

A UTILIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS: O EXEMPLO DA RELAÇÃO ENTRE A MALÁRIA E O NDVI EM RORAIMA

HELEN DA COSTA GURGEL¹

¹Université Paris X - Ecole Normale Supérieure
ENS - Dept Géographie - 48, Bd Jourdan - 75014 - Paris, France
Helen.Gurgel@ens.fr

Abstract: This work presents a space-temporary analysis of malaria in Roraima, Brazil. The relationship between malaria dynamics and environmental dynamics is evidenced in analysis accomplished on NDVI data (AVHRR/NOAA), and on registered occurrences of malaria in Roraima's districts from 1985 to 1997. Putting the malaria and the NDVI data together one can establish that: the largest occurrences registration happens during the driest season, from October to February; strong interannual fluctuations exist in the number of malaria occurrences, and they are typically verified in periods of climatic anomalies like El Niño's and La Niña's events; the annual dynamics of occurrences is variable according to districts, nevertheless positive and negative peaks occur systematically in the same periods; most of occurrences have been registered in the Amazon forest.

Keywords: remote sensing, health, NDVI, malaria, geotechnologies, epidemiology, Roraima, GIS.

1. Introdução

A Amazônia brasileira tem tido um amplo destaque no cenário internacional em relação às mudanças ambientais globais. Mudanças estas que estão amplamente relacionadas com as enfermidades transmissíveis de ocorrência endêmico-epidêmica, que constituem grandes problemas de saúde pública para a região amazônica.

Das diversas enfermidades transmissíveis de ocorrência endêmico-epidêmica que há na Amazônia, destacam-se aquelas transmitidas por vetores (principalmente mosquitos), tais como: as leishmanioses cutânea e visceral (calazar), a febre amarela e, especialmente, a malária, com cerca de 600.000 casos anuais nessa região. Os processos infecciosos ocasionados por estas enfermidades têm ciclos complexos de perpetuação e disseminação, pois, além de dependerem do comportamento biológico dos vetores para sua transmissão, eles também dependem da dinâmica ambiental que possui uma ampla repercussão em seu ciclo de vida e disseminação. A falta de um conhecimento aprofundado entre o comportamento dos vetores e a dinâmica ambiental pode dificultar o controle destas doenças.

A geotecnologia (sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas – SIG, GPS, etc.) como instrumento de análise epidemiológica é relativamente recente e sua utilização significou um importante avanço qualitativo na pesquisa em disciplinas básicas da saúde pública. Ela permitiu, por exemplo, uma melhor análise da distribuição e abundância de vetores de algumas doenças (Connor *et al.*, 1997). O uso dessas ferramentas é particularmente valioso para estudos das moléstias amazônicas, pois as dificuldades de realização de levantamentos de campo sobre as variáveis ambientais associadas às doenças nessa vasta região são inúmeras, principalmente devido aos altos custos e às dificuldades operacionais.

O estado de Roraima teve fluxos migratórios súbitos e intensos, como o que se observou no período 1987-1990, ocasionado pela as atividades de garimpo de ouro no oeste do estado. Mais recentemente, os fluxos migratórios, oriundos principalmente da região nordeste do país, ocorreram em função da oferta de pequenas parcelas de terra, oferecidos por programas realizados pelo INCRA e pelo governo do estado, para assentamentos agrícolas, o que ocasionou diversas alterações na sua cobertura vegetal (Barbosa *et al.*, 1997). Nesse período o número de casos de malária aumentou significativamente, passando de cerca de 10.000 casos anuais no início da década de 70 para mais de 35.000 casos no final da década 90. Apesar de

em seu território ocorrerem apenas cerca de 5% dos casos brasileiros de malária, Roraima apresenta o maior número de casos por habitantes: em 2000 foram registrados cerca de 110 casos para cada 1.000 habitantes.

