

Universidade Federal de Ouro Preto
Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais
Orientador: Tiago Garcia de Senna Carneiro
Co-orientador: Cláudia Torres Codeço

Projeto de mestrado:
Integração de modelos dinâmicos espaciais para
ecologia do vetor *Aedes aegypti*

Raquel Martins Lana
julho/2007

Sumário

1	Introdução	4
1.1	Modelos de dinâmica populacional.....	5
1.2	Modelos de dispersão da doença.....	6
2	Objetivo.....	8
3	Justificativa	9
4	Metodologia	10
4.1	Materiais	10
4.1.1	Softwares	11
4.1.2	Modelos	11
4.1.3	Dados	12
4.2	Métodos.....	12
4.3	Atribuições de responsabilidades	13
5	Cronograma.....	13
6	Referências Bibliográficas:	14

Resumo

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm sendo utilizados para armazenar, recuperar, visualizar e analisar informações a respeito de fenômenos que ocorrem no espaço geográfico (Câmara *et al.*, 1996, Bogorny *et al.*, 2002, Muller *et al.*, 2002, Câmara *et al.*, 2004, Paula e Deppe, 2005). Na Saúde Pública, SIGs são utilizados principalmente como uma ferramenta para espacialização de dados epidemiológicos (Muller *et al.*, 2002). O uso dessa ferramenta permitiu que os trabalhos fossem realizados em larga escala, para a avaliação da dinâmica de populações e para identificar motivos que justificassem o padrão espacial de uma determinada doença (Carvalho e Santos, 2005). Nosso principal objetivo é analisar de forma integrada submodelos para dengue que englobem tanto variáveis abióticas quanto bióticas e determinar como a adição de complexidade aos modelos existentes afetam o desempenho dos mesmos e do modelo integrado. Assim, este trabalho se propõe a exercitar o ambiente EpiTerra, que é fruto da integração dos *frameworks* TerraME e EpiGrass, para o desenvolvimento de modelos integrados e de larga escala que simulem o comportamento da dengue e a posterior aplicação desse modelo à cidade do Rio de Janeiro, RJ.

1 Introdução

A aplicação de técnicas e métodos computacionais em ciências como a Ecologia, Epidemiologia e Geologia iniciou na metade do século passado. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm sendo utilizados para armazenar, recuperar, visualizar e analisar informações a respeito de fenômenos que ocorrem no espaço geográfico (Câmara *et al.*, 1996, Bogorny *et al.*, 2002, Muller *et al.*, 2002, Câmara *et al.*, 2004, Paula e Deppe, 2005), como por exemplo, mudanças de uso e cobertura do solo (Aguiar *et al.*, 2005) e evolução de epidemias (Cirino e Silva, 2004, Tran e Raffy, 2005). O uso de recursos computacionais para tais estudos permitem que volumes de dados, que não poderiam ser processados pela mente humana, possam ser considerados simultaneamente (Bogorny *et al.*, 2002, Câmara *et al.*, 2004) para a produção de prognósticos a respeito do estado futuro de um determinado fenômeno que se desenvolve no espaço e no tempo.

O uso de SIG para estudos em Saúde Pública até o final da década de 90 era uma prática limitada. Os SIGs eram utilizados simplesmente como uma ferramenta visual quando ocorria algum surto ou outro evento epidêmico (Ximenes *et al.* 1999). A partir de então, pesquisadores aprimoraram o seu uso aplicando e direcionando a sua utilização de acordo com as necessidades dos problemas abordados. Na Saúde Pública, SIGs são utilizados principalmente como uma ferramenta para espacialização de dados epidemiológicos (Muller *et al.*, 2002). Este fato permitiu que os trabalhos fossem realizados em larga escala, para a avaliação da dinâmica de populações e para identificar motivos que justificassem o padrão espacial de uma determinada doença (Carvalho e Santos, 2005). No Brasil, o Projeto GeoSIST do Rio Grande do Sul, se propôs a monitorar a saúde de trabalhadores pela espacialização dos dados a respeito da saúde dos indivíduos sobre os mapas do Estado (Bogorny *et al.*, 2002). Um SIG também foi utilizado na rotina de controle de dengue em Campinas, SP. Os casos de dengue foram mapeados (georreferenciados) e de acordo com os focos da doença, realizou-se o controle químico e mecânico facilitando as ações de controle implantadas na região (Lima *et al.*, 2006). Tran e Raffy (2006) construíram um modelo de difusão de insetos que relata a dinâmica espaço-temporal do vetor e do hospedeiro da dengue, utilizando dados de sensoriamento remoto, possibilitando um bom entendimento do mecanismo de dispersão da doença.

