

Modelagem Matemática e Computacional Aplicada no Controle da Dengue: Atividades Realizadas e em Andamento

Apresentado por:
André Luiz Brun e Rogério Luis Rizzi

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ (UNIOESTE)
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS (CCET)

II Oficina Técnica da Rede Pronex de Modelagem em Dengue
14-16 de Fevereiro de 2011

- Desenvolvimento de modelos computacionais georreferenciados que simulem a dinâmica de oviposição dos mosquitos e sua captura por armadilhas.
- Desenvolvimento de modelos que simulem estratégias de intervenção baseadas em controle biológico.
- Desenvolvimento de modelos para avaliar estratégias de controle que sejam relacionadas com a dinâmica populacional dos humanos, seu padrão de mobilidade e de atividade.

Grupo de Trabalho:

- André Luiz Brun - Professor (COMP.)
- Claudia Brandelero Rizzi - Professora (COMP.)
- Reginaldo Aparecido Zara - Professor (FÍS.)
- Rogério Luis Rizzi - Professor (MAT.)

- Emerson Vitor Castelani - Professor (MAT.)
- Sandro Marcos Guzzo - Professor (MAT.)

- Edson Silva - Professor (EST.)

- André Specian - Bolsista (COMP.)
- Carlos Henrique de França - TCC (COMP.)
- Diego Robles Vieira Ribeiro - **Bolsista Pronex** (COMP.)
- Leonardo Pereira Merlin - TCC (COMP.)
- Rodolfo Lorbieski - PIBIT-TCC (COMP.)

PARTE I - MODELOS E ABORDAGENS

Um Estudo de Modelos Compartimentais Tipo SIR

- Em alguns dos trabalhos já realizados deu-se atenção ao modelo tipo SIR, visto que ele possui uma rica estrutura matemática, é de fácil generalização e, para efeitos de simulação e análise, existe vasta e diversificada literatura técnica a respeito.
- O enfoque até o presente foi no estudo numérico-computacional de tal modelo.
- Se os resultados forem promissores, objetiva-se aplicar a metodologia desenvolvida à dinâmica espaço-temporal de modelos aplicados no controle da dengue.

Autômato Celular (AC)

Autômatos celulares são determinados quando da especificação de uma quádrupla $(\mathcal{L}, Q, \mathcal{V}, \sigma)$, onde:

- \mathcal{L} é o espaço celular onde os autômatos celulares são operados, e consiste em um *lattice* de células (ou elementos).
- Q é o espaço de estados das células, visto que cada célula do *lattice* possui determinado estado (ou fase). Representa os distintos, finitos e inteiros estados que a célula pode assumir.
- \mathcal{V} é o conjunto de células vizinhas - a vizinhança - onde são operados localmente a evolução espaço-temporal do autômato celular.
- σ é a regra de transição local que atua sobre as células de modo que o estado da célula pode variar (ocorrer uma transição) de um estado para outro num nível de tempo (ou ciclo ou iteração) para outro.

Modelo 1 (White, Martín del Rey, Sánchez, 2007)

- Modelo SIR
 - Doença não letal.
 - Sem taxas de natalidade e mortalidade.
 - Imunidade permanente.
 - Modo de contágio: contato entre indivíduos I e S.
- Autômato Celular (AC)
 - *Lattice* bidimensional.
 - Possibilidade de população heterogênea entre as células.
 - Vizinhanças de Moore e de Von Neumann.
 - Condições de contorno nula.
- Parâmetros
 - Taxa de virulência (v).
 - Taxa de recuperação (r).
 - Taxa de mobilidade entre células (m).
 - Taxa de conectividade entre células (c).

Modelo 1: Regras, Discretização e Parâmetros

- Regra dinâmica
 - Modelo baseado no modelo SIR de Kermack e McKendrick (1927).
 - Inserção de uma parcela que provê a dinâmica entre células vizinhas.
- Discretização
 - As equações produzem (ou deveriam produzir) as proporções de indivíduos nas classes S, I e R.
 - *Proporções* são valores no intervalo $[0, 1]$.
- Parâmetros utilizados
 - Dimensões do *lattice*: 50x50 células.
 - População por célula: 100 indivíduos.
 - Estado inicial: célula (25,25) com 30 indivíduos infectados.
 - Virulência: 0.6.
 - Recuperação: 0.4.
 - Mobilidade: 0.5.
 - Conectividade: 1.

Modelo 1: Características

Ingredientes básicos do modelo são a **conectividade** e a **movimentação**.

- O fator de conectividade entre as células $(i + \alpha, j + \beta)$ e (i, j) é designado por $c_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \in [0, 1]$.
- O fator de movimentação entre tais células é designado por $m_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \in [0, 1]$.
- O parâmetro $c_{\alpha,\beta}^{(i,j)}$ pode assumir distintos valores, dependendo dos meios de “transporte” existentes entre as células.
- O parâmetro $m_{\alpha,\beta}^{(i,j)}$ representa a probabilidade de que um indivíduo infectado pertencente à célula $(i + \alpha, j + \beta)$ se desloque à célula central (i, j) .
- Os fatores de conectividade e de movimentação diferem, dado que o primeiro depende da “infraestrutura de transporte” entre as células, enquanto o segundo depende das características da dinâmica modelada.

Modelo 1: Características

A **virulência e taxa de recuperação** são outros parâmetros fundamentais nesse modelo.

- Embora a virulência seja uma medida da capacidade que tem o patógeno de causar a doença nos indivíduos suscetíveis que a contraem, para (White, Martín del Rey, Sánchez) tal expressão representa a proporção de contatos adequados em relação ao número total de contatos entre indivíduos suscetíveis e infectados.
- A taxa de virulência é designada por $\nu \in [0, 1]$.
- Para efeito de modelagem, os autores agrupam a taxa de virulência com os fatores de conectividade e mobilidade em um parâmetro $\mu_{\alpha,\beta}^{(i,j)}$, como:

$$\mu_{\alpha,\beta}^{(i,j)} = c_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \cdot m_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \cdot \nu$$

- A taxa de recuperação, $\varepsilon \in [0, 1]$, representa a proporção de indivíduos infectados que se recuperam da doença em cada instante de tempo.

