

Risco Potencial Local de Malária e sua Distribuição Espacial em Lábrea, Amazonas

Mariane Carvalho de Assis¹
André Augusto Gavlak¹
Antonio Miguel Vieira Monteiro¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mariane, gavlak, miguel}@dpi.inpe.br

Abstract. In spite of the efforts to eradicate malaria, the Amazônia is still considered a highly endemic region. The municipality of Lábrea, Amazonas state, holds very high malaria incidence rates. The Annual Parasitic Index (IPA), given by the number of positive cases divided by the population of a defined area, is used for monitoring and control purposes as a proxy for the malaria risk in Brazil. The IPA index, to be effective in the context of the Amazônia region as a malaria risk marker needs to have knowledge of the population counting at an intra-urban scale. In this paper, we present a methodology based on spatial analysis methods and remote sensing data integrated in a GIS environment for generating a locally adjusted malaria incidence rate, that we call Local Adapted-IPA. To build this locally adjusted index first, a potential population surface model, based on [2x2]km cells, has been developed. Second, a surface model for the spatial distribution of malaria occurrence based on the same cellular space was created making use of the georeferenced (by localities) malaria positive events. The Local Adapted-IPA is then entirely determined at each one of the [2x2]km cells covering the total Labrea's area. Preliminary analysis using the new index showed high potential risk for malaria in the northeast of Labrea and at the Ituxi and Passeá rivers borders. Our local scale approach allows an intra-urban analysis that can help to identify focal potential areas for malaria monitoring and early control actions.

Palavras-chave: Annual Parasitic Index, Cell Space, Fuzzy Logic, Geographic Information System, Incidência Parasitária Anual, Espaço Celular, Lógica *Fuzzy*, Sistema de Informações Geográficas.

1. Introdução

A malária é uma das doenças tropicais mais incidentes no mundo. Cerca de 40% da população mundial vive em áreas com risco de transmissão de malária, resultando em cerca de 300 milhões de pessoas infectadas no mundo a cada ano (WHO/OMS, 2009). Destaca-se entre as três grandes epidemias do século 21 juntamente com a AIDS e a tuberculose.

A malária caracteriza-se por desencadear acessos periódicos de febres intensas que debilitam profundamente o doente. O ciclo de transmissão é composto pelo protozoário parasita do gênero *Plasmodium*, mosquito vetor e o homem hospedeiro. O *Plasmodium* é transmitido ao homem pela picada da fêmea do mosquito do gênero *Anopheles*. O principal vetor da malária no Brasil é o *An. darlingi*, altamente susceptível aos plasmódios humanos e capaz de transmitir a doença dentro e fora das moradias, mesmo quando sua densidade é baixa. Na Amazônia esse vetor anofelino é o que melhor e mais rapidamente se beneficia das alterações que o homem produz no ambiente silvestre (Consoli e Lourenço, 1994).

Os fatores socioambientais estão presentes e exercem forte influência na relação entre o vetor e o homem, principalmente por propiciar um ambiente favorável ao *An. darlingi* ocasionando aumento na sua densidade, e se os demais elementos do ciclo da doença estiverem presentes, subsequente incidência do paludismo (Consoli e Lourenço, 1994).

Atualmente no Brasil o risco de transmissão da malária não é uniforme, a área endêmica é a Amazônia Legal, composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão. Aproximadamente 99,8% dos casos de

malária de todo o país são registrados na região, com média de 500.000 casos anuais (SVS/MS, 2008).

Para a determinação de áreas de risco de transmissão da malária no Brasil utiliza-se a Incidência Parasitária Anual (IPA). Os graus de risco são classificados em alto risco ($IPA \geq 50/1.000$ hab.), médio risco (IPA entre 10-49/1.000 hab.) e baixo risco ($IPA < 10/1.000$ hab.). O IPA é um índice de positividade de malária que expressa o número de exames positivos por mil habitantes em determinado local e período.

Esse coeficiente de incidência é calculado e fornecido para os agentes, gestores e pesquisadores em saúde pública na escala estadual, municipal e local. Para a incidência local uma das dificuldades encontradas pelos responsáveis em gerar o IPA é a determinação da população da área, a qual não reflete a realidade do número de habitantes das localidades e ao ser relacionado com o número de casos positivos gera um falso coeficiente de incidência.