A representação computacional de variáveis espaciais é, atualmente, um problema bem resolvido pelos SIGs. A questão que agora se coloca é como utilizar dados sobre a dinâmica dos fenômenos geográficos, isto é, uma série temporal de dados, para se entender os fatores e leis que governam a dinâmica observada. Ou seja, o atual desafio está no desenvolvimento de modelos dinâmicos que permitam um melhor entendimento sobre o comportamento de fenômenos sob estudo. No caso da Saúde Pública, o desenvolvimento de modelos que simulem a dinâmica de populações e os mecanismos de dispersão de doenças. Uma propagação de doenças de transmissão

vetorial depende da interação ideal entre os vetores infectados e os hospedeiros suscetíveis (Focks *et al.*, 2000, Riley, 2007) e do estabelecimento de uma vizinhança, na qual suas ações são percebidas. Por isso, o movimento do vetor e do hospedeiro estão intimamente associados à duração e área de abrangência de uma epidemia (Riley, 2007). Condições ambientais favoráveis também influenciam a dinâmica de dispersão de doenças, sendo um fator determinante no estabelecimento do vetor (Watts *et al.*, 1987, Smith *et al.*, 2004). A partir de dados sobre o comportamento passado de um fenômeno geográfico, modelos computacionais podem ser utilizados para a elaboração de prognósticos a respeito do seu comportamento. O uso desses modelos na construção de diferentes cenários alternativos e hipotéticos como, por exemplo, a chegada de um indivíduo infectado na rodoviária de uma cidade ou vacinação a priori de toda população de hospedeiros, é uma ferramenta importante no apoio à tomada de decisão dos gestores do sistema público de saúde.

Os problemas de saúde pública no último século diminuíram muito com a evolução da medicina e descoberta de vacinas e fármacos, mas de tempos em tempos assistimos nos jornais que um surto de malária, de dengue ou de febre maculosa ocorreu em alguma localidade. A vacina para algumas doenças como a dengue, ainda não existem, por isso, estratégias de prevenção e combate deveriam ser reforçadas, como acontece em poucos municípios (FUNASA, 2001, Tran e Raffy, 2006). Um remédio próprio também não se encontra, obrigando o enfermo esperar que a doença acabe seu ciclo. Até o início da década de 80, poucos modelos para o estudo da dengue tinham sido elaborados (Dye, 1984). Hoje, trabalhos importantes foram publicados e abordam tanto variáveis bióticas como abióticas. Muitos consideram variáveis como temperatura, umidade, pluviosidade (Watts *et al.*, 1987, Schreiber, 2001, Ferreira & Yang, 2003), como, também, variáveis relacionadas ao vetor e ao hospedeiro (Massad *et al.*, 2002, Smith *et al.*, 2004, Coutinho *et al.*, 2004, Favier *et al.*, 2005). Todas as variáveis citadas são importantes, entretanto, considerar todas essas variáveis em um único modelo implicaria em um significativo aumento de complexidade do modelo sem a garantia de ganho de desempenho. Além de dificultar as análises dos resultados apresentados. O pesquisador se perderia numa infinidade de variáveis e parâmetros (Hestenes, 1987). Portanto, nossa idéia é integrar os principais modelos descritos na literatura e realizar a análise de sensibilidade do modelo integrado para um melhor entendimento da relevância de cada um dos submodelos componentes.

1.1 Modelos de dinâmica populacional

Por meio de um modelo analítico para a dinâmica populacional do *Aedes aegypti* em seus diferentes estágios de vida, no qual não foram consideradas variáveis climáticas, Yang *et al.* (2003) apontaram que a taxa de oviposição e a taxa média de descendentes fêmeas de uma população são fatores determinantes para sua dinâmica. Outro modelo onde foi considerada a dependência

temporal entre os diferentes fatores determinam a dinâmica populacional desse vetor. Ferreira e Yang (2003) modelaram os estágios do ciclo de vida do mosquito influenciados por períodos favoráveis e desfavoráveis, e evidenciaram que a temperatura do ambiente é fator determinante da dinâmica da população do vetor, uma vez que, esta variável climática controla o tempo de desenvolvimento do mosquito. O uso de larvicida e de adulticida levaram a resultados semelhantes para o controle populacional. Entretanto, para um melhor desempenho do controle, a primeira estratégia deve ser utilizada no início do período favorável, quando a temperatura é alta. O controle mecânico foi aquele de melhor desempenho. Fato que ressalta a importância dos programas de conscientização das comunidades para o controle da doença.

1.2 Modelos de dispersão da doença

Depois de estudar a dinâmica populacional do mosquito de forma isolada, Ferreira e Yang (2003) estudaram a dinâmica da transmissão da dengue acoplando um modelo para as interações do vetor com o hospedeiro. Os resultados mostraram que a aplicação dos mecanismos de controle deve ser periódica e em intensidades diferentes para diferentes instantes de tempo. Isso assegurará a eficiência do controle, pois o deslocamento dos picos de infecção gerados pelo controle, a longo prazo, diminui a eficiência do controle se aplicado sempre com o mesmo padrão (os picos de incidência surgem assim que o controle cessa).

