

## Environmental factors space-time analysis of the malaria impact in the Belo Monte dam influence area, at Pará state, Brazil, in the period of 2005 to 2011

Nelson Veiga Gonçalves<sup>1</sup>  
Alcinês da Silva Sousa Júnior<sup>1</sup>  
Alcione Ferreira Pinheiro<sup>2</sup>  
Daniel Antonio dos Anjos Batista<sup>1</sup>  
Fabrício Aleixo Dias.<sup>2</sup>  
Vera Regina da Cunha Menezes Palácios<sup>3</sup>  
Bruno T. B. Maia<sup>3</sup>  
Ricardo J. P. S. Guimarães<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Geoprocessamento - Universidade Federal da Amazônia - Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Montese, 66077-901, Belém/Pará/Brasil  
{nelsoncg2009, alcinesjunior}@gmail.com; daniel.anjos590@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Laboratório de Geoprocessamento - Instituto Evandro Chagas - Rodovia BR-316 km 7 s/n, Levilândia, 67030-000, Ananindeua/Pará/Brasil  
{alcione.pinheiro01, fabriciolabgeo, ricardojpgs}@gmail.com

<sup>3</sup> Laboratório de Geoprocessamento - Universidade do Estado do Pará - Rua Perebebuí, 2623, 66087-670, Marco, Belém/Pará/Brasil  
verareginapalacios@gmail.com; bruno\_maia015@hotmail.com

**Abstract.** Malaria is transmitted by Anopheles vectors contaminated by a Plasmodium protozoan. The state of Pará, Brazil, has a incidence influenced by risk factors, such as disorderly occupation and large migration flows, linked to development projects like dams. This study presents a malaria spatial distribution analysis, in the period of 2005 to 2011, at Aldeia Paquiçamba, Belo Monte, Santo Antônio and Terra Arroz Cru localities contained in the future Belo Monte dam direct influence area, considering its environmental, socioeconomics and epidemiological characteristics. In this work it was used data from SIVEP-Malaria/Brazilian Health Ministry, Amazon Deforestation Monitoring Project/Institute for Space Research and incidence localities georeferencing. Thematics analyses were done with Neural Network Image Processing and Geostatistics. A geodatabase was generated. The analysis showed that the Aldeia Paquiçamba had the lowest rate of deforestation due to be a conservation area, and a low incidence of malaria. Belo Monte, located near the BR-230, showed around 50% of deforestation due to uncontrolled expansion of its urban area, and a media incidence of the disease. Santo Antonio had the highest rate of deforestation, due to farming practice, but had the lowest incidence due to low existing population. Terra Arroz Cru had more than 60% incidence, but a small deforestation rate, around 21%. The analysis showed a direct relationship between the correlated variables at Paquiçamba, Belo Monte and Santo Antonio, but in Terra Arroz Cru, this relationship was not observed directly, possibly due to population's socioeconomics characteristics, whose living conditions allowed contact with the risk factors.

**Palavras- Chaves:** Geoprocessing, Artificial Neural Networks, Epidemiology, Malaria, Geoprocessamento, Redes Neurais Artificiais, Epidemiologia, Malária.

### 1. Introdução

A malária é uma doença infecciosa, febril aguda com grande importância epidemiológica na Amazônia por sua elevada transmissão e facilidade de evolução para formas graves quando não tratada corretamente e em tempo hábil. É transmitida ao homem por um protozoário do gênero *Plasmodium*. No Brasil três espécies estão associadas à malária: *P. vivax*, *P. falciparum* e *P. malariae*. Não há registro de infecções por *P. ovale*, senão àquelas notificadas como casos importados da África, conforme Guia de Vigilância Epidemiológica (2005).

A transmissão ocorre com a inoculação das formas infectantes ao homem (esporozoítos) através da picada do mosquito fêmea do gênero *Anopheles*, mosquito pertencente à ordem dos

dípteros, família *Culicidae*. Este gênero compreende mais de 400 espécies, mas, o principal vetor no Brasil é o *A. darlingi*, que se destaca na transmissão da doença pela sua distribuição geográfica, antropofilia e capacidade de ser infectado por diferentes espécies de plasmódios. Conforme estudos realizados por Tosta et al. (2000).