2. Dados e Metodologia

Os dados de malária utilizados foram obtidos através da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) do Ministério da Saúde. Os dados estão divididos por estado e por municípios de Roraima. Os dados por municípios abrangem o período de 1985 a 1997 e estão subdivididos mensalmente pelos oitos municípios existentes naquele período.

O conjunto de imagens de NDVI utilizado foi produzido pelo Grupo de Estudos de Monitoramento e Modelamento do Inventário Global - *Global Inventory Modeling and Monitoring Study* (GIMMS) da *Goddard Space Flight Center/National Aeronautics & Space Administration* (GSFC/NASA). Essas imagens são composições mensais, disponibilizadas com resolução espacial de 8 km x 8 km, e abrangem o período de 1982 a 2000, com exceção para o ano de 1994, em que não há dados disponíveis. Informações completas sobre estes dados podem ser encontradas em Goddard (2002). Os dados cobrem toda a América do Sul e para extrair e manipular as informações unicamente sobre o estado de Roraima foi realizada uma máscara sobre o conjunto de imagens. A manipulação e extração dos dados foram realizadas através do software ENVI.

3. Aplicações de Geotecnologias na Área de Saúde

Uma das maneiras de se conhecerem mais detalhadamente as condições de saúde da população é através de mapas que permitam observar a distribuição espacial de situações de risco e dos problemas de saúde. A abordagem espacial permite a integração de dados demográficos, socioeconômicos e ambientais, promovendo o inter-relacionamento das informações de diversos bancos de dados. Nesse sentido, é fundamental que as informações sejam localizáveis, fornecendo elementos para construir a cadeia explicativa dos problemas do território e aumentando o poder de orientar ações intersetoriais específicas (Carvalho et al., 2000).

A utilização de mapas e a preocupação com a distribuição geográfica de diversas doenças é antiga. O médico escocês James Lind publicou em 1768 um livro chamado "*An Essay on Diseases Incidental to Europeans in Hot Climate*" no qual procura explicações para a distribuição de diversas doenças, chegando inclusive a determinar áreas geográficas específicas. Desde então diversos trabalhos foram escritos na geografia médica, descrevendo variações geográficas na distribuição das doenças. Um dos antigos estudos mais célebres foi realizado por John Snow sobre a cólera em Londres, no qual foram mapeados os casos e os pontos de coletas de água, mostrando o papel da contaminação da água na ocorrência da doença (Barret, 1991).

A geotecnologia, também conhecida como geoprocessamento, é um termo amplo que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias destacam-se: o sensoriamento remoto, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Na saúde é possível, através do SIG por exemplo, integrar os registros de banco de dados de saúde já existentes, correlacionando-o com proximidades de cidades, rios, bordas de floresta, e outras características ambientais. Ele pode também ser utilizado para planejar onde ficarão mais bem localizados os serviços de saúde, assim como reestruturar os serviços já existentes. As análises ambientais, obtidas através dos dados de satélites, podem ser utilizadas em um SIG para planejar onde a pesquisa entomológica deve ser focada, determinando os locais de criatórios durante a estação seca para realizar as análises das larvas ou os refúgios do vetor (Thomson et al., 1997).

Recentemente diversos trabalhos têm demonstrado a utilidade das geotecnologias, na identificação e monitoramento das variáveis ambientais associadas às variações da incidência de doenças infecciosas, dentre elas a malária, relacionando-as principalmente aos padrões espaciais e temporais dos tipos de vegetação e de sua fenologia, o uso e a cobertura da terra, coleções d'água e assentamentos humanos. Beck *et al.* (1997), utilizaram imagens do satélite Landsat TM para estudar dois elementos paisagísticos associados com a abundância de uma determinada espécie de vetor que é um indicador do risco de transmissão da malária. Eles elaboraram um modelo baseado em análise discriminante que foi capaz de distinguir as vilas com alta e baixa densidade de ocorrência do vetor, com uma precisão de 90%. O modelo também baseado em análise de regressão identificou, com sucesso, sete das 10 vilas que tinham alta abundância do vetor.