Coutinho *et al.* (2004) confeccionaram um modelo dinâmico que verifica o período de “hibernação” do *Ae. aegypti* através da variação sazonal da população de mosquito. Relata que a transmissão de dengue durante o inverno é possível e que sua eficiência é maior na transmissão transovariana, isto é, do ovário da fêmea para o embrião. Também mostra que os picos de população de mosquitos podem ter cem dias de diferença em relação aos de incidência de dengue no sudeste do Brasil. No ano seguinte, os autores modelaram aproximadamente várias condições de contorno e realizaram a análise de sensibilidade do modelo para esses parâmetros. O modelo resultante foi aplicado ao estudo da dengue e apontou que a variação sazonal na densidade de mosquito interfere na intensidade de transmissão (Coutinho *et al.*, 2005).

Cirino e Silva (2004) apresentaram um modelo epidemiológico, baseado em redes de populações não espacialmente explícita, que tinha como objetivo mostrar a progressão de uma epidemia através de uma população hipotética que foi dividida em localidades. Enquanto as populações de diferentes localidades não interagiram entre si, somente o local previamente infectado apresentava foco da doença. Entretanto, ao se estabelecer contato com outras comunidades, a doença começou a se alastrar para essas localidades.

Smith *et al.* (2004) em seu modelo, não espacialmente explícito, avalia o risco de mosquitos infestarem um ambiente heterogêneo, isto é, ambientes onde a distribuição espacial dos fatores

bióticos e abióticos que influenciam no ciclo de vida do mosquito é não-homogênea. Os resultados demonstraram que flutuações na população do vetor ocorrem devido aos fatores ambientais e que isso interfere no risco médio de infecção baseado na taxa de inoculação entomológica (EIR – *Entomologic Inoculation Rate*). Mostrou que EIR é o melhor estimador de risco de infecções de transmissão vetorial. No caso, EIR varia espacialmente, pois o habitat larval e os hospedeiros são distribuídos heterogeneamente no espaço.

Schreiber (2005) propôs um modelo que utilizasse relações estatísticas para explorar variações intra e inter anuais do balanço hídrico climático e da incidência de casos de dengue. Seus resultados mostram que a variação do balanço hídrico e medidas climáticas tradicionais durante um período de oito semanas está relacionado com a ocorrência de surtos de dengue.

Favier *et al.* (2005) em seu artigo relata a importância de se considerar ambientes heterogêneos e diferentes escalas espaciais no estudo da dengue. Seu modelo foi primeiramente aplicado a uma região isolada das demais, uma ilha, e posteriormente comparou os resultados encontrados com dados sobre epidemias urbanas ocorridas no Brasil. Mostrou que a escala de análise, nesse caso, escala local e escala global (mesmo domicílio e domicílio diferente respectivamente), é um fator determinante para a evolução de uma epidemia e que a heterogeneidade espacial do ambiente deve ser considerada mesmo na escala local.

O modelo espacialmente explícito desenvolvido por Tran e Raffy (2005) adota como método um modelo de difusão baseado em dados ambientais heterogêneos derivados de imagens de sensores remotos para simular a dinâmica de doenças de transmissão vetorial. Este modelo foi posteriormente integrado a um SIG. O modelo apresenta um comportamento realístico em um espaço simulado ou real, podendo ser utilizado na determinação de qual área é mais importante na dispersão de uma epidemia. Ainda existe uma limitação nesse método devido ao uso de uma única escala, e a não consideração de parâmetros meteorológicos no estudo.

Por várias vezes houve a erradicação da doença no país através do controle da população do vetor predominante aqui, o *Aedes aegypti*. Anos depois, ressurgia o vetor e com ele, epidemias. O grande problema desse controle está na vizinhança espacial entre localidades, pois muitos países que também tinham e ainda tem incidência de dengue, não realizavam o controle da doença (Ferreira, 2004; Tauil, 2002). Além disso há atualmente o problema da resistência aos inseticidas, muito alta nas populações brasileiras do vetor. O conceito de vizinhança pode variar de acordo com o que se estuda (Carvalho & Santos, 2005). O vizinho é aquele que está ao lado, o mais próximo, mas também podemos considerar aquele que é ligado por uma rede (Aguiar *et al.* 2003, Riley, 2007). A relação de vizinhança deve ser considerada uma vez que o movimento de hospedeiros, mas principalmente de vetores, tem uma forte relação entre a sua dispersão e regiões vizinhas. Cirino & Silva (2004) consideram diferentes relações de vizinhança em seu modelo, no qual vetores

se movimentaram espalhando a doença de acordo com as relações de vizinhança estabelecidas entre diferentes localidades.

Tassinari *et al.* (2004) descreveram a distribuição espacial da leptospirose na cidade do Rio de Janeiro, mostrando que nem sempre regiões mais pobres e inundadas possuem mais casos. No entanto os focos da doença também ocorrem em áreas de excelente qualidade de vida, talvez, resultado da proximidade com áreas pobres. Nesse trabalho o SIG utilizado foi o TerraView.

