interessante pois estes mostram-se poderosos e flexíveis à modelagem de hipotéticas doenças, bem como são amplamente utilizados, como pode-se ver na literatura técnica disponível.
- O uso de agentes computacionais em simulações permite a modelagem mais realística dos fenômenos epidemiológicos de interesse por tratar os indivíduos independentemente uns dos outros e facilitar a posterior paralelização do modelo.
- A técnica de modelos de agentes em *bitstring* é relativamente nova e relevante, pois possibilita a modelagem de agentes computacionais de forma sucinta e eficiente, evitando desperdícios de memória, simplificando o processo de captura e configuração de atributos dos indivíduos e facilitando a implementação na plataforma *CUDA* por reduzir a quantidade de dados nas transferências entre CPU e GPU e ainda diminuir a complexidade das estruturas de dados utilizadas.
- O uso da plataforma *CUDA* é atrativo por possibilitar a paralelização massiva do sistema implementado, esperando-se ganhos de desempenho desejáveis nos experimentos computacionais que serão realizados.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 é apresentada e discutida a fundamentação teórica utilizada para a realização deste trabalho, envolvendo temáticas como a epidemiologia computacional, modelagem compartimental, sistemas multiagentes e modelagem *bitstring*. No Capítulo 3 são apresentados os métodos utilizados para a modelagem, implementação e teste do sistema multiagente, como estruturas de dados, linguagens, APIs e demais softwares de apoio. No Capítulo 4 são discutidas as implementações realizadas, fazendo-se comparações entre elas e discutindo demais pontos pertinentes. Por fim o Capítulo 5 discute resultados obtidos através da execução de testes utilizando as implementações realizadas.

Capítulo 2

Fundamentos

- 2.1 Introdução a Epidemiologia Computacional e Textos Correlatos**
- 2.2 Tipos de Modelos, Classificação, entre outros**
- 2.3 Agentes e Multiagentes**
- 2.4 Modelagem em Operadores e Bitstring (Compartimental, Operadores, Bitstring)**
- 2.5 Refinamento do Modelo**

Capítulo 3

Metodologias Computacionais

3.1 Introdução

3.2 SIMULA

3.3 Estruturas de Dados, Linguagens, etc.

3.4 CUDA e OpenMP

Capítulo 4

Soluções

4.1 Introdução

4.2 Normal com CUDA e OpenMP

4.3 Bitstring com CUDA e OpenMP

4.4 Discussões Qualitativas, Quantitativas, Eficiência, Acú- rácia

Capítulo 5

Resultados e Discussões

5.1 Introdução

5.2 Cases: Discutir Simulações na 445, 445 + Vizinhas e etc.

Glossário