Thomas e Lindsay (2000) analisaram, utilizando dados clínicos sobre a infecção malárica e imagens do satélite SPOT, o risco de exposição à malária, a partir do mapeamento dos criadouros dos vetores, em 26 comunidades africanas com malária endêmica. Eles observaram diferenças importantes na exposição ao parasita em relação às distâncias que as comunidades estavam dos criadouros de vetores.

As séries de satélites meteorológicos com alta resolução temporal, como o AVHRR/NOAA, possuem diversas vantagens tais como a possibilidade de realização de estudos multitemporais, assim como a possibilidade de aquisição de imagens sem nuvens, que são um verdadeiro problema em diversas regiões, sobretudo no equador e nos trópicos. Essas e outras vantagens fazem com que esses satélites sejam cada vez mais utilizados em estudos epidemiológicos, como mostram os trabalhos a seguir.

Hay *et al.* (1998) estudaram as relações entre parâmetros ambientais medidos pelos satélites AVHRR-NOAA e Meteosat e a frequência de internações hospitalares por malária pediátrica grave na África. Eles observaram que havia uma correlação importante entre o NDVI do mês anterior e os casos de malária. Eles chegaram à conclusão que os valores limiares de 0,35-0,40 no NDVI indicam um aumento de 5% no número dos casos de malária num determinado mês.

Snow *et al.* (1999) produziram um mapa preliminar continental do risco de mortalidade por malária entre crianças africanas. Eles integraram os dados de população com dados de alta resolução de modelos de probabilidade climáticas para a transmissão da malária, gerados a partir de dados de satélites meteorológicos. O SIG foi utilizado para definir os limites espaciais das populações expostas ao risco de infecção na África. Estas estimações foram relacionadas com as taxas anuais de mortalidade causada pela a malária entre crianças de 0 a 4 anos. Apesar de algumas limitações do modelo de transmissão e distribuição da população, essas aproximações empíricas de probabilidade de risco de infecção e de dados epidemiológicos sobre a mortalidade fornecem uma nova oportunidade de analisar e projetar as taxas de mortalidade ocorridas por malária.

Omumbo *et al.* (2002) utilizaram imagens de sensoriamento remoto para atualizar e melhorar as cartas históricas de intensidade de transmissão da malária na Tanzânia, em Uganda, e no Quênia, que eles tinham produzido em 1998. Eles realizaram cálculos de análise discriminante entre os mapas históricos da intensidade de transmissão de malária e os dados multitemporais de sensores meteorológicos e alcançaram valores estatisticamente consideráveis. As regiões sem malária foram indicadas com uma exatidão de 96%, enquanto que as regiões onde as contaminações de malária são intensas foram indicadas com uma precisão de 87%.

Recentemente Green e Hay (2002) demonstraram o potencial dos dados do sensor AVHRR/NOAA em fornecer informações climatológicas para a África e a Europa para aplicações em estudos epidemiológicos. Segundo os autores, as observações obtidas por estes

satélites de sensoriamento remoto são o único meio de obter medidas climatológicas em escala regional e continental com intervalos regulares e em tempo real. O estudo realizado por eles comprovou que os dados de temperatura da superfície, déficits de pressão de vapor medido por satélites e o NDVI obtidos pelo o AVHRR/NOAA podem substituir variáveis como a temperatura do ar próxima ao solo e o déficit de pressão de vapor nos estudos epidemiológicos.

Excelentes revisões sobre a utilização de sensoriamento remoto e SIG em trabalhos na área de epidemiologia, sobretudo de malária, podem também ser encontrados em Connor *et al.* (1997); Miranda *et al.* (1998); Schellenberg *et al.* (1998); Manguin e Boussinesq (1999); Hay *et al.* (2000); Hay (2000); Anyamba *et al.* (2002), Rogers *et al.* (2002).