2 Objetivo

Nosso projeto se insere no contexto do **projeto SAUDAVEL**, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que tem como objetivo “*encontrar as respostas e produzir os instrumentos de Tecnologia de Informação Espacial, métodos, algoritmos e produtos de software, para dotar os sistemas de vigilância epidemiológica, e de controle de endemias, de capacidade de antecipação, a partir da possibilidade de tratar grandes bases de dados espaço-temporais, com dados dos Sistema de Informação em Saúde [...]*” ” (Monteiro, acessado em 12/julho/2007, Carvalho & Santos, 2005)

Nosso principal objetivo é analisar de forma integrada submodelos para dengue que englobem tanto variáveis abióticas quanto bióticas e determinar como a adição de complexidade aos modelos existentes afetam o desempenho dos mesmos e do modelo integrado. Muitos modelos conceituais sobre a dengue foram simplificados por seus autores devido à dificuldade de sua implementação computacional. Desta maneira, questões tecnológicas limitaram o conhecimento científico sobre o comportamento desta doença. O *framework* **TerraME** desenvolvido pela parceria entre o Laboratório para Modelagem e Simulação de Sistemas Terrestres – TerraLAB / DECOM / UFOP e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) fornece uma linguagem de modelagem de alto nível que facilita e torna eficiente a descrição de modelos dinâmicos espacialmente explícitos integrado a um banco de dados geográficos . Várias abstrações como os conceitos de escala, trajetória, autômatos celulares aninhados, matriz de vizinhança generalizadas, agentes e autômatos situados ainda não foram explorados para o estudo da dengue. O sistema EpiGrass, desenvolvido pelo Programa de Computação Científica (PROCC) da Fiocruz fornece estruturas de dados e algoritmos que permitem a eficiente modelagem e simulação de redes de contato entre os indivíduos de uma população. Este fato facilita sobremaneira o estudo de diferentes formas de transmissão da doença, onde diferentes padrões de mobilidade dos indivíduos podem ser considerados.

Assim, este trabalho se propõe a exercitar o ambiente **EpiTerra**, que é fruto da integração do *frameworks* TerraME e EpiGrass, para o desenvolvimento de **modelos integrados e de larga escala que simulem o comportamento da dengue e a posterior aplicação desse modelo à cidade do Rio de**

3 Justificativa

Atualmente, a mídia tem falado muito da mudança climática e seus efeitos no aquecimento da atmosfera, especificamente da troposfera (Mendonça, 2003). O aquecimento global, também interfere no habitat dos animais e seres humanos. Os vetores de doenças como a dengue, a malária, a leishmaniose estão sujeitos a uma mudança em sua ecologia e biologia, o que acarreta maior risco de infecção. Tal mudança varia numa escala inter e intra continental (Githeko *et al.*, 2000), podendo ter um impacto positivo ou negativo, dependendo da região e da espécie de vetor. Os vetores são afetados tanto na fase imatura quanto na fase adulta, podendo diminuir o tempo de maturação, o tempo de digestão do sangue e conseqüentemente aumentar o número de repastos (Rueda *et al.*, 1990 apud Githeko *et al.*, 2000, Gillies, 1953 apud Githeko *et al.*, 2000).

O estabelecimento do mosquito depende de condições ambientais favoráveis. A dengue é uma doença geralmente de regiões de baixas latitudes e altitudes, onde o clima é tropical (FUNASA, 2001, Crovello & Hacker, 1972, Dye, 1984). No entanto, existem relatos de epidemias em condições adversas. No ano de 1988, no Estado de Guerrero, México, houve uma epidemia de dengue. Esse Estado se localiza a 1.700 metros acima do nível do mar, mostrando a capacidade de adaptação a novos ambientes e também o grande potencial de outros locais com a mesma altitude ou mais altos serem invadidos. A altitude deve ser considerada juntamente com fatores climáticos (Herrera-Basto *et al.*, 1992).

O uso de modelos computacionais para avaliação de estratégias de intervenção está em ascensão entre os pesquisadores, uma vez que possibilita a representação da complexidade dos fenômenos em estudo (Tran e Raffy, 2005). Além disso, muitas decisões tomadas em políticas de Saúde Pública exigem representação matemática, porque, em geral, os governantes precisam (ou entendem) de números para avaliar impactos, despesas e enfim, como subsídio para optar ou não por esta ou aquela decisão com argumentos firmes.

O uso de SIGs como ferramenta chave para solucionar esses problemas é de extrema importância, uma vez que representa espacialmente o problema, dimensão esta muitas vezes fundamental no planejamento das ações, fornecendo assim respaldo para o estabelecimento de políticas de planejamento sem abandonar as características do local. Por isso, é interessante que haja incentivo no uso de SIGs principalmente em relação as políticas públicas, assim, otimizando o processo e obtendo melhores resultados, são as políticas saudáveis (Muller *et al.* 2002).