Partindo dessa premissa, esse trabalho tem como objetivo propor um modelo de distribuição espacial potencial da população, ou seja, uma estimativa de população exposta e a partir desse modelo gerar a incidência parasitária anual adaptada para as localidades do município de Lábrea, estado do Amazonas, através de técnicas de Geoprocessamento.

Propõe-se a aplicação do método multivariado desenvolvido por Amaral (2003), que utiliza dados auxiliares para a criação de um modelo de redistribuição da população. Para tal é necessário definir um modelo conceitual formal que descreva os fatores condicionantes da presença da população na região. As variáveis devem ser selecionadas baseando-se na importância dos fatores para a atração e fixação de pessoas na região, como mapas de cobertura/uso do solo, distâncias a estradas e rios e qualquer outra informação que serve como fator de ponderação para localizar a população. A contagem da população total, contabilizada por setor censitário é redistribuída em células, considerando-se as possibilidades de ocorrência de população sugeridas pelas variáveis indicadoras de presença de população.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

No estado do Amazonas, principalmente na região fronteira com Rondônia e Acre, o município de Lábrea (Figura 1) vem sofrendo forte pressão da fronteira agrícola e conseqüente alteração da cobertura vegetal original e entrada de inúmeros indivíduos susceptíveis, sem contato prévio com a doença (Meira *et al.*, 1980; Tadei *et al.*, 1988). A dinâmica de alteração da cobertura vegetal é contínua até os dias de hoje, a taxa de desmatamento no município é a maior do estado do Amazonas, em torno de 3044.3 km² de área desmatada até o ano de 2008 (PRODES/INPE). Vem configurando um dos quadros mais preocupantes da doença no estado. Entre os anos de 2003 a 2006 a Incidência Parasitária Anual no município apresentava-se em torno 105 a 185 pessoas infectadas a cada 1000 habitantes (Assis *et al.*, 2008). Diante dessa diversidade do quadro epidemiológico associado à intensidade e da extensão que a malária pode assumir e, da dificuldade dos programas de controle da doença na região amazônica coloca-se a preocupação com a incidência da malária no município de Lábrea. Nesse sentido, esse trabalho pode auxiliar os programas de controle da doença, apontando a partir do IPA adaptado local regiões do município prioritárias para as ações de controle e prevenção.

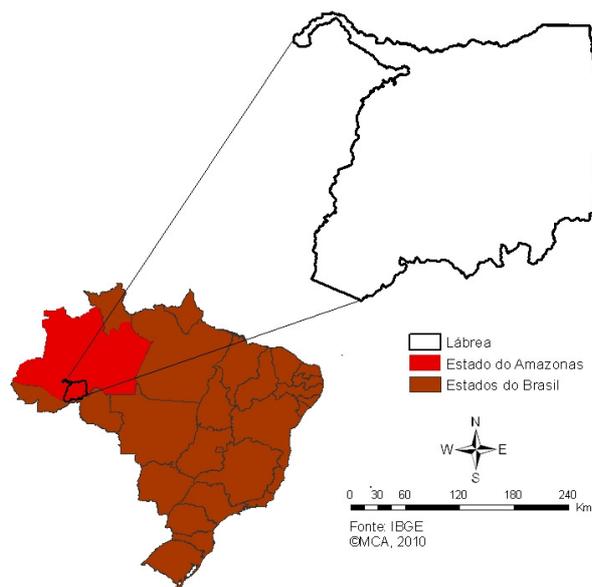


Figura 1: Localização da área de estudo.

2.2 Fontes dos dados

Para o modelo de distribuição espacial da população é necessário definir variáveis indicadoras condicionantes de presença de população. Na região amazônica a presença de estradas, rios, condições do terreno, núcleos urbanos e atividades de desmatamento são fatores que indicam a presença humana (Amaral, 2003). Utilizaram-se os dados de estradas fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a malha hídrica pela Agência Nacional de Águas (ANA), núcleos urbanos pelo Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Notificação de Casos de Malária do Ministério da Saúde (SIVEP-Malária/MS), a cobertura florestal pelo Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dados de vertente processados a partir da aplicação do algoritmo de compartimentação do terreno em ambientes: *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) baseado nos dados da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) (Rennó *et al.*, 2008). Por fim os dados de habitantes foram obtidos a partir da Contagem Populacional de 2007 realizada pelo IBGE.