4. NDVI em Roraima

A **Figura 1a** mostra a imagem média de NDVI de Roraima com o limite da divisão municipal de 1982 sobreposto. Essa imagem representa a grande diversidade de biomassa verde existente em sua vegetação (a escala de cores aplicada à imagem varia do preto ao vermelho, em que o vermelho significa maior quantidade de verde presente na vegetação, e o preto, menor quantidade). Ao compararmos essa imagem com a imagem Landsat (**Figura 1b**) é possível verificar que o NDVI mostra claramente os distintos tipos de cobertura vegetal que ocorrem em Roraima. E finalmente se compararmos a imagem média com o mapa de vegetação produzido pelo IBGE (**Figura 1c**) é possível verificar a semelhança entre ambos. Isto demonstra a potencialidade do NDVI produzido pelo o AVHRR/NOAA em caracterizar, numa escala regional, as feições de vegetação existente em Roraima.

A **Figura 2** mostra a média mensal de NDVI do estado de Roraima entre janeiro de 1982 e dezembro de 2000 (com exceção do ano de 1994). A partir desta figura é possível verificar o ciclo anual da vegetação de Roraima, que não está muito bem definido devido aos diversos tipos de vegetação existentes no estado. Mas é possível verificar que o período mais verde da vegetação ocorre por volta de setembro, que é o início da estação seca: isso ocorre porque a floresta amazônica, por exemplo, tem um tempo de resposta à precipitação em torno de dois meses (Batista *et al.*, 1997). O período em que ocorre menos verde é entre março e abril, correspondente ao final da estação seca. Pode-se também observar nessa figura grandes flutuações interanuais no NDVI relacionadas com o El Niño, como, por exemplo, o forte evento de 1992-93, que provocou uma acentuada queda do NDVI.

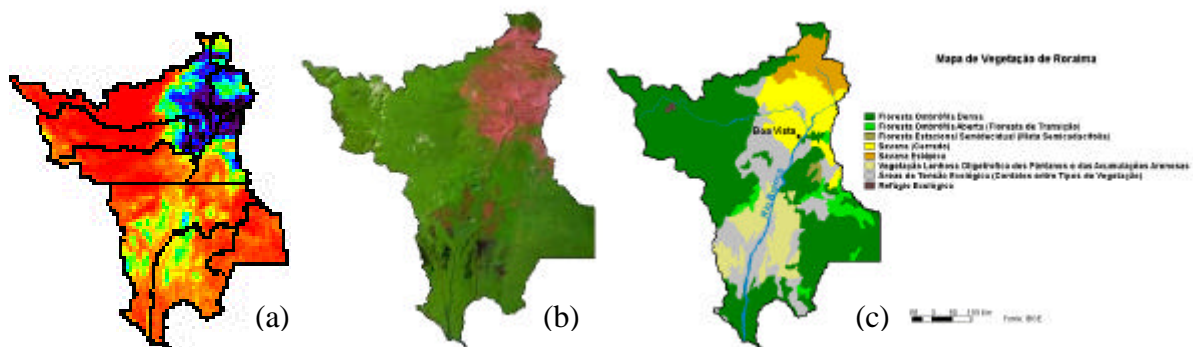


Figura 1 - (a) Imagem média de NDVI derivado do AVHRR/NOAA do período de 1982 a 2000 de Roraima. (b) Mosaico de imagens Landsat – TM 7 de Roraima. Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite. (c) Mapa de vegetação de Roraima. Fonte: IBGE, 1998.

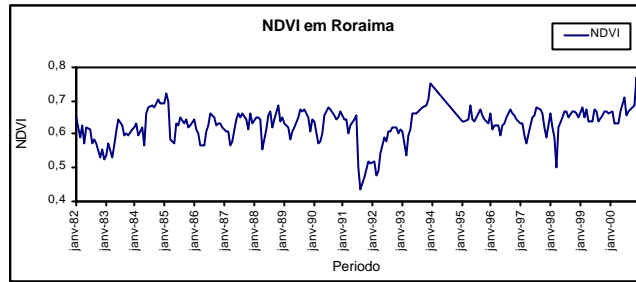


Figura 2 - NDVI mensal de Roraima entre janeiro de 1982 e dezembro de 2000.