Modelo 1: O PVI

Utilizando proporções de indivíduos suscetíveis (s), infectados (i) e removidos (r) em todas as células, de modo que $s_{i,j}^t \in [0, 1]$, $i_{i,j}^t \in [0, 1]$ e $r_{i,j}^t \in [0, 1]$ representam a fração da população s , i e r , respectivamente, na célula (i, j) , no instante t , o PVI para o AC é escrito dado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{i,j}^t = (1 - \epsilon) \cdot i_{i,j}^{t-1} + \nu \cdot s_{i,j}^{t-1} \cdot i_{i,j}^{t-1} + s_{i,j}^{t-1} \cdot \sum_{(\alpha,\beta) \in \mathcal{V}^*} \frac{N_{i+\alpha,j+\beta}}{N_{i,j}} \cdot \mu_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \cdot i_{i+\alpha,j+\beta}^{t-1} \\ s_{i,j}^t = s_{i,j}^{t-1} - \nu \cdot s_{i,j}^{t-1} \cdot i_{i,j}^{t-1} - s_{i,j}^{t-1} \cdot \sum_{(\alpha,\beta) \in \mathcal{V}^*} \frac{N_{i+\alpha,j+\beta}}{N_{i,j}} \cdot \mu_{\alpha,\beta}^{(i,j)} \cdot i_{i+\alpha,j+\beta}^{t-1} \\ r_{i,j}^t = r_{i,j}^{t-1} + \epsilon \cdot i_{i,j}^{t-1} \\ i_{i,j}^0 \equiv i_0 > 0, \quad s_{i,j}^0 \equiv s_0 > 0, \quad r_{i,j}^0 = 0 \end{array} \right.$$

Modelo 1: Resultados de (White, Martín del Rey, Sánchez)

Utilizando os parâmetros indicados e a população homogênea entre as células.

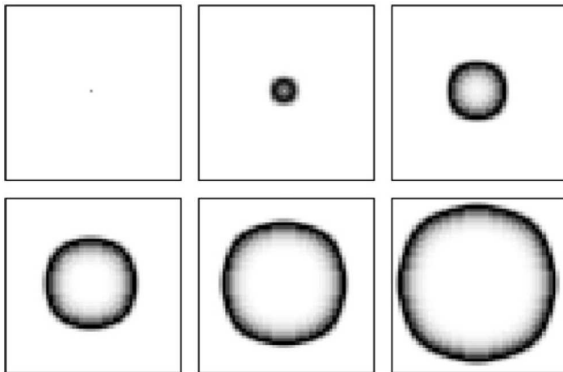


Figura: Soluções Propagando-se em Frentes Deslocando-se Concentricamente

Modelo 1: Resultados Obtidos com Parâmetros Originais

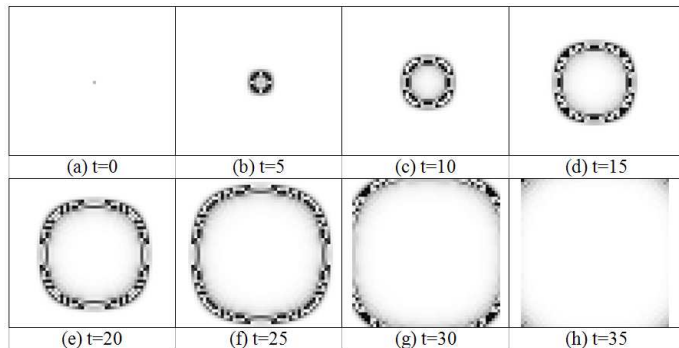


Figura: Estados do AC com os parâmetros usados no artigo de referência

Observa-se uma série de “lacunas” ou “falhas” na frente epidêmica e tal resultado difere do esperado, que é uma frente epidêmica homogênea.

Modelo 1: Uma Análise dos Resultados

O problema resulta no fato de que o valor de $i_{i,j}^t$ em determinadas células do AC está fora do intervalo $[0, 1]$ (é maior do que 1). Além disso, a evolução do AC também resulta em valores de $s_{i,j}^t$ menores do que zero em diversas células. Isso sugere eventual inconsistência na modelagem proposta para a regra de transição do AC ou na utilização dos parâmetros do modelo.

Uma análise indicou o uso de parâmetros inadequados, de modo que a proporção de contatos de indivíduos de uma célula com indivíduos de outra célula, por um número médio de novos contatos em um intervalo de tempo, medido por uma expressão de probabilidade $p(i, j)$ não cumpre a condição de balanço do modelo.

- Sendo os elementos da matriz de probabilidades proporções, tal que $0 \leq p_{i,j} \leq 1$, a soma de cada coluna deve ser igual a 1. Isto é, $\sum_{j=1}^n p_{i,j} = 1$.

Modelo 1: Resultados Obtidos com Ajustes nos Parâmetros

Com ajustes nos parâmetros o modelo produz os resultados esperados.

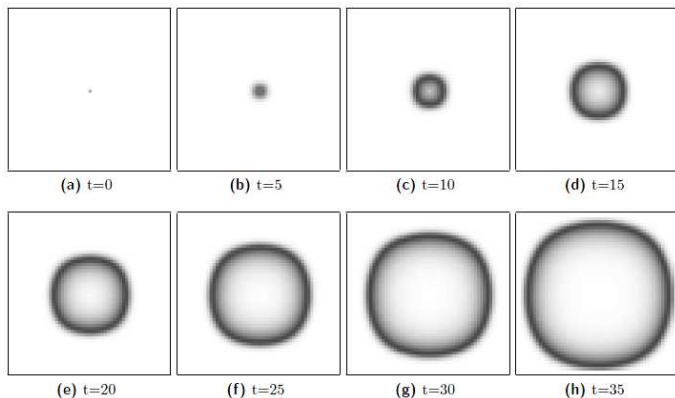


Figura: Dinâmica espaço-temporal do modelo 1, com taxas $\nu = 0.3$ e $\varepsilon = 0.2$, com $(\alpha, \beta) \in \mathcal{V}^*$.

Modelo 1: Características e Parâmetros

Para os resultados apresentados tomou-se:

- *Lattice* do autômato celular \mathcal{L}_q com dimensões 50×50 células.
- Vizinhança de Moore, com $\alpha, \beta \in \mathcal{V}$.
- Estado inicial com apenas a célula central $(25, 25)$ contendo indivíduos infectados, sendo especificada em termos de frações por $(s_{(25,25)}^0, i_{(25,25)}^0, r_{(25,25)}^0) = (0.7, 0.3, 0)$.
- Idêntico fator de conectividade em todo o autômato celular, isto é, $\forall (i, j) \in \mathcal{L}_q$ tem-se $c_{\alpha, \beta}^{(i, j)} = 1$.
- Idêntico fator de mobilidade em todo o autômato celular, isto é, $\forall (i, j) \in \mathcal{L}_q$ tem-se $m_{\alpha, \beta}^{(i, j)} = 0.5$.
- População homogênea em todo o autômato celular, ou seja, $\forall (i, j) \in \mathcal{L}_q$ tem-se $N_{i, j}^t = 100$.
- Taxa de virulência $\nu = 0.3$.
- Taxa de recuperação $\varepsilon = 0.2$.