O registro de casos de malária de 2008 foi obtido da base de dados informatizada do SIVEP-Malária. O dado utilizado foi o resumo epidemiológico por local provável de infecção, contendo o número de casos positivos de malária.

2.3 Processamentos dos dados

A primeira decisão é trabalhar todas as variáveis em um espaço celular. A vantagem de sua utilização é que a um mesmo plano celular podem estar associadas diversas informações onde todas as variáveis de entrada são integradas, apesar de serem provenientes de diferentes fontes, em formatos distintos (dados vetoriais, matriciais), e diferentes resoluções espaciais, agregando-os em uma mesma unidade espacial para a análise (Aguiar *et al.*, 2008). Um espaço celular é composto por um conjunto de células com resolução definida de acordo com as características do fenômeno e com a área de estudo. Nesse caso, utilizou-se uma resolução de [2x2]km, a qual está relacionada à média do alcance do voo do mosquito da espécie *Anopheles darlingi* (Deane *et al.*, 1948). Após a criação do espaço celular é necessário preencher cada célula com as variáveis de interesse da base de dados, através de operadores

de síntese. Para as variáveis estradas, rios, núcleos urbanos e vertente o operador utilizado foi distância mínima. Para cobertura florestal utilizou-se o operador porcentagem da classe. Passou a ter um espaço celular da área de estudo com uma tabela associada com diversos atributos para cada célula. A partir desses atributos é possível obter a contribuição relativa das variáveis preditoras e a relação entre elas com uso de inferência *Fuzzy* (Meirelles, 1997) e, após a aplicação de um método de interpolação multivariado para redistribuição dos habitantes do setor censitário, cada célula terá proporcionalmente um potencial de ocorrência de população definido pelas variáveis indicadoras (Figura 2) (Gavlak, 2010).

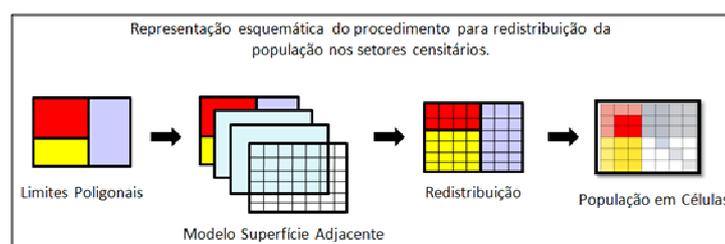


Figura 2: Representação esquemática do procedimento para redistribuição da população dos setores censitários. Fonte: Gavlak, 2010.

Desta forma, a densidade de população inicialmente representada nos limites dos setores censitários (poligonais), foi redistribuída em células de acordo com as relações definidas entre as variáveis indicadoras da presença da população, definindo o modelo de distribuição espacial potencial da população, uma estimativa de população exposta ao risco de malária no município de Lábrea numa escala intraurbana.

A partir dessa estimativa de população exposta foi possível gerar o IPA adaptado local para a área de estudo. O método utilizado foi o mesmo do modelo de população, porém o dado original de ocorrência de casos derivado do SIVEP-Malária estava na representação espacial como pontos, caracterizado por localidades do município. Segundo entrevista em campo, esse dado de localidade é georreferenciado aleatoriamente na localidade pelos guardas de saúde do município e não se tem o limite. As localidades são caracteristicamente grandes e as casas encontram-se muito dispersas uma das outras, devido a isso e a outros fatores, como a disponibilidade de equipamentos e equipe técnica, há uma grande dificuldade em definir os limites e torná-los manipuláveis em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para tentar sanar esse problema, optou-se por agregar os pontos nos setores censitários e posteriormente redistribuir os casos positivos de malária de 2008 de acordo com as variáveis preditoras de possibilidade de ocorrência da doença. As variáveis utilizadas foram distância a estradas, rios e núcleos urbanos, indicando que quanto mais próximo a essas variáveis maior a possibilidade de ocorrência de malária. Essas variáveis foram selecionadas por estarem relacionadas com a dinâmica da doença na região amazônica, pois se sabe que a presença de estradas implica em importantes alterações na cobertura vegetal para abertura das mesmas e exercem forte atrativo populacional nas suas margens, o que pode facilitar a transmissão da doença. Os rios são utilizados pela espécie *An. darlingi* para procriação, cerca de $\frac{3}{4}$ do ciclo de vida do mosquito é no ambiente aquático expondo a população que está fixada em suas margens ao vetor. Os núcleos urbanos é a localização real das localidades coletadas pelos guardas durante visita em campo, onde é observada maior aglomeração de pessoas.