Pouco se conhece sobre o impacto de se considerar diferentes resoluções e extensões espaciais ou temporais em um mesmo modelo, principalmente quando consideradas

simultaneamente e para diferentes processos. Da mesma forma, pouco se sabe sobre os impactos de se utilizar um banco de dados geográfico detalhado para a caracterização do espaço geográfico nos modelos de dengue. O desenvolvimento de modelos baseados em agentes que considerem populações de vetores e hospedeiros, formadas por indivíduos de diferentes perfis (espécies), que agem sobre o espaço de forma diferenciada em cada localização e cada instante de tempo ainda é insipiente e demanda novos estudos.

4 Metodologia

Será utilizada a metodologia de desenvolvimento de modelo em espiral com prototipação de versões a cada ciclo de desenvolvimento. Assim, as etapas de concepção, projeto, implementação, teste e documentação serão executadas de forma cíclica, e a cada ciclo uma nova versão documentada do modelo será obtida. A figura 1 ilustra essa metodologia.

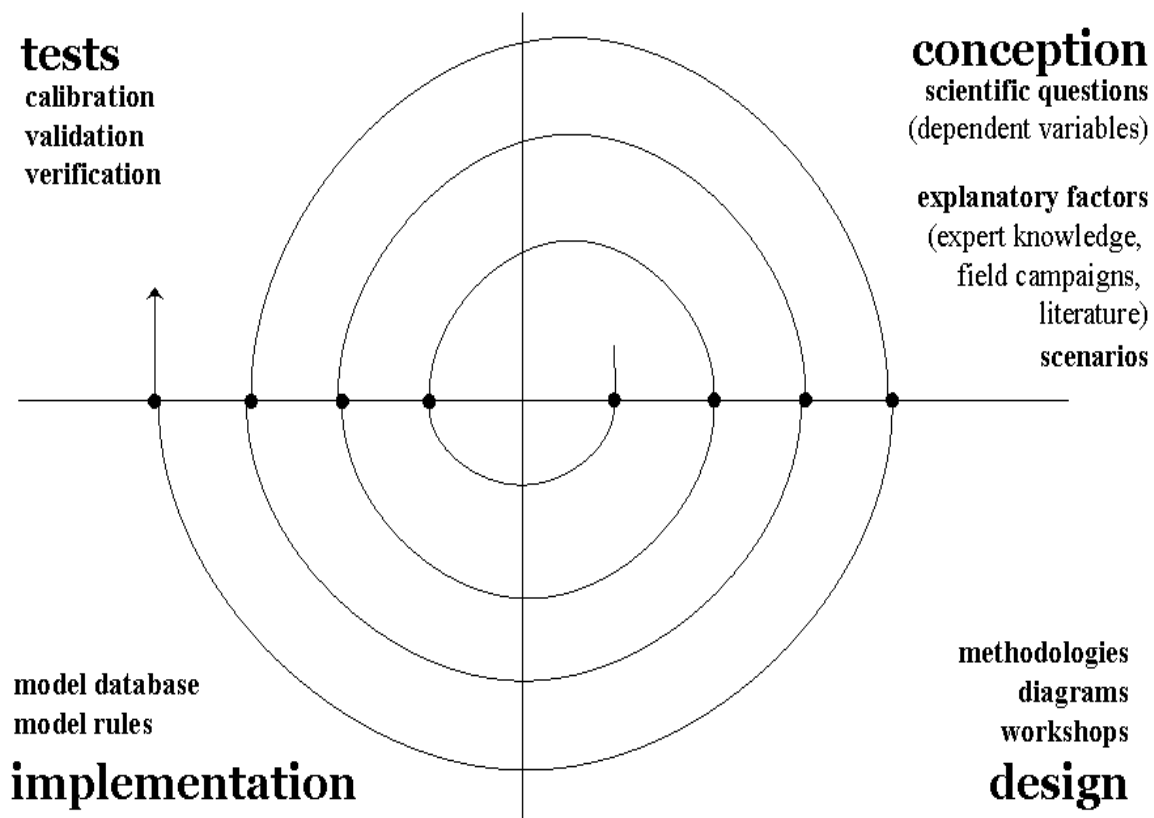


Figura 1: Processo cíclico de desenvolvimento de modelos

4.1 Materiais

Será necessária a utilização de diferentes plataforma de *software* para a execução deste trabalho, entre elas SIGs e ambientes de modelagem. Além disso, diferentes fontes de dados serão utilizadas para a aquisição de dados ambientais sobre o município do Rio de Janeiro, RJ, e dados estatísticos sobre epidemias anteriores ocorridas nesta localidade. Vários modelos dinâmicos para o estudo da dengue serão avaliados e entre eles alguns serão selecionados e posteriormente integrados

no modelo que este trabalho pretende desenvolver.