Modelo 2 (Höhle, 2002)

Este modelo é apresentado em termos de quantidades de indivíduos S , I e R . Nessa situação, o problema de valor inicial é determinado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt}(S_p(t)) = -\beta_0 S_p(t) I_p(t) - \sum_{p^* \in N_8(p)} \beta(p, p^*) S_p(t) I_{p^*}(t) \\ \frac{d}{dt}(I_p(t)) = \beta_0 S_p(t) I_p(t) + \sum_{p^* \in N_8(p)} \beta(p, p^*) S_p(t) I_{p^*}(t) - \delta I(t) \\ \frac{d}{dt}(R_p(t)) = \delta I(t) \\ S(0) \equiv S_0 > 0; \quad I(0) \equiv I_0 > 0; \quad R(0) = 0 \end{array} \right.$$

onde $N_8(p)$ é a vizinhança de Moore, e sendo $\beta(p, p^*) = \frac{1}{\|p-p^*\|} \beta_I(p, p^*)$, com $\beta_I(p, p^*)$ uma especificação da contribuição da conectividade, da movimentação e da taxa de infecção. O valor do parâmetro $\beta(p, p^*)$ depende das características da topologia da célula e de como se dá a transmissão da doença, entre outros fatores.

Modelo 2: Resultados

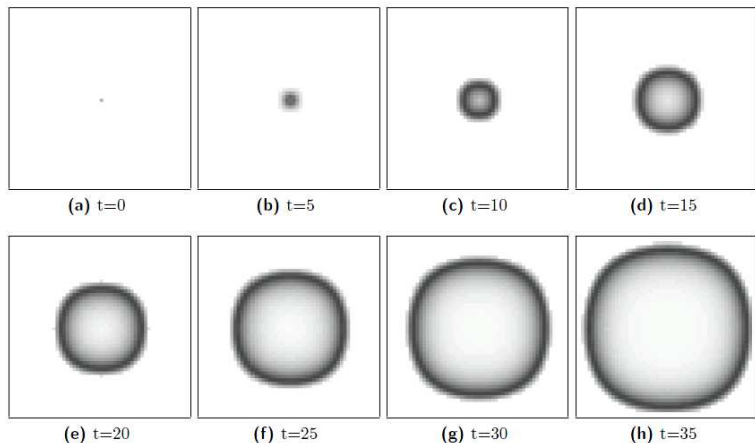


Figura: Dinâmica espaço-temporal do modelo 2, com taxas $\beta_0 = 0.3$ e $\delta = 0.2$, com $p^* \in N_8(p)$.

Modelo 2: Características e Parâmetros

Para os resultados apresentados tomou-se:

- *Lattice* do autômato celular \mathcal{L}_q com dimensões 50×50 células.
- Vizinhança de Moore.
- Estado inicial com a célula central $(25, 25)$ contendo indivíduos infectados, sendo especificada por $S_{(25,25)}^0 = 70$, $I_{(25,25)}^0 = 30$ e $R_{(25,25)}^0 = 0$.
- Idêntico fator de distância (parâmetro de “conecto-mobilidade”) em todo o autômato celular, isto é, $\forall(i, j) \in \mathcal{L}_q$ tem-se que $\|p - p^*\| = 1$, com $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0.5$.
- População homogênea em todo o \mathcal{L}_q , ou seja, $\forall(i, j) \in \mathcal{L}_q$ tem-se $N_{i,j}^t = 100$.
- Taxa de virulência $\beta_0 = 0.3$.
- Taxa de recuperação $\delta = 0.2$.

Modelo 3 (Fuks, Lawniczak, 2001)

Neste modelo considera-se $N_S(t)$, $N_I(t)$ e $N_R(t)$ indivíduos suscetíveis, infectados e removidos, respectivamente. O problema de valor inicial é determinado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_S(t+1) = \rho_S(t) - r\rho_S(t)\rho_I(t) \\ \rho_I(t+1) = \rho_I(t) + r\rho_S(t)\rho_I(t) - a\rho_I(t) \\ \rho_R(t+1) = \rho_R(t) + a\rho_I(t) \\ \rho_S(0) \equiv \rho_S^0 > 0; \rho_I(0) \equiv \rho_I^0 > 0; \rho_R(0) = 0 \end{array} \right.$$

Esse modelo é uma versão discreta análoga aquela do modelo SIR padrão, onde $\rho \in \{S, I, R\}$.

Modelo 3: Parâmetros e Resultados

Os parâmetros no modelo do campo médio (dinâmica temporal) foram:

- Estado inicial especificado por $(\rho_S^0, \rho_I^0, \rho_R^0) = (249.970, 30, 0)$.
- Taxa de infecção $r = 0.3$.
- Taxa de recuperação $a = 0.2$.

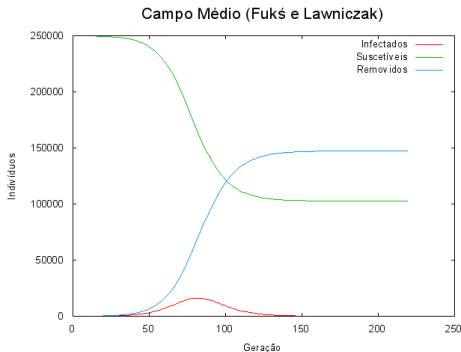


Figura: Variação no Tempo das Quantidades dos Indivíduos S , I e R .

Lattice Gas Cellular Automata (LGCA)

- Na modelagem de um *Lattice Gas Cellular Automata* (LGCA) deve-se especificar uma quádrupla $(\mathcal{L}, Q, \mathcal{V}, \sigma)$ que atenda as características de um autômato celular.
- Supõe-se que a população pode ser compartimentalizada em indivíduos cujo estado τ é do tipo suscetível, infectado ou recuperado, de modo que $\tau \in \{S, I, R\} = Q$.
- Sendo o LGCA um problema de valor inicial e de contorno é necessário especificar tais condições. A condição inicial é tal que em $t_{inicial} = 0$ os indivíduos que representam os estados S , I e R são distribuídos aleatoria e independentemente entre as células do *lattice* \mathcal{L} .
- A evolução espaço-temporal do LGCA é realizada a cada passo de tempo de modo que um operador de evolução é aplicada simultânea e independentemente em todas as células do *lattice*.

Modelo 4 (Fuks, Lawniczak, 2001)

- Esse operador de evolução σ é a regra de transição local, que atua sobre todas as células de modo que um estado da célula pode ou não variar para outro estado num nível de tempo discreto para outro.
- Tal operador é especificado por uma composição de três operações, que são o contato C , a randomização R e a propagação P .

$$\sigma \equiv P \circ R \circ C$$

onde cada operação C , R e P modela aspectos do processo epidêmico.