Desta forma, a densidade de número de casos de malária agora representada nos limites dos setores censitários (poligonais), foi redistribuída em células de acordo com as relações definidas entre as variáveis indicadoras. A partir disso foi possível empregar a fórmula do coeficiente de incidência para gerar o modelo de distribuição espacial da incidência de malária - IPA adaptado local. O processamento dos dados foi feito no programa TerraView 3.5 disponibilizado pelo INPE.

3. Resultados e Discussão

A contribuição relativa entre as variáveis indicadoras para determinar as funções de pertinência *Fuzzy* para redistribuição da população e da ocorrência de malária em cada célula foi definida através de avaliação empírica. O resultado dos valores selecionados está exposto na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na definição das funções de pertinência *Fuzzy*.

Variável		f(z)	Distribuição da População	Distribuição de Ocorrência
			Valor	Valor
Distância a vias	≤	1	5.000	1.200
	=	0.5	10.000	10.000
	>	0	30.000	30.000
Distância a localidades	≤	1	500	250
	=	0.5	6.000	2.000
	>	0	39.000	6.000
Distância a rios	≤	1	1.000	500
	=	0.5	7.000	2.500
	>	0	15.000	15.000
Porcentagem de Floresta	≤	1	0.1	0.1
	=	0.5	0.3	0.3
	>	0	0.99	0.99
Distância a declividade média a vertente	≤	1	4.00	
	=	0.5	1.000	
	>	0	1.400	

3.1 Modelo de distribuição espacial potencial da população: estimativa de população exposta

O relacionamento entre as variáveis para gerar o modelo de distribuição espacial da população foi obtido através do operador Média Simples das variáveis. Os valores foram computados para todas as células com porcentagem de cobertura florestal menor que 99% e que não possuíam localidades. Desta forma, para cada célula da área de estudo há um valor de população, com base nas variáveis indicadoras de presença de população e nas relações entre elas (Figura 3).

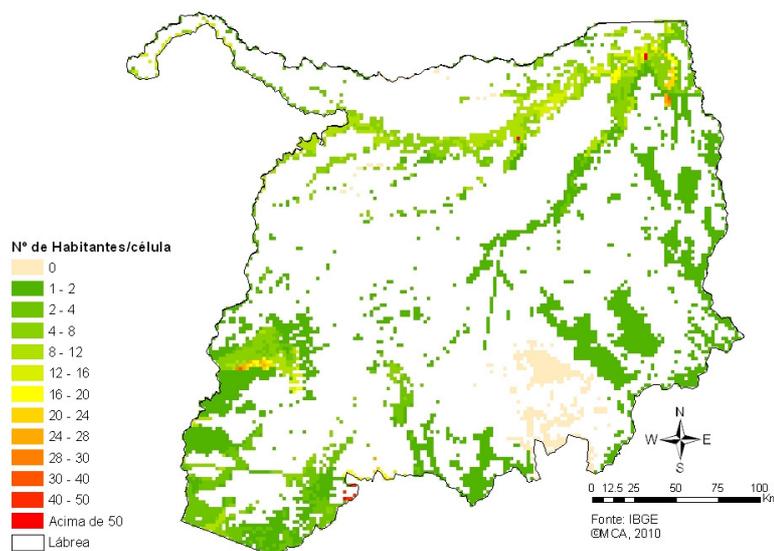


Figura 3: Resultado da distribuição espacial da população.

A superfície de população gerada apresenta valores de 0 a mais de 50 habitantes em cada célula. No extremo norte do município, onde observa-se um pequeno aglomerado de células indicando acima de 50 habitantes é o setor urbano localizado na sede do município, no qual há maior concentração de pessoas.