5. Malária e NDVI em Roraima

A malária está presente em todos os municípios de Roraima. Porém, a sua frequência varia significativamente entre os municípios. O município de maior incidência de casos de malária é Boa Vista, seguido por Mucajaí, ambos no norte do estado. O alto índice existente em Boa Vista está relacionado com a grande concentração de população existente no município: é lá que estão aproximadamente 60% dos habitantes do estado. Além da grande concentração dos estabelecimentos de saúde, o que leva grande quantidade de moradores de outros municípios a procurar esses serviços na capital, deve-se ressaltar que cerca de 50% do território de Boa Vista são cobertos pelas savanas (**Figura 1**). Mucajaí é o segundo maior município em quantidade de habitantes e onde se encontra um grande número de novos assentamentos rurais. Esse município é todo coberto pela floresta Amazônica. É nos municípios do sul do estado que ocorrem as menores quantidades de casos, mas também é onde estão as menores quantidades de habitantes. O município de Normandia tem a quarta maior quantidade de população do estado; porém, é o que apresenta o menor número de casos de malária. Esse município é praticamente todo coberto pela savana. Bonfim é o quarto maior município em números de casos, mas é o sexto em número de população, e cerca de 50% de seu território são cobertos pela floresta Amazônica. Essas diferenças entre os municípios, sobretudo entre Normandia e Bonfim, apontam que a maior quantidade de casos de malária ocorre na área da floresta Amazônica.

Observando os gráficos da **Figura 3** é possível constatar que as variações anuais de malária, seguem ritmos distintos, porém com picos e quedas em períodos semelhantes entre os municípios de Roraima, como os picos ocorridos em 1985/86, 1988/89 e 1995/96. Ao observar atentamente o número de casos anuais de malária com as médias anuais de NDVI, pode-se constatar que quando há aumento nos números de casos de malária há também aumento nos valores de NDVI, e que justamente nesses períodos ocorre o fenômeno La Niña. Quando ocorre esse fenômeno há aumento de chuvas nessa região (CPTEC, 1998), o que ocasiona elevação nos valores de NDVI, pois com mais chuva a vegetação fica mais verde, sobretudo a savana, assim como o aumento de reservatórios d'água ideais para a procriação dos vetores da malária. Quando tem lugar o fenômeno El Niño, ocorre a situação inversa ao da La Niña: queda do NDVI e queda do número de casos.

Através das análises das variações mensais por município de casos de malária e NDVI, pode-se verificar que apesar dos ciclos pouco definidos dos casos de malária, todos os municípios possuem ciclos com a mesma tendência: aumento dos casos no início da queda do valor do NDVI, entre novembro e janeiro, que é o meio da estação seca. Ao analisar esses dados deve-se levar em consideração o período de incubação da doença, que é de quinze dias a um mês, ou seja, o contato do homem com o vetor deve ocorrer logo no início da estação seca. Nessa época há mais pontos de água parada, que oferecem condições ideais à procriação do mosquito. Além disso, o trânsito de pessoas pelo o interior da mata é facilitado. Verifica-se

também que há uma queda dos casos entre abril e julho, que é o início do aumento do NDVI, e o período chuvoso. Esse tipo de flutuação deve acontecer porque neste período existe mais água corrente, o que dificulta a procriação do mosquito, já que ele precisa de água parada para poder procriar. Ou, ainda, porque a entrada e o deslocamento na mata, tanto na floresta como na savana, é dificultada pela o transbordamento dos cursos d'água, o que faria com que o contato do homem com o vetor diminuísse, uma vez que a população de mosquitos transmissores é muito maior no interior da mata.