- Na **operação de contato** C supõe que os indivíduos residem no interior de uma célula do *lattice* e que indivíduos S numa célula, independentemente de outras, tem a probabilidade de ser infectado.

$$\left(1 - (1 - p)^{N_I} \right)$$

onde N_I é a quantidade de indivíduos infectados numa célula e p é a probabilidade de infecção por contato, por indivíduo.

Modelo 4 (Fuks, Lawniczak, 2001)

- A **operação de randomização** R é aplicada a cada célula independentemente de outra, de modo que a população de indivíduos residentes numa célula é randomicamente distribuída para as posições que representam a identificação das arestas. O processo de redistribuição de indivíduos na célula é probabilístico, contribuindo para a modelagem do processo de mistura randômica dos indivíduos.
- Na **operação de propagação** P , os indivíduos se movem simultaneamente de suas células para as vizinhanças pelas arestas. É através das arestas, permitindo-se apenas um indivíduo por aresta, que os indivíduos se movem no passo de propagação da célula (i, j) para as células vizinhas, desde que a posição correspondente da célula vizinha esteja desocupada, visto que mimetiza-se a idéia de colisão de partículas. O movimento dos indivíduos é determinístico, já que ele foi determinado no passo anterior, de randomização.

Considerando-se as especificações dadas nas regras de transição de contato, de randomização e de propagação, mais uma CC periódica e uma CI, um PVIF para o LGCA é:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\sigma} \left(\tau_{(i+\alpha_k, j+\beta_k)}^t \right) = \tau_{i,j}^{t+1}; \quad (i, j) \in \mathcal{V}_{i,j} \subset \mathcal{L}_q, t > 0 \\ \tau_{1,j} = \tau_{n,j}, \tau_{i,1} = \tau_{i,m}; \quad (i, j) \times t \in \partial \mathcal{L}_q \times [0, T] \\ \tilde{\sigma} \left(\tau_{(i,j)}^0 \right) = \tau_{(i,j)}^0; \quad (i, j) \in \mathcal{L}_q \end{array} \right.$$

com $\tau \in \{S, I, R\}$, sendo $\tilde{\sigma} \equiv \tilde{P} \circ \tilde{R} \circ C$ uma implementação da regra de transição σ .

- Ou seja, $\tilde{\sigma} \equiv \tilde{P} \circ \tilde{R} \circ (1 - (1 - p_{i,j}))^{N_I}$, sendo \tilde{P} e \tilde{R} um conjunto de procedimentos (algoritmos) para implementar as fases de propagação e de randomização, respectivamente.

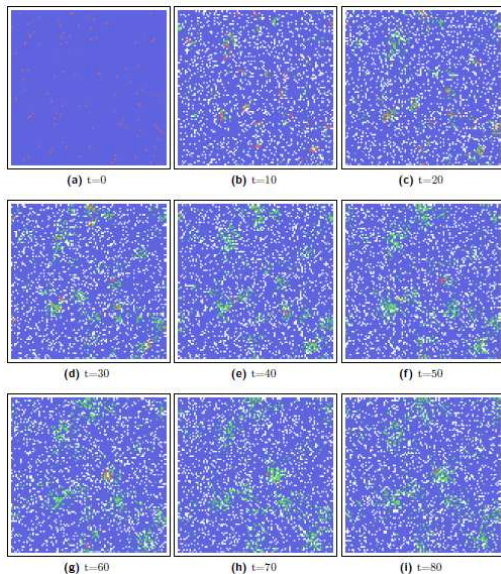
Modelo 4: Parâmetros e Resultados

Os parâmetros no modelo LGCA-SIR foram:

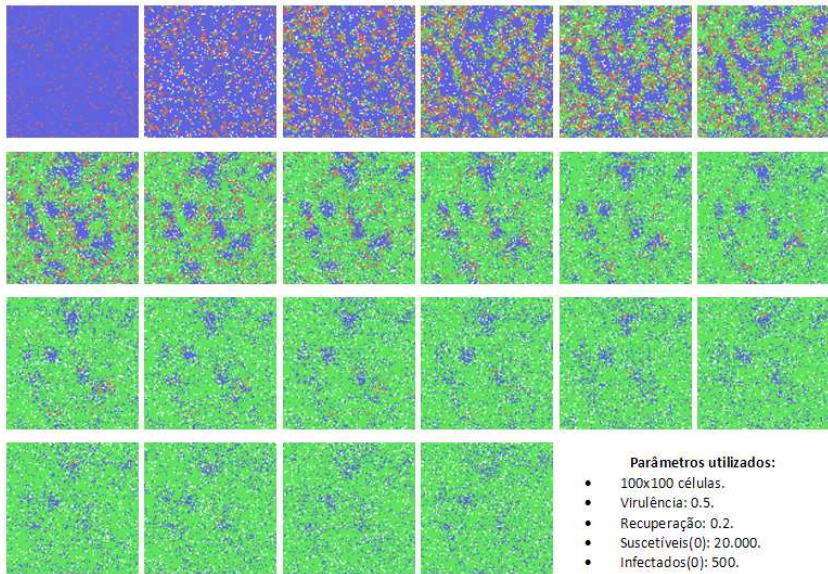
- *Lattice* do autômato celular \mathcal{L}_q com dimensões 50×50 células.
- Vizinhança de Von Neumann
 $\mathcal{V} = \{(0,0), (-1,-1), (-1,0), (-1,1), (0,-1), (0,1), (1,-1), (1,0), (1,1)\}$.
- Estado inicial distribuindo indivíduos suscetíveis e infectados, sendo especificada por $(s_{(i,j)}^0, i_{(i,j)}^0, r_{(i,j)}^0) = (16.000, 100, 0)$.
- População homogênea em todo o autômato celular, ou seja, $\forall (i,j) \in \mathcal{L}_q$, a população é randomicamente distribuída.
- Taxa de infecção $p = 0.3$.
- Taxa de recuperação $a = 0.2$.

A inicialização toma $s_0 = 16.000$ e $i_0 = 100$ indivíduos distribuídos utilizando-se consecutivas vezes o algoritmo de embaralhamento de Fischer-Yates-Durstenfeld até que os indivíduos estejam randomicamente distribuídos.