Este agravo se expressa na Região Amazônica de forma diferenciada, sendo que um dos seus principais fatores de risco é a forma de ocupação humana na região, que juntamente com características ambientais e socioeconômicas favoráveis influenciam as chances da ocorrência deste agravo, conforme Ferraroni et al. (1977), Gasparetto et al. (2007). Este fato pode ser observado, por exemplo, na execução de um projeto de construção de uma Usina Hidrelétrica, devido aos impactos ambientais e socioeconômicos, que ocorrem no seu espaço geográfico conforme Sousa (2000).

Considerando as relações entre as variáveis intervenientes e determinantes da incidência da malária anteriormente apontadas o presente trabalho objetivou desenvolver um estudo exploratório sobre a possibilidade do interrelacionamento de banco de dados entomológicos, ambientais, epidemiológicos e de imagens de satélite e bases cartográficas, para realização de análises espaço-temporal da incidência da malária, na área de influência direta da futura Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHBM), localizada no município de Vitória do Xingu, no Estado do Pará (PA), no período de 2004 a 2009.

Para a realização deste trabalho foram utilizadas geotecnologias disponíveis no Laboratório de Geoprocessamento Epidemiológico (LABGEO) do Instituto Evandro Chagas (IEC), órgão de pesquisa científica do Ministério da Saúde (MS) e do Laboratório de Geoprocessamento, Análise Espacial e Monitoramento por Satélite da Amazônia (LAGAM) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no sentido de desenvolver um modelo de análise ecoepidemiológica da malária, através do interrelacionamento de Bancos de Dados Georreferenciados (BDGeo) de pacientes laboratorialmente confirmados com a doença, criadouros naturais e artificiais de vetores, cobertura vegetal e uso do solo. Para gerar as informações ambientais foram classificadas de forma não supervisionada imagens de satélites com a utilização de uma Técnica de Inteligência Artificial (IA) conhecida como Redes Neurais Artificiais (RNA), que auxiliou a compreensão das relações ecoepidemiológicas, que tem se estabelecido, nos últimos anos, nas localidades de Aldeia Paquiçamba, Belo Monte, Santo Antônio e Terra Arroz Cru, todas contidas na área de estudo. A escolha dessas quatro localidades referenciais se deu pelo fato das mesmas apresentarem diferentes características ambientais e socioeconômicas representativas da área de estudo, que foram importantes para analisar a evolução espaço-temporal da incidência da doença, bem como correlacionar variáveis ambientais e socioeconômicas, consideradas importantes por poderem influenciar diretamente a incidência da doença, conforme estudos realizados por Vasconcelos et al. (2006), Relatório de Impacto ambiental (2009).

## **2. Metodologia**

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foram utilizados dois tipos de fontes de dados, a saber, as fontes primárias como livros, artigos, dissertações, teses, relatórios de campo e registros de georreferenciamento dos dados ambientais (drenagem e vegetação), socioeconômicos (demografia e relações produtivas) e epidemiológicos (criadouros, locais de captura de vetores e moradia de pacientes laboratorialmente confirmados) e fontes secundárias como bases de dados cartográficos de limites municipais e sedes dos municípios disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de imagens de satélite LandSat, sensor TM-5, na escala 1:250.000, nas órbitas pontos 225/062, 225/063, 226/062 e 226/063, adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do radar (SAR) R99, fornecidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), que foram pré-processadas com o software Erdas 8.3 e do Sistema de Informação e Vigilância

Epidemiológica da Malária (SIVEP-Malária) do MS, que foram depurados no ambiente de tabulação de banco de dados TabWin 3.2, sendo que estes posteriormente foram georreferenciados, com o receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS) Garmin 76CSx. Foram utilizadas também informações da Secretaria Municipal de Saúde do Município de Vitória do Xingu, como os resultados de exames laboratoriais de pacientes confirmados com a doença e do censo demográfico do IBGE (2000), além de informações ambientais, disponibilizadas pelo IBAMA (2005).