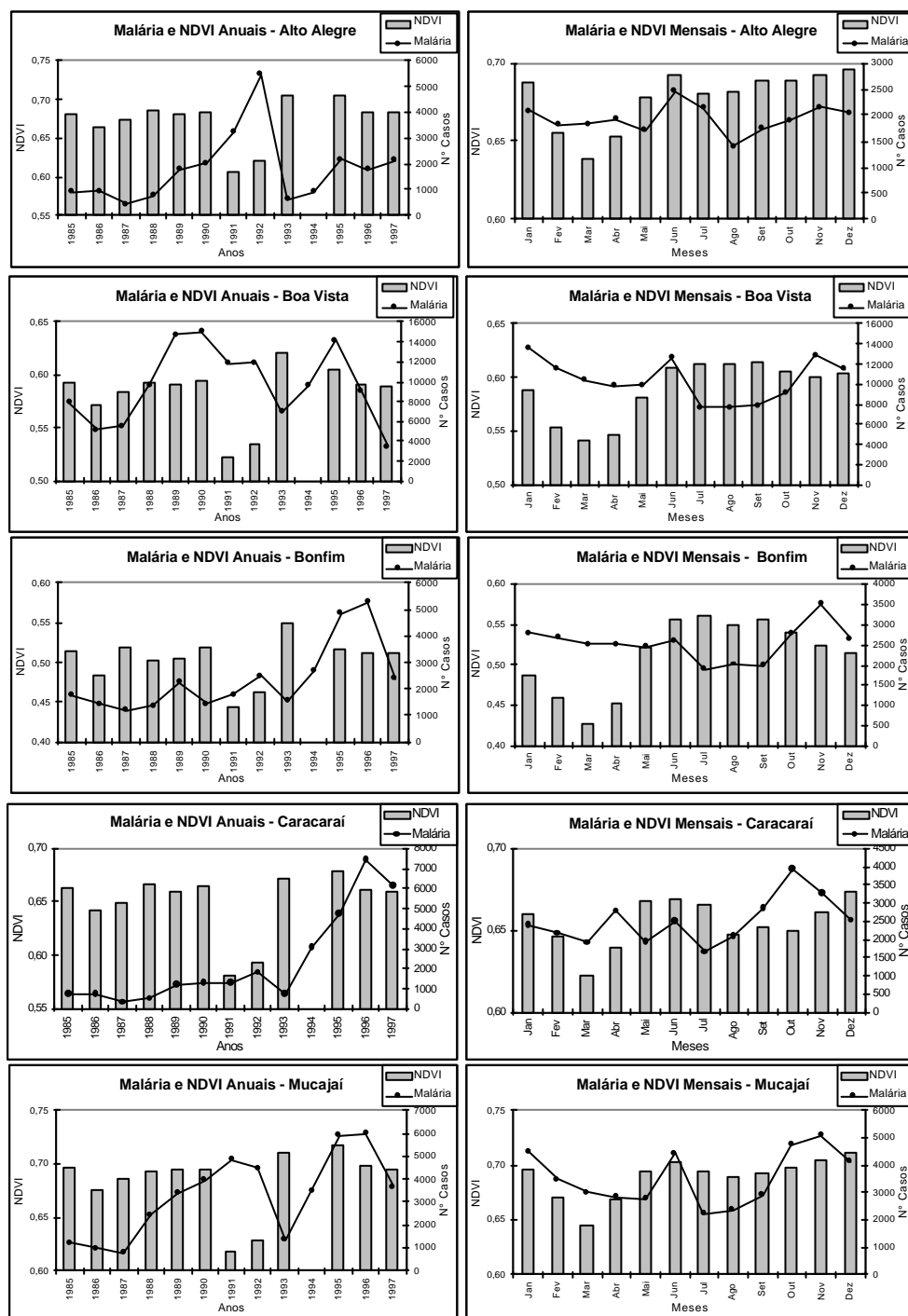


Figura 3 – Número de casos de malária e média de NDVI anual, número médio mensal de casos de malária e média de NDVI mensal dos municípios de Roraima entre 1985 e 1997 (continua).