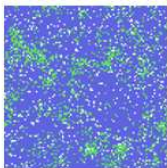
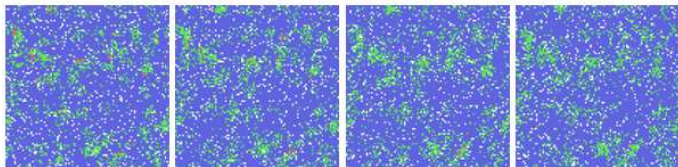
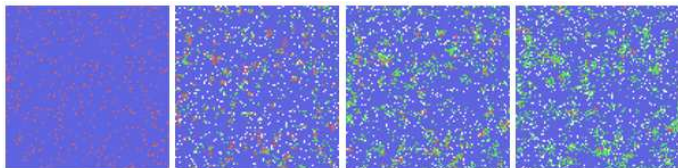
Modelo 4: Parâmetros e Resultados



Modelo 4: Outros Parâmetros e Resultados



Modelo 4: Outros Parâmetros e Resultados



Parâmetros utilizados:

- 100x100 células.
- Virulência: 0.6.
- Recuperação: 0.4.
- Suscetíveis(0): 20.000.
- Infectados(0): 500.

- Até o momento, o projeto de *Desenvolvimento de Modelos Matemáticos para Aplicação no Controle da Dengue* está em bom estágio de desenvolvimento. Houve uma revisão de literatura, permeada por leituras de artigos e implementação de algoritmos para um melhor entendimento dos modelos.
- A etapa inicial das implementações foi a construção dos modelos de redes complexas. Este é um meio de aproximar a representação de uma população, onde pode haver a coexistência para humanos e mosquitos. A modelagem das redes complexas é feita por meio de grafos, onde os elementos “vértices” são interligados através de “arestas”. Os vértices representam os indivíduos na população, enquanto as arestas representam o contato entre os indivíduos.

As redes implementadas foram:

- Grafo aleatório: caracterizados pelo grande número de vértices e arestas e pela sua complexa conexão. Os vértices podem estar conectados a qualquer outro vértice não importando sua distância ou quantidade de ligações que ele já possui.
- Grafo livre de escala: a partir de um grafo aleatório pequeno feito é possível adicionar quantidades fixas de vértices e arestas no grafo inicial, alterando as probabilidades de conexão.
- Grafo mundo pequeno: é caracterizado por ligações de curto alcance (ligação entre vizinhos mais próximos) permeada por uma quantidade pequena de ligações de longo alcance.

Todas as redes foram devidamente aperfeiçoadas, seus dados foram comparados e aprovados com resultados disponibilizados em artigos.

- Após construção das redes complexas foi escolhida a rede mundo pequeno para iniciar a implementação de modelos epidêmicos tipo dengue. Esta rede foi considerada adequada visto que permite investigar a propagação localmente (como um processo de difusão), enquanto as conexões de longo alcance podem simular efeitos da mobilidade dos indivíduos por toda a rede.
- No momento estão sendo investigados modelos discretos com coexistência de populações (Humanos + mosquitos interagindo de forma inter e intrapopulação), cada um com seu próprio modelo de propagação acoplado ao da população com a qual coexiste. Os programas estão em fase de teste e calibração.

Trabalhos em Andamento (TCC): Rodolfo

- Ambiente georreferenciado para simulação da disseminação da dengue em Cascavel/PR: Sistema de Informações em Dengue (SIGDengue). O objetivo do trabalho é desenvolver um sistema de informações georreferenciadas que permita o armazenamento, manutenção e recuperação de informações sobre dengue no município de Cascavel.
- O sistema permitirá a visualização das informações no mapa do município identificando as subregiões de trabalho em dengue (formato KML) e a geração de relatórios estatísticos, incluindo resultados de processos de simulação da dengue.
 - Resumo semanal do serviço antivetorial (SISFAD).
 - Pontos estratégicos de dengue conforme estabelecido pelo setor de endemias.
 - Casos suspeitos, notificados e confirmados sobre dengue (2007/2010).
 - Pontos estratégicos relevantes de aglomeração de pessoas (escolas, empresas, locais de lazer).
 - Alguns dados censitários do IBGE.
 - Dados meteorológicos.

- Ambiente georreferenciado para simulação da disseminação da dengue em Cascavel-PR: ênfase em agentes **humanos**. O objetivo dos trabalhos é melhor compreender a disseminação da dengue no município de Cascavel/PR, a partir de estudos e simulações que enfatizem alguma dinâmica espaço-temporal entre indivíduos.
- Informações relevantes à modelagem serão obtidas no Sistema de Informações em Dengue (SIGDengue) bem como viabilizará a visualização dos resultados dos processos de simulação.
- A modelagem utilizará redes de mundo pequeno e agentes computacionais baseadas em (LIU Tao, LI Xia, LIU XiaoPing, 2010) e (Yang, H. M, Ferreira, C. P., 2008).

- Ambiente georreferenciado para simulação da disseminação da dengue em Cascavel-PR: ênfase no **mosquito** *Aedes aegypti*. O objetivo do trabalho é melhor compreender a dinâmica espaço-temporal do mosquito no município de Cascavel-PR.
- Informações relevantes à modelagem serão obtidas no Sistema de Informações em Dengue (SIGDengue) bem como viabilizará a visualização dos resultados dos processos de simulação.
- A modelagem utilizará agentes computacionais e tomará como referência o modelo de (Yang, H. M, Ferreira, C. P., 2008) e (LIU Tao, LI Xia, LIU XiaoPing, 2010).