Os dados ambientais georreferenciados relativos aos tipos de vegetação e utilização do solo foram obtidos através da classificação não supervisionada das imagens de satélite anteriormente pré-processadas para melhorar a sua acuidade visual. Este processo foi realizado a partir da utilização de um Classificador Neural de Imagens de Satélite, conforme estudos realizados por Veiga et al. (2010). O processo de integração das bases de dados e de imagens geradas foi executado nos softwares de geoprocessamento TerraView 3.1.3 e ArcGis 9.3.

Para analisar a distribuição espacial da incidência da doença, em termos dos casos novos notificados em cada uma nas quatro localidades de referência foram realizadas séries históricas do agravo no ambiente Excell 2003. Posteriormente foram realizados trabalhos de campo, na área de estudo, com o objetivo de fazer um levantamento socioeconômico rápido em termos das características das moradias dos pacientes e sua relação de proximidade com as variáveis ambientais trabalhadas. Na seqüência foi construído um mapa de Kernel, a partir do qual foi possível observar a densidade espacial dos casos, que foi posteriormente correlacionada aos dados ambientais gerados e expressos em mapas temáticos, através da utilização da técnica de Moran Map, que expressou visualmente a autocorrelação espacial entre as variáveis trabalhadas, gerando um valor de associação espacial entre as mesmas.

#### 4. Resultados e Discussão

A execução do projeto iniciou com o desenvolvimento de um modelo de integração de dados e recursos computacionais tais como bancos de dados geográficos e um sistema inteligente de classificação de imagens de satélites baseado em redes neurais artificiais, desenvolvido pelo LabGeo/IEC/SVS/MS. O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitou o inter-relacionamento dos dados obtidos, possibilitando a execução de análises geostatísticas e sua expressão visual na área de estudo, que pode vista na figura 1 abaixo.

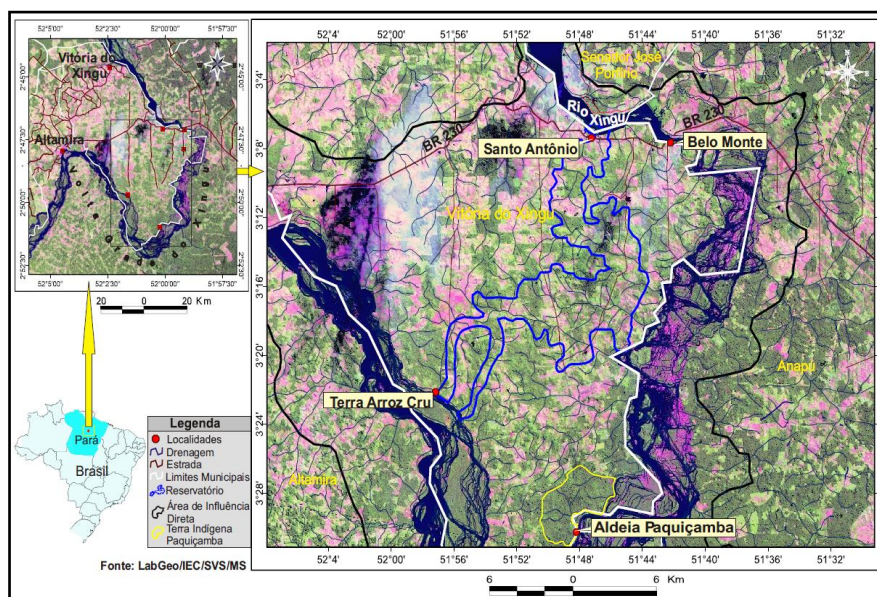


Figura 1: Área de influência direta da UHBM e localidades de estudo.

A execução do projeto iniciou com o desenvolvimento de um modelo de integração de dados e recursos computacionais tais como bancos de dados geográficos e um sistema inteligente de classificação de imagens de satélites baseado em redes neurais artificiais, desenvolvido pelo LabGeo/IEC/SVS/MS. O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitou o inter-relacionamento dos dados obtidos, possibilitando a execução de análises geoestatísticas e sua expressão visual na área de estudo, que pode vista na figura 1 acima.