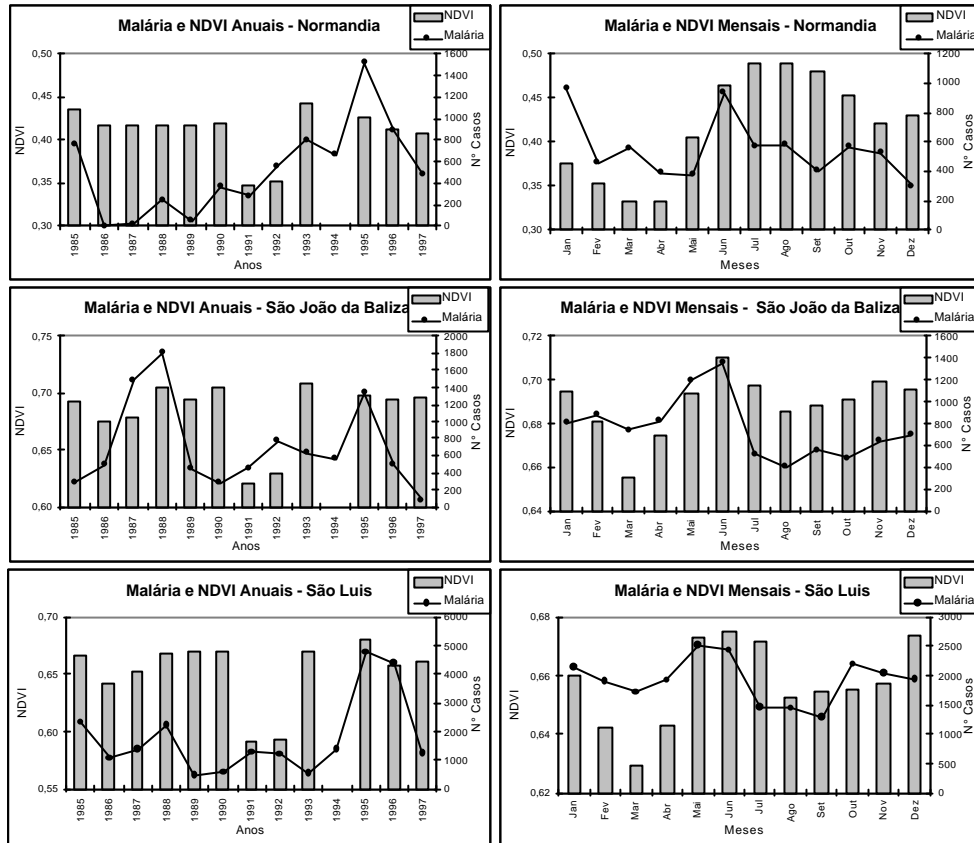


Figura 3 – Número de casos de malária e média de NDVI anual, número médio mensal de casos de malária e média de NDVI mensal dos municípios de Roraima entre 1985 e 1997 (conclusão).

6. Conclusão e Sugestões

Este trabalho apresenta uma análise espaço-temporal da malária em Roraima.

O cruzamento entre os dados de malária e NDVI mostraram que o maior registro de casos ocorre no período mais seco, entre outubro e fevereiro, e que isto deve ocorrer porque a entrada e a circulação na mata é mais fácil já que os níveis dos cursos de água são mais baixos e também graças à maior quantidade de reservatórios d'água propícios à procriação dos vetores da malária. Os dados também apontam que a maior parte dos casos de malária ocorre em regiões da floresta Amazônica. Um levantamento do período exato da entrada da população na mata, assim como uma análise das dinâmicas e localizações dos reservatórios d'água que permitem a procriação dos mosquitos deve ser realizado para melhor caracterizar essas dinâmicas da malária.

Foi possível também observar, ao cruzar os dados de malária e NDVI, que existem fortes flutuações interanuais no número de casos de malária, e que estas ocorrem em períodos de anomalias climáticas como os fenômenos de El Niño e La Niña. Esses resultados confirmam o potencial do uso do NDVI em estudos da dinâmica da malária, como foi visto no item *Aplicações de geotecnologias na área de saúde*.