4.1.1 Softwares

Entre os softwares que serão utilizados para o desenvolvimento deste trabalho destacam-se:

- O SIG Spring: é um SIG de domínio público, desenvolvido pelo INPE, que será utilizado para a implementação do banco de dados geográfico contendo as variáveis ambientais para o município do Rio de Janeiro, RJ. Este SIG fornece funcionalidades para aquisição de mapas digitais em diversos formatos e de imagens geradas por sensores remotos.
- O SIG TerraView: é um SIG de domínio público, também desenvolvido pelo INPE, que fornece funcionalidades para os tratamentos de séries temporais de dados geográficos. Será utilizado para importar o banco de dados construído pelo uso do SIG Spring e a posterior conversão dos dados para o formato “espaço celular” utilizado pela plataforma de modelagem TerraME.
- O *framework* EpiGrass: a Fundação Oswaldo Cruz tem feito um esforço no sentido de modelar a distribuição de doenças através de redes complexas. Desenvolveu um software livre chamado EpiGrass que foi utilizado para construir, simular e analisar essas redes de contatos entre indivíduos de uma população (Coelho *et al.*, 2007). Este sistema será integrado ao ambiente de modelagem TerraME, no escopo de outro projeto já em desenvolvimento no TerraLAB. Desta maneira, suas estruturas de dados e algoritmos poderão ser utilizados para simular a transmissão da doença segundo o padrão de mobilidade da população do município do Rio de Janeiro, RJ.
- O *framework* TerraME: é uma plataforma de domínio público para o desenvolvimento de modelos ambientais espacialmente explícito integrados a um SIG, desenvolvido pela parceria TerraLAB/INPE. Esta plataforma fornece uma linguagem de modelagem de alto nível que será utilizada para a descrição dos modelos e sua posterior integração. O TerraME também dispõe de algoritmos para calibração e validação de modelos espacialmente explícitos que serão utilizados para avaliar o desempenho do modelo desenvolvido neste projeto quando aplicado ao município do Rio de Janeiro, RJ.

4.1.2 Modelos

Vários modelos encontrados na literatura tanto para a simulação da dinâmica populacional dos hospedeiros e dos vetores da dengue quando modelos para a simulação da dispersão da doença serão avaliados. Serão privilegiados modelos que considerem tanto variáveis bióticas quanto abióticas. Após revisão bibliográfica realizada, os seguintes modelos merecem destaque:

- Modelos que considerem ambientes heterogêneos (Smith *et al.*, 2004, Favier *et al.*, 2005)

- Modelo de balanço hídrico (*water budget*): relação de disponibilidade de água (criadouro) com o aumento da incidência de casos de dengue. Avaliar outras variáveis climáticas, uma vez que o estabelecimento do mosquito depende muito da temperatura e da umidade relativa (ref). Entretanto, existe na literatura casos relatados de epidemias de dengue em épocas de seca, como no Japão (Donalísio & Glasser, 2002 *apud* Mogi *et al.*, 1988) .
- Modelos que considerem altitude: diretamente relacionada com as variáveis climáticas. Testar qual variável climática potencializa sua influência (Herrera-Basto, 1992).

Nesta etapa serão identificadas as variáveis utilizadas pelos modelos selecionados na literatura para avaliar a viabilidade de se adquirir tais dados para o município do Rio de Janeiro.

4.1.3 Dados

Será necessária a aquisição de dados ambientais sobre a cidade do Rio de Janeiro, como por exemplo, modelo digital de elevação (relevo), mapas de cobertura e uso do solo, mapa de segregação social, arruamento, mapas de domicílios. Além disso serão necessários dados que descrevam estatisticamente a população de hospedeiro da cidade do Rio de Janeiro, RJ e seu padrão de mobilidade. Também serão necessários dados estatísticos sobre epidemias de dengue ocorridas nessa cidade. Entre as principais fontes de dados podemos citar:

- Fiocruz: no esforço de modelar epidemias de dengue na cidade do Rio de Janeiro, RJ, o PROCC da Fiocruz avaliou pesquisas de campo que permitiram estabelecer estatisticamente o perfil da população dessa cidade assim como seu padrão de mobilidade. Este dados já estão disponíveis para a equipe executora deste trabalho. Os mapas de arruamento, domicílios, de segregação social e cobertura do solo também serão fornecidos pela equipe do PROCC. A equipe da Fiocruz também disponibilizará dados estatísticos sobre epidemias passadas de dengue na cidade do Rio de Janeiro, RJ(disponíveis também no endereço <http://www.saude.rio.rj.gov.br/>)..
- SRTM: o modelo digital de elevação para a cidade do Rio de Janeiro será obtida na resolução de 90x90 metros por meio do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* da NASA. Tais dados são disponibilizados gratuitamente na Internet no endereço <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- Imagens de sensores remotos: imagens dos satélites CBERS-II e LandSat TM para a cidade do Rio de Janeiro, RJ, foram disponibilizadas gratuitamente pelo INPE.