Na seqüência foram desenvolvidos os bancos de dados georreferenciados (BDGEO's), com as bases de dados epidemiológicas e ambientais levantadas e posteriormente depuradas, do município de Vitória do Xingu. Este processo permitiu observar que a distribuição dos casos confirmados de malária, nas áreas de estudo não era homogênea, apresentando gradientes de incidência. Desta forma as localidades que apresentaram maiores e menores incidência em todos os anos foram Terra Arroz Cru (03°22'11.4"S e 51°57'15.0"W), Santo Antônio (03°07'23,79"S e 51°47'25,73"W), Belo Monte (03°07'34,62"S) e 51°42'03,40"W) e Aldeia Paquiçamba (03°22'46,67"S e 51°45'16,54"W), respectivamente, conforme pode ser observado na série histórica da figura 2 abaixo.

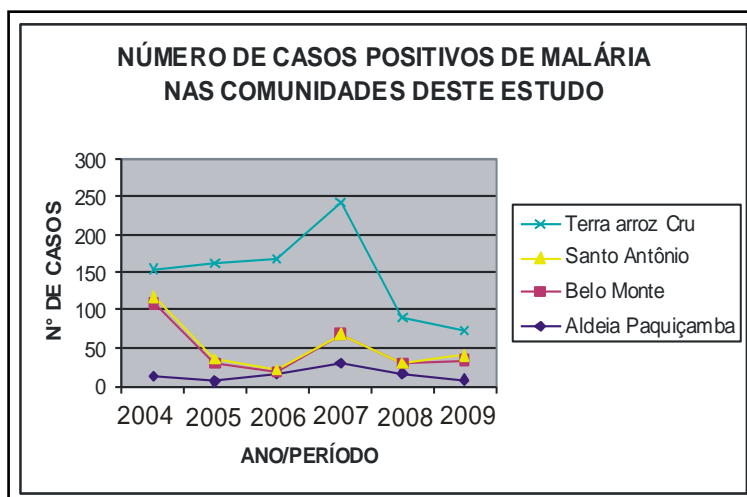


Figura 2: Série histórica da incidência da malária em 4 localidades do município de Vitória do Xingu-Pa.

As informações ambientais, demográficas e epidemiológicas foram interrelacionadas em um BDGEO, que associou também conteúdos informacionais pré-existent, em outros banco de dados, desenvolvidos em trabalhos de campo, ao longo de outras ações do LabGeo. A figura 3 abaixo mostra um fragmento do BDGEO gerado.

Após o interrelacionamento dos BDGEO's com as imagens digitais geradas a partir da utilização do Classificador Neural de Imagens de Satélite foi possível observar a localização dos tipos de vegetação e relações antrópicas, a saber, floresta de terra firme, florestas aluviais, áreas antropizadas e pastagens. Conforme pode ser observado na figura 4 abaixo.

Os tipos de vegetação e os antropismos não ocorreram de forma homogênea, na área de estudo, desta forma a localidade de Terra Arroz Cru apresentou a maior incidência do agravo com mais de 60% de casos positivos, porém uma pequena taxa de desflorestamento em relação às apresentadas pelas outras localidades, que foi em torno de 21%, este fato pode estar relacionado à grande quantidade de criadouros naturais de formas anofelinas imaturas encontradas nesta área, esta relação foi observada anteriormente em trabalhos realizados em outros lugares na Amazônia, conforme estudos realizados por Wood e Porro (2002). A localidade de Belo Monte, que se localiza próxima da BR-230, apresentou em torno de 50% de desflorestamento, possivelmente devido à expansão desordenada da sua malha urbana associada a um intenso fluxo migratórios, além de um crescimento médio da incidência do agravo, conforme estudos realizados por Nobre et al. (1991), Marques e Pinheiro (1982).