Ao comparar o dado original por setor censitário com a população por células, observou-se que a soma dos valores em cada célula respeitando o limite dos diferentes setores totalizam a população original. Ou seja, toda a população foi redistribuída nas células, não houve omissão ou superestimação dos valores. O que pode indicar um eficiente método para redistribuição da população e uma forma de validar os dados, dada a dificuldade em conseguir dados oficiais da região com contagem da população para uma escala mais refinada.

3.2 Modelo de distribuição espacial do Risco Potencial Local – IPA Adaptado Local

Para obter o IPA adaptado local é necessário primeiramente redistribuir os casos de malária nas células e feito isso aplicar a fórmula do coeficiente de incidência adaptado local (Equação 1).

$$\text{IPA adaptado local} = \frac{\text{Distribuição espacial da ocorrência de malária}}{\text{Distribuição espacial da população (estimativa de população exposta)}} \times 1000 \quad (1)$$

O resultado do modelo de distribuição espacial potencial da incidência de malária pode ser observado na figura 4.

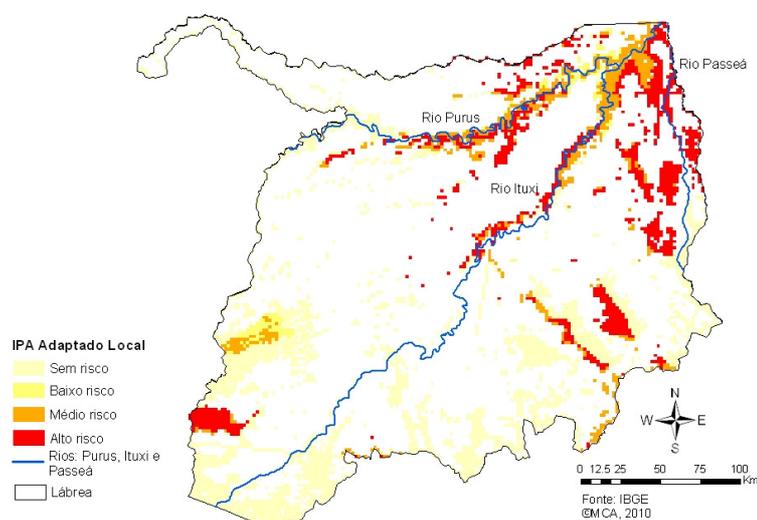


Figura 4: Resultado da distribuição espacial do risco potencial local de malária.

Das células válidas da área de estudo, ou seja, aquelas que apresentaram população exposta, a Incidência Parasitária Anual (IPA) Adaptada Local pode ser descrita em diferentes graus de risco, são eles: sem risco, baixo, médio e alto risco. Cerca de 62% do espaço celular é composto por regiões sem risco a malária, 3% baixo risco, 12% médio risco e 21% com alto risco a incidência da doença. A partir do dado original é possível observar uma boa caracterização do risco a malária na área de estudo, com a vantagem de tê-lo espacialmente distribuído em uma escala intraurbana, o que permite observar a heterogeneidade espacial da distribuição do risco.

As áreas de alto risco estão localizadas no nordeste do município. A maior incidência é observada em comunidades rurais as margens dos rios Ituxi e Passeá. Esses rios são conhecidos na região por suas águas limpas e formações sazonais de lagos na várzea, facilitando a procriação do vetor da malária. O que pode propiciar a maior incidência da doença nessas regiões. Dada a proximidade das comunidades aos rios, que dependem do mesmo para sobreviver e se locomover, propiciando o contato entre o mosquito transmissor da doença e o homem. Além disso, são regiões atrativas para o lazer da população, que se reúnem nos finais de semana em suas margens para banho e pescaria. Outro fator relevante é considerar que são rios extensos e os guardas de saúde encontram muita dificuldade para realizar as atividades de controle e prevenção da malária, principalmente na época da seca.