4.2 Métodos

A seguintes passos serão utilizados para a realização deste trabalho:

- Passo 1: Revisão bibliográfica sobre modelo dinâmicos aplicados ao estudo da dengue e sobre modelagem espacial dinâmica.
- Passo 2: Aquisição de dados geográficos sobre a cidade do Rio de Janeiro, RJ.
- Passo 3: Aquisição de dados estatísticos sobre ocorrências passadas de epidemias de dengue.
- Passo 4: Integração dos dados geográficos com os dados estatísticos sobre epidemias passadas.
- Passo 5: Seleção de modelos candidatos à implementação e integração.
- Passo 6: Implementação dos modelos selecionados na plataforma TerraME integrada ao sistema EpiGrass.
- Passo 7: Integração dos modelos implementados.
- Passo 8: Determinação das diferentes condições de contorno que serão utilizadas nas análises de sensibilidade do modelo integrado.
- Passo 9: Análise de sensibilidade do modelo integrado às diferentes condições de contorno de seus modelos componentes.
- Passo 10: Aplicação do modelo integrado para estudo de epidemias de dengue e seu controle para a cidade do Rio de Janeiro, RJ.
- Passo 11: Documentação dos resultados obtidos. Este passo inclui a produção de artigos, relatórios técnicos e da dissertação de mestrado.

4.3 Atribuições de responsabilidades

- Bolsista
Caberá ao bolsista a realização de todos os passos enumerado na seção 4.2.
- Orientador
Caberá ao orientador o treinamento do bolsista no uso das plataformas de *software* necessárias à execução deste trabalho e guiar o bolsista na realização de suas atribuições
- Colaboradores
Fornecer dados necessários à realização deste trabalho e orientar o bolsistas em questões relativas ao estudo da dengue.

5 Cronograma

As tabelas abaixo apresentam o cronograma do trabalho para o período de 24 meses. No primeiro ano, serão realizados três ciclos completos de desenvolvimento, o primeiro durará seis meses, os próximos três meses cada. No segundo ano, serão realizados dois ciclos de desenvolvimento, com duração de seis meses cada.

● **Primeiro ano:**

Atividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Passo 1	■	■					■			■		
Passo 2			■									
Passo 3		■	■				■			■		
Passo 4												
Passo 5	■	■	■	■								
Passo 6			■	■	■		■	■		■	■	
Passo 7							■			■		
Passo 8				■	■						■	
Passo 9					■	■		■	■		■	■
Passo 10						■						■
Passo 11	■	■				■			■			■

● **Segundo ano:**

Atividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Passo 1	■						■					
Passo 2		■										
Passo 3			■									
Passo 4												
Passo 5	■	■						■				
Passo 6	■	■	■	■			■	■	■			
Passo 7				■								
Passo 8			■						■			
Passo 9			■	■	■				■	■		
Passo 10				■	■	■				■	■	
Passo 11	■	■				■	■			■		■

6 Referências Bibliográficas:

1-Aguiar, A.P.D., Câmara, G. and Souza, R. C. M. **Modeling Spatial Relations by Generalized Proximity Matrices.** V Brazilian Symposium on GeoInformatics, GeoInfo2003. Campos do Jordão, SP, Brazil, 2003.

2-Aguiar, A.P.D., Kok, K., Escada, M.I.S., Câmara, G, **Exploration of patterns of land-use change in the Brazilian Amazon using the CLUE framework.** The 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community. 9-13 October 2005,

University of Bonn, Germany.

3-Bogorny, V, Nievinski, F, Bigolin, N, Kalil, F, Corrêa, M J, **Desenvolvimento de um SIG para Saúde Pública usando software livre**, <http://www.inf.ufrgs.br/~vbogorny/WSL2002.pdf>, 2002.

4-Câmara, G., Casanova, M A, Hemerly, A S, Magalhães, G C e Medeiros, C M B, **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**, Rio de Janeiro, abril de 1996

5-Câmara, G. , Davis, C. e Monteiro, A ., M. , V. , **Introdução à Ciência da Geoinformação**, ed. Pelos autores, São José dos Campos, INPE, 2004

6-Carvalho, M S, Santos, R S, **Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas**, Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 21(2):361-378, mar-abr, 2005 (Saudável 2)

7-Cirino, S., Silva, J.A.L., **Modelo Epidemiológico SEIR de Transmissão da Dengue em Redes de Populações Acopladas**, Programa de Pós Graduação em Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 5, no1, pág 55-64, 2004.

8-Coelho, F C, Cruz, O G e Codeço C D, **Epigrass: a tool to study disease spread in complex net-works**, <http://precedings.nature.com/documents/378/version/1/files/npre2007378-1.pdf>, 2007.

9-Coutinho, F.A.B., Burattini, M.N., Lopez, L.F. e Massad, E., **Threshold conditions for non-autonomous epidemic systems: Application to modelling Dengue overwintering**, Escola de Medicina da Universidade de São Paulo, 23 de novembro de 2004.

10-Crovello, T. J. e Hacker, C. S. , **Evolutionary Strategies in Life Table Characteristics Among Feral and Urban Strains of Aedes aegypti (L.)**, Evolution, vol. 26, n° 2, pág 185-196, junho de 1972.

11-**Dengue instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas** – 3ª ed. – Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2001.

12-Donalísio, M.R. e Glasser, C.M., **Vigilância Entomológica e Controle de Vetores do Dengue**, Rev. Bras. Epidemiol., vol. 5, n° 3, 2002.