Santo Antônio teve o maior índice de desflorestamento, pela constante prática da pecuária, porém possui o menor número de casos confirmados devido à baixa população residente nesta área, esta relação foi observada em outros trabalhos desenvolvidos com a mesma temática por Wood e Porro (2002), McCracken et al. (2002). De forma diferenciada de todas as outras áreas, a Aldeia Paquiçamba obteve a menor taxa percentual de desflorestamento, possivelmente devido ser uma área de preservação indígena, associado a este fato foi observado também uma menor incidência da malária, conforme estudo feito por Sawyer (2002). A análise da imagem gerada pelo estimador de intensidade de Kernel mostrou uma relação direta entre as variáveis correlacionadas nas localidades de Aldeia Paquiçamba, Belo Monte e Santo Antonio, sendo que em Terra Arroz Cru, não foi observada esta relação direta, possivelmente devido às características socioeconômicas da população, cujas condições de moradia possibilitaram um maior contato com os vetores da doença, com proliferação de criadouros artificiais e temporários, aumentando os fatores de risco de infecção. Conforme mostra a figura 5 abaixo.

Shape	Type	Ident	Lat	Long	Y_proj	X_proj
Point	WAYPOINT	Belo Mont	-3.12628719	-51.70094610	-460502.70119139	5545657.14338318
Point	WAYPOINT	Belo Monte Xim	-3.12283644	-51.69961547	-460004.54098868	5545877.66134020
Point	WAYPOINT	Bera Xingu S A	-3.11619034	-51.79120813	-458384.61241422	5532419.71897606
Point	WAYPOINT	Bom Jardim	-3.65999809	-50.96350693	-545159.44910791	5650844.44920340
Point	WAYPOINT	Bomjesus	-2.83564989	-52.02030625	-415718.92102325	5500566.48740089
Point	WAYPOINT	Breu Branco	-3.77729846	-49.57128547	-575300.29497066	5859390.42163370
Point	WAYPOINT	Crist Redento	-1.73332226	-48.86453019	-267390.04725570	5982080.64054630
Point	WAYPOINT	curap	-2.71926600	-52.06315982	-398417.12161647	5494984.96388218
Point	WAYPOINT	Ent Paquisamba2	-3.15829776	-51.70304460	-465195.72948480	5545121.80747686
Point	WAYPOINT	Falla Nazie	-3.37086827	-51.32153984	-499379.19225791	5599974.66675626
Point	WAYPOINT	Goianesia	-3.81673188	-49.09315565	-585907.70442686	5932036.34690640
Point	WAYPOINT	Iec	-1.37333854	-48.38591488	-213611.60238591	6057848.72131533
Point	WAYPOINT	Ig Sant Elena	-3.12361018	-51.79229720	-459466.70258705	5532207.53359941
Point	WAYPOINT	Jacupe 236239	-2.78316895	-52.05865036	-407797.04955617	5495259.35722669
Point	WAYPOINT	Leonar D Vinci	-3.17172532	-52.05826010	-464651.49674301	5492764.56970558
Point	WAYPOINT	Loc Boa Paz	-2.69051204	-52.05804502	-394239.32179177	5495907.87998124
Point	WAYPOINT	Loctapeua	-2.73474578	-52.06820900	-400652.00296200	5494150.27490622
Point	WAYPOINT	Maracaja	-4.14600371	-50.22033672	-624679.04203799	5757612.03035322
Point	WAYPOINT	Novo Reparti	-4.25368225	-49.94402049	-643714.92893353	5798168.30688006
Point	WAYPOINT	Pacaja	-3.83590322	-50.62734241	-574334.91839342	5699492.81118620
Point	WAYPOINT	Paquisamba 1	-3.20086677	-51.70357618	-471452.22022592	5544739.65592500

Figura 3: Fragmento do banco de dados geográfico gerado com informações ambientais, demográficas e epidemiológicas, produzido pelo LabGeo /IEC/SVS/MS