PARTE II - DADOS E PARÂMETROS

Mapa de Localidades: Cascavel-PR

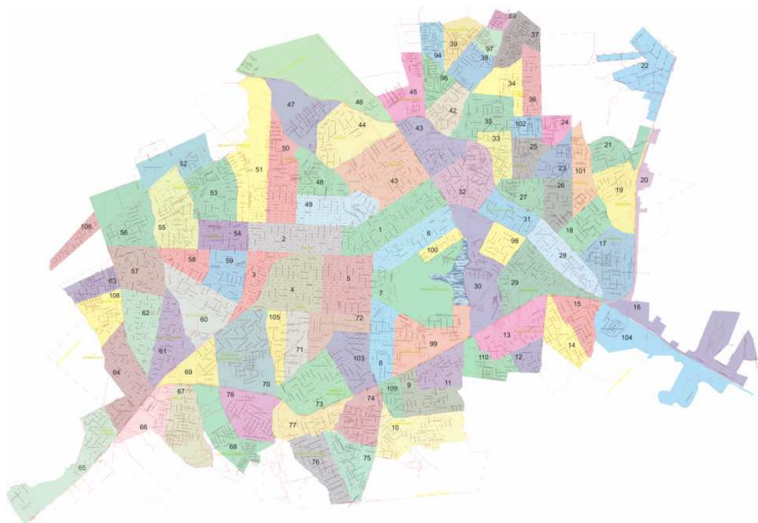
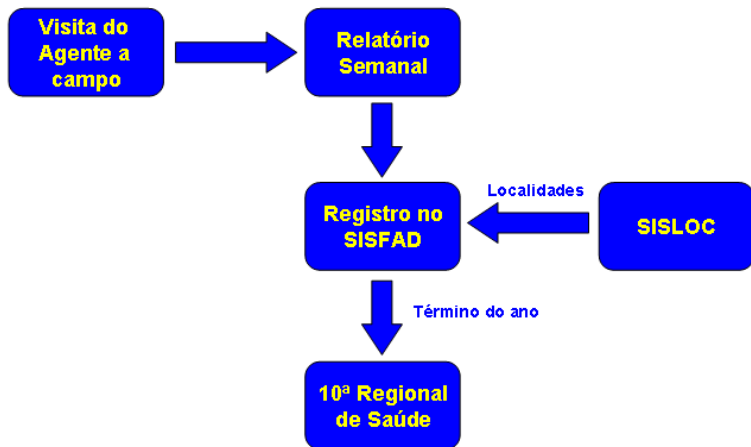
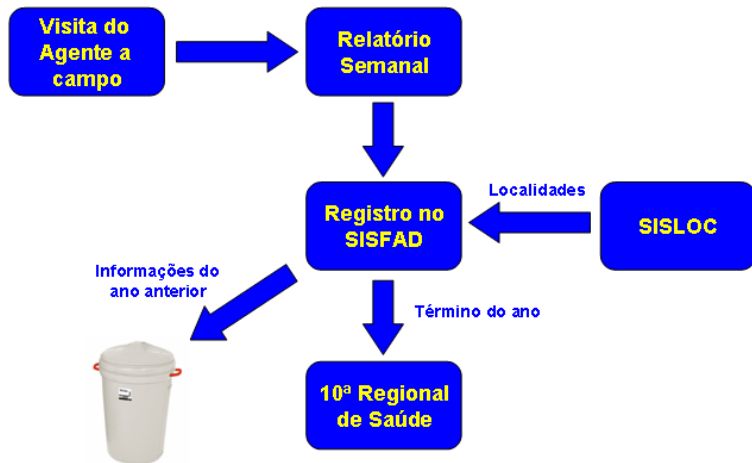


Figura: Mapa de Localidades utilizado pelo Setor de Endemias.

Aquisição e Registro de Dados



Aquisição e Registro de Dados



- Necessidade de informações ao longo de determinado período.
- Back-ups comprometidos.
- Volume de resumos físicos.
- Controle endemias x 10^a Regional de Saúde.
 - Prefeitura (Setor de Endemias): 2010.
 - Regional de Saúde: 2007 a 2009.
- SISFAD (2007-2010).
 - Relatório por localidade, município.
 - Relatório por mês, ciclo, ano.

- Três tipos de atividades.
 - PPE (Pesquisa ponto estratégico).
 - PVE (Pesquisa vetor espacial).
 - Tratamento (Busca detalhada).
- Período levantado: 4 anos.
- Granularidade espacial: localidades (total 110).
- Granularidade temporal: mensal.
- Assim: $110 \text{ locais} \times 12 \text{ meses} \times 4 \text{ anos} \times 3 \text{ atividades} \approx 15.840$.
- Pontos estratégicos: Borracharias, Ferros-velho, Lixões...
- Mapeamento com GPS de precisão
 - Laboratório de Agricultura de Precisão.

Exemplo de Formulário

PROGRAMA NACIONAL DE CONTROLE DA DENGUE - PNCD
01 Controle Digitação
RESUMO SEMANAL DO SERVIÇO ANTIVETORIAL
383

S U S

Município: 04808 Código e nome da localidade: L - Lendo Zona: 383

Catag. Localiz.: V Tipo: 1 - sede e outros Cicloano: 1 - 2010 Conclusão: 9 - 2010 Sem. Epidem.: 9 Data início: 28.02.2010 Data final: 06.03.2010

Atividades

6/ 5A) Levantamento de Índices 3A) * - Levantamento de Índices - Tratamento 3A) FE - Posto Estratégico
 6/ 6) - Tratamento 5D) - Delimitação de Foco 6) PVE - Pesquisa Vetorial Especial

RESUMO DO TRABALHO DE CAMPO

1) Total quart. contol: 9 Nº imóveis trabalhados por tipo: 260 143 13 73 489 6 489 2/ 169

14) Residência 15) Comércio 16) TR 17) FE 18) Outros 19) Total 20) Total Fiscal 21) Total Parafiscal 22) Total Contratos 23) Imóveis 24) Atividades 25) Serviços 26) Serviços

27) A1 28) A2 29) B 30) C 31) D1 32) D2 33) E 34) Total 35) Depósito: Eliminado 36) Total: 2 379

Nº depósitos tratados

38) Tipo 39) Qtdte. (Gramas) 40) Qtdte. dep. trat. 41) Tipo 42) Qtdte. (Gramas) 43) Qtdte. dep. trat. 44) Adulterada 45) Agente por dia trabalhado

41) L 42) 35 43) 8 44) 45) 812

RESUMO DO LABORATÓRIO

46) com Aedes aegypti 47) A1 48) A2 49) B 40) C 41) D1 42) D2 43) E 44) Total: 2

46) com Aedes albopictus

46) outros

A1 - Larvas d'água (larvário) A2 - Outros depósitos de armazenamento de água (larvário) B - Presença de larvas imaturas
 D1 - Presença de pupas imaturas D2 - Larvas imaturas, pupas, adultos, imaturos E - Depósitos vazios

Nº de imóveis com espécimes por tipo

49) Residência 50) Comércio 51) Tercário 52) Trans. Ex. Trabalho 53) Outros 54) Total 55) Nº de espécimes 56) Larvas 57) Pupas 58) Estado de pupa 59) Adultos

com Aedes aegypti 50) 3 51) 3 52) 2 53) 2 54) 2 55) 2 56) 2 57) 2 58) 2 59) 2

com Aedes albopictus

outras

49) 1 50) 1 51) 1 52) 1 53) 1 54) 1 55) 1 56) 1 57) 1 58) 1 59) 1

50) Nº de seq. dos quarteirões com Aedes aegypti 51) Nº de seq. dos quarteirões com Aedes albopictus 52) Nº de seq. dos quarteirões com Aedes aegypti + Aedes albopictus

50) 51) 52)