13-Dye, C., **Models for the Population Dynamic of the Yellow Fever Mosquito, *Aedes aegypti***, The Journal of Animal Ecology, vol 53, n° 1, pág 247-268, fevereiro de 1984.

14-Favier, C. , Schimt, D. , Muller-Graf, C. D. M., Caselles, B. , Degallier, N. , Mondet, B. E Dubois, M. A , **Influence of spatial heterogeneity on an emerging infectious disease: the case of dengue epidemics**, Proc. R. Soc. B (2005)

15-Ferreira, C.P., Yang, H.M., **Estudo Dinâmico da População de Mosquito *Aedes aegypti***, TEMA Tend. Mat. Apl. Comput.vol. 4, n° 2, pág.187-196, 2003.

16-Ferreira, C.P., Yang, H.M, **Estudo da Transmissão da Dengue entre os Indivíduos em Interação com a População de Mosquitos *Aedes aegypti***, TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 4, No. 3 (2003), 323-332.

17-Focks, D A, Brenner, R J, Hayes, J e Daniels, E, **Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts**, Am. J. Trop. Med. Hyg. 62(1). 2000, pp. 11-18.

18-Gillman, M e Hails, R., **An Introduction to Ecological Modelling**, Blackwell Science, Oxford, Blackwell Science, 1997

19-Githeko, A K., Lindsay, S W., Confalonieri, U E. e Patz, J. A, **Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis**, Bulletin of the World Health Organization, 2000, 78 (9)

20-Herrera-Basto, E, Prevots, D R, Zarate, M L, Silva, J L e Sepulveda-Amor, J, **First reported outbreak of classical dengue fever at 1.700 meters above sea level in Guerrero State, México, June 1988**, Am. J. Trop. Med. Hyg., 46(6), 1992, pp. 649-653.

21-Hestenes, D. , **Toward a modeling theory of physics instruction**, Department of Physics, Arizona State University, Tempe, Arizona 85287, Am. J. Phys. **55** (5), May 1987, pp 440-454.

22-Lima, V L C, Carmo, R L, Andrade, V R, Restitutti, M C, Silveira, N Y J, **Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Rotina de Controle da Dengue**, Ano 3, Número 29, Maio de 2006

23-Mendonça, F., **Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias**, Terra Livre, São Paulo, Ano 19 - vol. I - n. 20 p.205-221 jan/jul. 2003

24-Monteiro, A M V., **Projeto SAUDAVEL – Sistema de Apoio Unificado para Detecção e Acompanhamento em Vigilância Epidemiológica**, <http://saudavel.dpi.inpe.br/> (acessado em 12/julho/2007).

25-Muller, E P L, Carvalho, M L, Moysés, S J, **Sistemas de Informação Geográfica em Políticas Públicas**, PUCPR, 2002.

26-Paula, E V, Deppe, F, **SIG-Dengue: Sistema de Informações Geográficas para o monitoramento e controle da dengue no estado do Paraná**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2309-2311.

27-PROOC- Fiocruz: <http://www.procc.fiocruz.br:8080/procc/Members/codeco/epigrass>

28-Riley, S, **Large-Scale Spatial-Transmission Models of Infectious Disease**, Science, 1 june 2007, vol 316, www.sciencemag.org.

29-Schreiber, K. V. , **An investigation of relationships between climate and dengue using a water budgeting technique**, Department of Geography P.O. Box 1002, change on dengue (e.g. Focks et al. 1995; Jetten and Millersville University of Pennsylvania, Millersville, Pennsylvania 17551-0302, USA, Int J Biometeorol (2001) 45:81–89

30-Sharov, A., **Quantitative Population Ecology**, 09 de setembro de 1996,

31-Smith, D. L. , Dushoff, J. , McKenzie, F. E. , **The Risk of a Mosquito-Borne Infection in a Heterogeneous Environment**, PLoS Biol 2(11), e368, 2004.

32-Tauil, P.L., **Aspectos críticos do controle do dengue no Brasil**, Caderno de Saúde

Pública, Rio de Janeiro, pág 867-871, maio-junho de 2002.

33-Tran, A ., Raffy, M., **On the dynamics of dengue epidemics from large-scale information**, Theoretical Population Biology 69 (2006) 3–12

34-Ximenes, RA A, Martelli, C M T, Souza, W V, Lapa, T M, Albuquerque, M F M, Andrade, A L S S, Neto, O L M, Lima, M L C, Portugal, J L, **Vigilância de doenças em áreas urbanas: a interface entre mapas de setores censitários e indicadores de morbidade**, Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 15(1):53-61, jan-mar, 1999

35-Watts, D. M., Burke, D. S., Harrison, B. , Whitmire, R. E. e Nisalak, A ., **Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus**, Am. J. Trop. Med. Hyg., 36(1), 1987, pp. 143-152

36-Yang, H.M., Ferreira , C.P. e Ternes, S. **Dinâmica Populacional do Vetor Transmissor da Dengue**, TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 4, n° 2, pág 287-296, 2003.