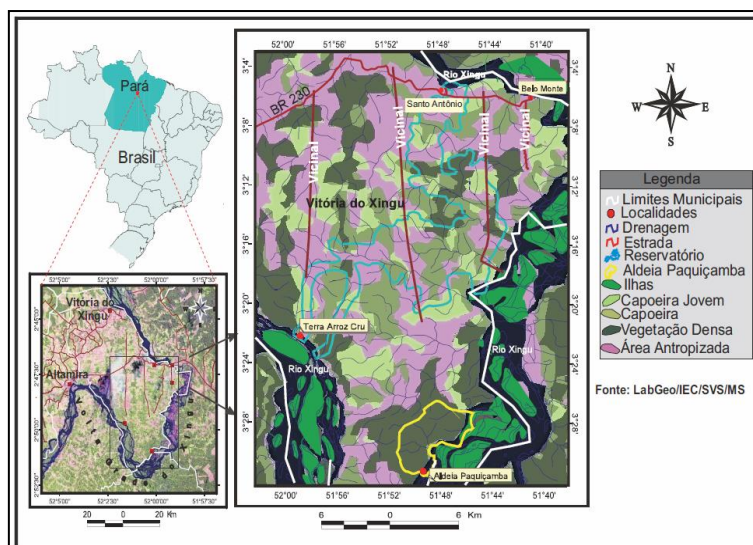


Figura 4: Imagem classificada apresentando os tipos de vegetação e antropismos existentes na área de estudo.



Foi possível observar também nas imagens de satélite classificadas que na margem direita do rio Xingu estão os seus maiores e mais importantes afluentes, nestes locais as florestas são mais preservadas devido à presença de terras indígenas. Nesta área encontram-se as localidades de Aldeia Paquiçamba e Belo Monte, no trecho localizado entre a barragem principal e a casa de força principal. Neste trecho possivelmente vai ocorrer uma diminuição da quantidade de água, quando a usina entrar em funcionamento. Assim sendo, nesta área há uma maior probabilidade de um aumento processual e sistêmico na incidência dos casos de malária, devido ao provável estabelecimento de grandes áreas de criadouros artificiais das formas imaturas dos vetores desta doença, conforme estudos realizados por Sousa (2000), Vasconcelos et al (2006) e Veiga (2001)

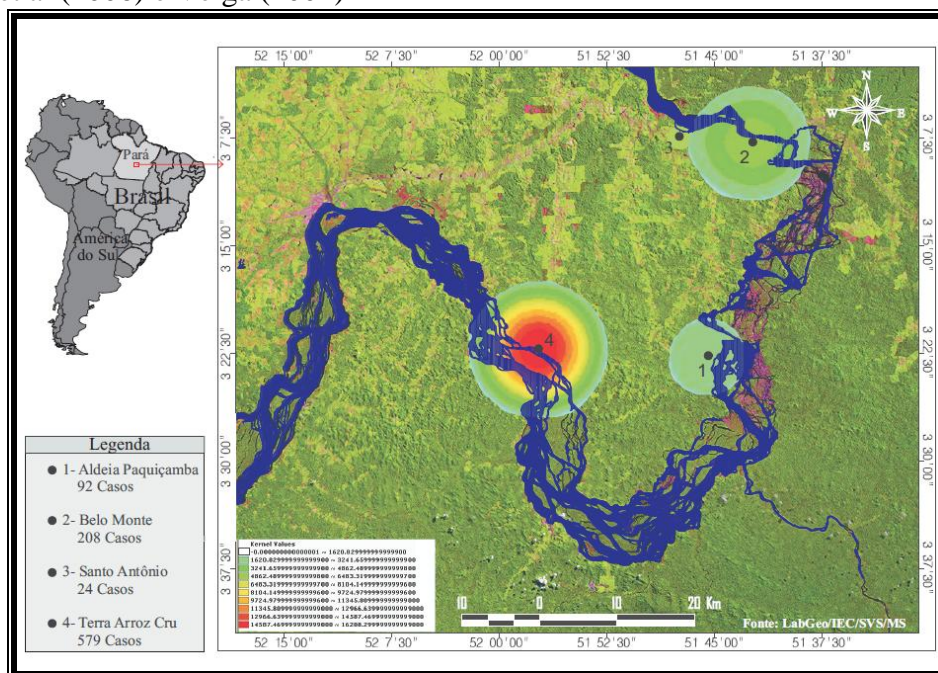


Figura 5: Mapa de Kernel mostrando a intensidade de casos de malária, na área de estudo.