Exemplos de Calendários

CICLOS DOS PE'S

| CICLOS | PERÍODO | |
|--------|----------|----------|
| 1º | 01/01/10 | 15/01/10 |
| 2º | 16/01/10 | 31/01/10 |
| 3º | 01/02/10 | 15/02/10 |
| 4º | 16/02/10 | 28/02/10 |
| 5º | 01/03/10 | 15/03/10 |
| 6º | 16/03/10 | 31/03/10 |
| 7º | 01/04/10 | 15/04/10 |
| 8º | 16/04/10 | 30/04/10 |
| 9º | 01/05/10 | 15/05/10 |
| 10º | 16/05/10 | 31/05/10 |
| 11º | 01/06/10 | 15/06/10 |
| 12º | 16/06/10 | 30/06/10 |
| 13º | 01/07/10 | 15/07/10 |
| 14º | 16/07/10 | 31/07/10 |
| 15º | 01/08/10 | 15/08/10 |
| 16º | 16/08/10 | 31/08/10 |
| 17º | 01/09/10 | 15/09/10 |
| 18º | 16/09/10 | 31/09/10 |
| 19º | 01/10/10 | 15/10/10 |
| 20º | 16/10/10 | 31/10/10 |
| 21º | 01/11/10 | 15/11/10 |
| 22º | 16/11/10 | 30/11/10 |
| 23º | 01/12/10 | 15/12/10 |
| 24º | 16/12/10 | 31/12/10 |

CALENDÁRIO EPIDEMIOLÓGICO – 2010

| SEMANAS | INÍCIO | TERMINO |
|---------|----------|----------|
| 1 | 03/01/10 | 09/01/10 |
| 2 | 10/01/10 | 16/01/10 |
| 3 | 17/01/10 | 23/01/10 |
| 4 | 24/01/10 | 30/01/10 |
| 5 | 31/01/10 | 06/02/10 |
| 6 | 07/02/10 | 13/02/10 |
| 7 | 14/02/10 | 20/02/10 |
| 8 | 21/02/10 | 27/02/10 |
| 9 | 28/02/10 | 06/03/10 |
| 10 | 07/03/10 | 13/03/10 |
| 11 | 14/03/10 | 20/03/10 |
| 12 | 21/03/10 | 27/03/10 |
| 13 | 28/03/10 | 03/04/10 |
| 14 | 04/04/10 | 10/04/10 |
| 15 | 11/04/10 | 17/04/10 |
| 16 | 18/04/10 | 24/04/10 |
| 17 | 25/04/10 | 01/05/10 |
| 18 | 02/05/10 | 08/05/10 |
| 19 | 09/05/10 | 15/05/10 |
| 20 | 16/05/10 | 22/05/10 |
| 21 | 23/05/10 | 29/05/10 |
| 22 | 30/05/10 | 06/06/10 |
| 23 | 06/06/10 | 12/06/10 |
| 24 | 13/06/10 | 19/06/10 |
| 25 | 20/06/10 | 26/06/10 |
| 26 | 27/06/10 | 03/07/10 |
| 27 | 04/07/10 | 10/07/10 |
| 28 | 11/07/10 | 17/07/10 |
| 29 | 18/07/10 | 24/07/10 |
| 30 | 25/07/10 | 31/07/10 |
| 31 | 01/08/10 | 07/08/10 |
| 32 | 08/08/10 | 14/08/10 |
| 33 | 15/08/10 | 21/08/10 |
| 34 | 22/08/10 | 28/08/10 |
| 35 | 29/08/10 | 04/09/10 |
| 36 | 05/09/10 | 11/09/10 |
| 37 | 12/09/10 | 18/09/10 |
| 38 | 19/09/10 | 25/09/10 |
| 39 | 26/09/10 | 02/10/10 |
| 40 | 03/10/10 | 09/10/10 |
| 41 | 10/10/10 | 16/10/10 |
| 42 | 17/10/10 | 23/10/10 |
| 43 | 24/10/10 | 30/10/10 |
| 44 | 31/10/10 | 06/11/10 |
| 45 | 07/11/10 | 13/11/10 |
| 46 | 14/11/10 | 20/11/10 |
| 47 | 21/11/10 | 27/11/10 |
| 48 | 28/11/10 | 04/12/10 |
| 49 | 05/12/10 | 11/12/10 |
| 50 | 12/12/10 | 18/12/10 |
| 51 | 19/12/10 | 25/12/10 |
| 52 | 26/12/10 | 31/12/10 |

Detalhamento das Localidades

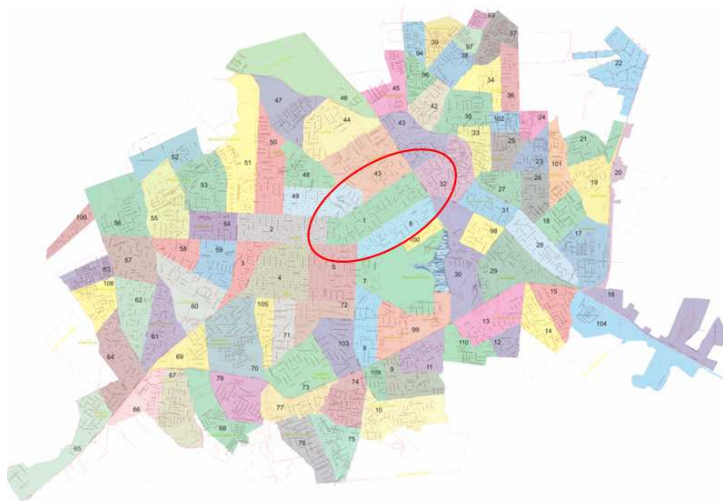


Figura: Mapa de Localidades utilizado pelo Setor de Endemias.

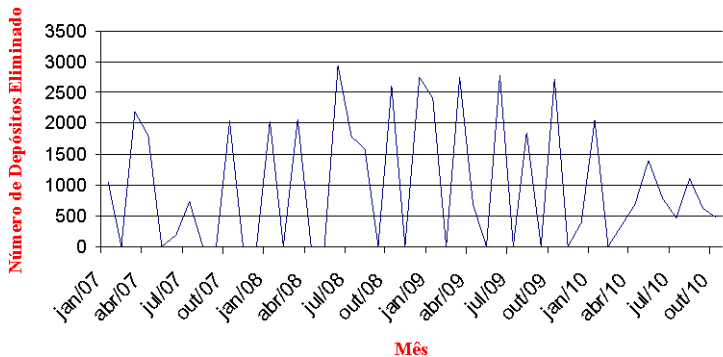
- Número de PEs.
- Número de TBs.
- Número de imóveis.
- Número de quarteirões concluídos.
- Número de agentes.
- IIP A. aegypti e IIP A. albopictus.
- IB A. aegypti e IB A. albopictus.
- Número de imóveis trabalhados por tipo de:
 - Residência, Comércio, TB, PE e outros.
- Pendências.
 - Fechado, Recusa, Recuperados.