O médio risco a incidência da malária está localizado prioritariamente nas aldeias indígenas as margens do principal rio da região, o Purus. Esse rio é um dos maiores tributários do rio Amazonas, o qual liga os demais municípios amazonenses com a sede municipal de Lábrea, é responsável pelo transporte de pessoas e de cargas em barcos de grande calado assim como embarcações menores dos ribeirinhos. O que facilita o acesso da população indígena aos serviços de saúde. Ainda, em Lábrea há um escritório regional da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) representado pelo Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) do médio Purus, onde uma das prioridades apontada pelos responsáveis é o controle da malária. Segundo relatos a implantação desse distrito é considerada essencial para explicar a diminuição do risco à incidência da malária nas aldeias indígenas, ainda que os fatores ambientais e sociais condicionantes a doença permaneçam presentes.

4. Conclusões

Este trabalho propôs a aplicação de um método multivariado a partir de dados auxiliares para a criação de dois modelos de redistribuição: população e ocorrência de malária, a partir deles gerar um coeficiente de incidência adaptado local, atuando como uma medida de risco a malária. Uma das importantes contribuições deste trabalho é a espacialização do risco a malária numa escala intraurbana. Nesse sentido, os gestores e agentes de saúde podem reunir esforços para regiões críticas, definindo ações de controle específicas, identificadas aqui como áreas equivalentes a alta incidência de malária, principalmente na borda de alguns rios principais. Indicando que não é possível realizar um mesmo tipo de planejamento de controle para todas as áreas do município dada a heterogeneidade na distribuição espacial do risco e os fatores condicionantes socioambientais para que ele ocorra.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

AMARAL, S. A. Geoinformação para estudos demográficos: Representação Espacial de Dados de População na Amazônia Brasileira. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

ASSIS, M.C.; GURGEL, H.C.; ANGELIS, C.F. A relação entre a dinâmica da malária e problemas socioambientais na bacia do rio Purus. In: III Simpósio Nacional de Geografia da Saúde - I Fórum Internacional de Geografia da Saúde. **Anais...** CDROM, Curitiba, 2007.

BARATA R.C.B. Malaria in Brazil: trends in the last ten years. **Cadernos de Saúde Pública**, v.11, n.1, p.128-136, 1995.

CONSOLI, R.A.G.B; LOURENÇO, R. . **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**, Fiocruz, Rio de Janeiro. p.225, 1994.

CORDEIRO, C.E.S.; FILOMENO, C.R.M.; COSTA, C.M.A.; COUTO, A.A.R.A. Perfil epidemiológico da malária no estado do Pará em 1999 com base numa série histórica de dez anos (1980-1999). **Informe Epidemiológico do Sistema Único de Saúde** 11: 69-77, 2002.

DEANE, L.M.; CAUSEY, O.R.; DEANE, M.P.; Notas sobre a distribuição e a biologia dos anofelinos das regiões nordestinas e Amazônica do Brasil. **Revista de Saúde Pública** 1, 827-965, 1948.

GAVLAK, A.A. Aplicação de um método multivariado para geração de superfícies de distribuição populacional. In.: I POSDEM – Encontro nacional de pós-graduação em Demografia e áreas afins. **Anais...** Campinas, 2010.

MEIRA, D.A; PITA, H.J; BARRAVIERA, B. Malária no município de Humaitá, estado do Amazonas. Alguns aspectos epidemiológicos e clínicos. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**. 22:124-134, 1980.

MEIRELLES, M.S.P.M. Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos. Tese de Doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

PRODES/INPE. Projeto de monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em outubro de 2010.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

ROZENFELD, S.(org.) **Fundamentos da vigilância sanitária**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, p.304, 2000.

SANTOS, V.R.; YOKOO, E.M.; SOUZA-SANTOS, R.; SANTOS, M.A. Fatores socioambientais associados à distribuição espacial de malária no assentamento Vale do Amanhecer, Município de Juruena, Estado de Mato Grosso, 2005. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 42(1):47-53, 2009.

SIVEP-Malária/MS. Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Notificação de Casos. Disponível em: http://portalweb04.saude.gov.br/sivep_malaria/default.asp. Acesso em março de 2010.

TADEI, W.P.; SANTOS, J.M.M; COSTA, W.L.S.; SCARPASSA, V.M. Biologia de anofelinos amazônicos. XII. Ocorrência de espécies de Anopheles, dinâmica de transmissão e controle da malária na zona urbana de Ariquemes (Rondônia). **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**. 30(3): 221-251, 1988.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **World malaria report**, ISBN 978 92 4 156390 1,p. 78, 2009.