## 6. Conclusão

As ferramentas e técnicas computacionais utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram úteis para um entendimento preliminar dos processos ecoepidemiológicos, que ora estão se estabelecendo na área de futura UHBM. Os dados gerados podem ser utilizados para apoiar processos de tomada de decisão em saúde pública, considerando a provável futura espacialização da malária, na região conforme estudos realizados por IBGE (2011) e Forattini (2002). A partir das análises geradas foi possível verificar onde possivelmente deverão se estabelecer fatores de risco para a doença, além do seu dimensionamento, como localização de criadouros de vetores da fauna anofelina, devido à alteração espacial das coleções hídricas, que estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Xingu e seus tributários, conforme IBAMA (2011). Foi observado ainda que o tipo de vegetação e as formas de ocupação humana deverão influenciar na tendência de alteração dos indicadores de incidência do agravo, de forma diferenciada nas áreas de estudo. Do ponto de vista socioeconômico, foi possível estimar que no período de obras, o fluxo de pessoas na região deverá aumentar de forma processual, comparado ao cenário atual. Este fato causará impacto nos indicadores epidemiológicos da doença, com a formação de núcleos urbanos com condições inadequadas de moradia, facilitando a disseminação de doenças. Com a continuidade das práticas de monitoramento utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, novos cenários da doença poderão ser construídos.

## 7. Referências Bibliográficas

- Ferraroni, J.J.; WAKI, S. e SUZUKI, M. Resistência do Plasmodium falciparum às cloroquinas no Estado do Amazonas detectada pelo método in vitro. Acta amazon., 7:147-8, 1977.
- Forattini, O. P. Culicidologia Médica vol. 2: Identificação, Biologia, Epidemiologia. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002
- Gasparetto, D. et al. Sistema Multifuncional de Avaliação Epidemiológica Aplicado a Prevalência da Malária – SISMAE. Trabalho de Conclusão de Curso-CESUPA. Belém-Pa. 2007.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Estatística Pesqueira do Brasil. 2005. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 13 jan. 2011.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Demográfico 2009 - Resultados do universo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2011.
- Marques AC, Pinheiro EA. Fluxos de casos de malária no Brasil em 1980. Rev Bras Malariol Doencas Trop 1982; 34:1-31.
- McCracken SD, Siqueira AD, Moran EF, Brondízio ES. Land use patterns on an agricultural frontier in Brazil. In: Wood CH, Porro R, editors. Deforestation and land use in the Amazon. Gainesville:University Press of Florida; 2002. p. 162-92.
- Ministério da Saúde (MS). Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). Guia de Vigilância Epidemiológica. 6.ed. 816 p. ISBN 85-334-1047-6 – Brasília, 2005
- Nobre C, Sellers P, Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change. J Clim 1991; 4:957-88.
- Relatório de Impacto Ambiental – Rima. Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte Maio/2009. Sawyer DR. Malaria on the Amazon frontier: economic and social aspects of transmission and control. Geneva: World Health Organization; 1992. (Technical Report on Malaria Control in the Amazon (Basin, 88).
- Sousa, W. L. Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens. Rio de Janeiro. 154p. 2000.
- TOSTA, C. E.; LOPES, E. R.; CHAPADEIRO, E. Malária. In: Bogliolo, I. Brasileiro Filho, G. Patologia. 6a ed.. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. p. 1250-1262.
- Vasconcelos, C. H.; Moraes, E.M.L.; Donalisio, M.R. Use of remote sensing to study the influence of environmental changes on malaria distribution in the Brazilian Amazon. Cad. Saúde Pública, vol.22 no.3 Rio de Janeiro, Mar. 2006.
- Veiga, N. V. Modelo de Recuperação de Informações Temáticas Interrelacionadas, contidas em Imagens de Satélites, baseado em descritores contextuais. Tese de Doutorado. 225 p. Brasília, 2001
- Veiga, N. G. et al (2010); Inteligência Artificial e Geotecnologias Emergentes Aplicadas em Estudos Ecoepidemiológicos de Malária no Município de Bragança-Pará, Brasil, no Período de 2006 a 2008. In: XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2010, Belo Horizonte-MG. Anais do XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Belo Horizonte-MG: PUCMINAS, 2010. p. 1630-1640.
- Wood CH. Land use and deforestation in the Amazon. In: Wood CH, Porro R, editors. Deforestation and land use in the Amazon. Gainesville: University Press of Florida; 2002. p. 1-38.