Informações Específicas

- Número de imóveis positivos (aegypti, albopictus).
 - Residência, Comércio, TB, PE e Outros.
- Número de depósitos inspecionados por tipo:
 - A1: Caixa de água (elevada).
 - A2: Outros depósitos de armazenamento de água (baixo).
 - B: Pequenos depósitos móveis.
 - C: Depósitos fixos.
 - D1: Pneus e outros materiais rodantes.
 - D2: Lixo (recipientes plásticos, latas), sucatas e entulhos.
 - E: Depósitos naturais.
- Número de depósitos positivos (por tipo).
- Número de depósitos tratados com larvicida tipo 1 e tipo 2.
- Quantidade, em gramas, de cada larvicida.
- Tratamento focal / perifocal.
- Quarteirões positivos.
 - Apresenta o número dos quarteirões onde se encontrou larva ou pulpas.

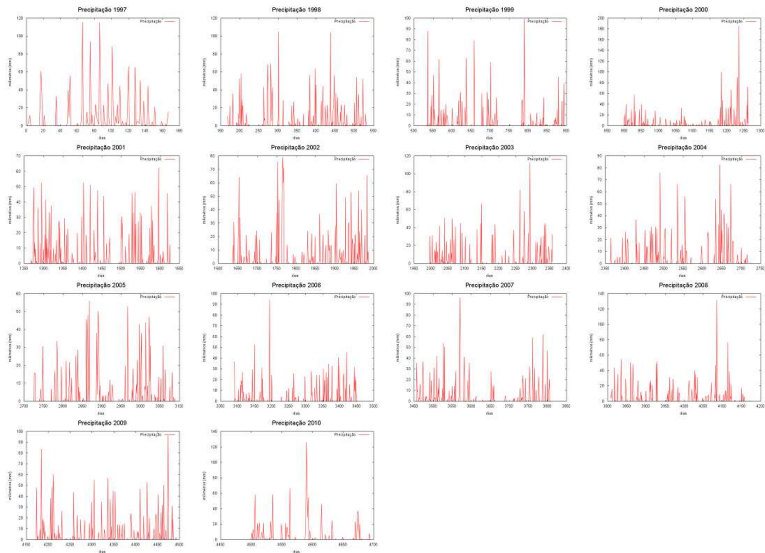
Depósitos Eliminados

- Localidade 1 - Centro.
- Tipo de Atividade: 4 - Tratamento.
- Envolvendo categorias (A1, A2, B, C, D1, D2 e E).



- Instituto Tecnológico SIMEPAR.
 - Direção do vento.
 - Precipitação.
 - Pressão.
 - Radiação solar.
 - Temperaturas máxima, mínima e média.
 - Umidade relativa.
 - Velocidade do vento.
- Desde 17/07/1997.
- Amostragem diária.
- Uma única estação meteorológica.

Informações Meteorológicas: Exemplo Precipitação

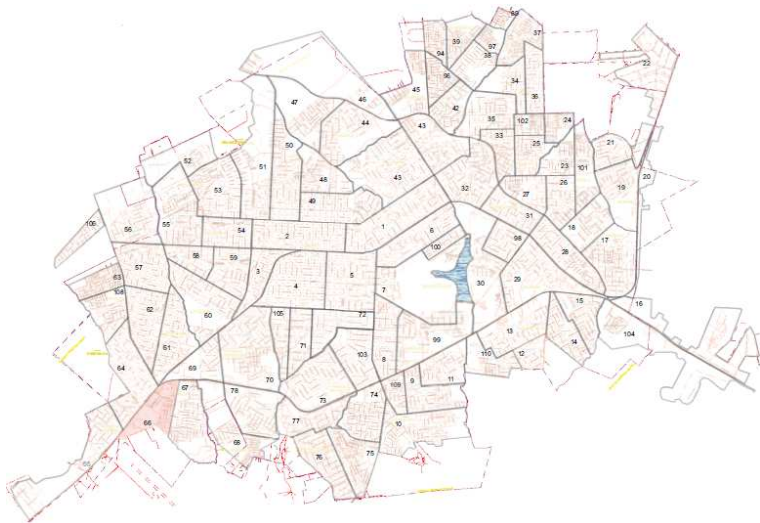


- Secretaria Municipal de Saúde.
 - Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).
- Casos confirmados.
 - Positivos.
 - Negativos.
- Casos suspeitos.
- Data de início dos sintomas (temporal).
- Endereço (local).
- Mapeamento geográfico de todos os casos.
 - Aproximadamente 5.000 pontos.

| Dados já Obtidos | Dados / atividades a desenvolver |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mapeamento das 110 Localidades.• Construção do mapa com subdivisões.• Detalhamento de cada Localidade.<ul style="list-style-type: none">▪ Caracterização da localidade.▪ Dados sobre visitas (PPE, Tratamento e PVE).▪ Dados sobre coleta de larvas e pulpas• Levantamento de Dados Meteorológicos.• Georeferenciamento de pontos estratégicos.• Dados sobre casos suspeitos, notificados e confirmados. | <ul style="list-style-type: none">• Georeferenciamento dos casos suspeitos, notificados e confirmados.<ul style="list-style-type: none">▪ Aproximadamente 5000(?) pontos.• Levantamento da Densidade Demográfica<ul style="list-style-type: none">▪ Censo 2010.• Continuidade no Georeferenciamento de pontos estratégicos.• Manipulação e análise dos dados já obtidos• Construção do Sistema SIGDengue. |

SIGDengue: Tecnologias

- Linguagem: JAVA; SGBD: Postgres; Google: KML -> MAPs, Earth.



Referências Bibliográficas



White, S. H., Martín del Rey, A., Sánchez, G. R.

Modeling Epidemics Using Cellular Automata.

Applied Mathematics and Computation. Vol. 186. No. 1. Pg. 193-202. 2007.



Fuks, H., Lawniczak, A.T.

Individual-based lattice model for the spatial spread of epidemic.

Discrete Dynamics in Nature and Society. Vol. 6 Pg. 191-200. 2001.



Voroney, J., Lawniczak, A.

Construction, mathematical description and coding of reactive lattice-gas cellular automaton.

Simulation Practice and Theory. Vol. 7. No. 7. Pg. 657-689. 2000.



Höhle, M.

Population Dynamics I - The SIR Model (Spatial Dimension of Population).

Disponível em <<http://www.dina.kvl.dk/~hoehle/teaching/SundSmit/talk.pdf>>. 2002.

Acesso em 2010.



Mariani, R. Rizzi, R. L.

Autômatos Celulares Aplicados à Simulação de Epidemias. LGCA Aplicados à Simulação de Epidemias.

Relatórios Técnicos. 2010



LIU Tao, LI Xia, LIU XiaoPing

Integration of small world networks with multi-agent systems for simulating epidemic spatiotemporal transmission.

Chinese Science Bulletin. Vol. 55 No.13. pp. 1285-1293. 2010



Yang, H. M, Ferreira, C. P.

Assessing the effects of vector control on dengue transmission.

Applied Mathematics and Computacion. Vol 198. 2008, p. 401-413

Obrigado pela atenção!

- Perguntas?