Referências

Anyamba, A.; Linthicum, K. J.; Mahoney, R.; Tucker, C. J.; Kelley, P. W. Mapping potential risk of Rift Valley fever outbreaks in African savannas using vegetation index time series data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 68, n. 2, 2002.

- Barbosa, R. I.; Ferreira, E. J. G.; Castellón, E. G. *Homem, Ambiente e Ecologia no estado de Roraima*. Manaus: INPA, 1997, 613 p.
- Barret, F. A. Scurvy linds medical geography. *Social Science & Medicine*, v. 33, p. 347-353, 1991.
- Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 15, p. 3195-3210, 1997.
- Carvalho, M. S.; Pina, M. F.; Santos, S. M. *Conceitos básicos de sistemas de informações geográficas aplicados à saúde*. Brasília: Organização Panamericana de Saúde/Ministério da Saúde, 2000, 124 p.
- Connor, S. J.; Flasse, S. P.; Perryman, A. H.; Thomson, M. C. *The contribution of satellite derived information to malaria stratification, monitoring and early warning - WHO/MAL/97.1079*. Geneva: Word Health Organization, 1997, 33p.
- CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), *Conseqüências do fenômeno El Niño sobre o território brasileiro e perspectivas para 1998*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/elniño>>. Acesso em: janeiro 1998.
- Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC), *Pathfinder Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Land FTP Data*. Disponível em: <http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/FTP_SITE/readmes/pal.html>. Acesso em: janeiro 2002.
- Green, R. M.; Hay, S. I. The potential of Pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. *Remote Sensing of the Environment*, v. 79, n. 2-3, p. 166-175, 2002.
- Hay, S. I.; Snow, R. W.; Rogers, D. Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 92, n. 1, p. 12-20, 1998.
- Hay, S. I.; Omumbo, J. A.; Craig, M. H.; Snow, R.W. Earth observation, geographic information systems and Plasmodium falciparum malaria in sub-Saharan Africa. *Advances in Parasitology*, v. 47, p. 173-215, 2000.
- Hay, S. I. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Advances in Parasitology*, v. 47, p. 1-35, 2000.
- Manguin, S.; Boussinesq, M. Apport de la télédétection en santé publique: l'exemple du paludisme et autres perspectives. *Médecine et Maladies Infectieuses*, v.29, n. 5, p.318-324, 1999.
- Miranda, C.; Marques, C. C. A.; Massa, J. L. Sensoriamento remoto orbital como recurso para análise da ocorrência da leishmaniose tegumentar americana em localidade urbana da região sudeste do Brasil. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 455-463, 1998.
- Omumbo, J. A.; Hay, S. I.; Goetz, S. J.; Snow, R. W.; Rogers, D. J. Updating historical maps of malaria transmission duration in east Africa using remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 68, n. 2, p. 161-166, 2002.
- Rogers, D. J., Randolph S. E; Snow, R. W.; Hay S. I. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature*, v. 415, n. 6872, p. 710-715, 2002.
- Schellenberg, J.; Newell, J.; Snow, R.; Mung'ala, V.; Marsh, K.; Smith, P.; Hayes, R. An analysis of the geographical distribution of severe malaria in children in Kilifi District, Kenya. *International Journal of Epidemiology*, v. 27, p. 323-329, 1998.
- Snow, B.; Craig, M.; Deichmann, U.; e Le Sueur, D. A preliminary continental risk map for malaria mortality among African children. *Parasitology Today*, v. 15, n. 3, p. 99-104, 1999.
- Thomas, C. J.; Lindsay, S. W. Local-scale variation in malaria infection amongst rural Gambian children estimated by satellite remote sensing. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 94, p. 159-163, 2000.
- Thomson, M. C.; Connor, S. J.; Milligan, P. J. M.; Flasse, S. P. Mapping malaria risk in Africa: What can satellite data contribute? *Parasitology Today*, v. 13, n. 8, p. 313-318, 1997.