

## Desenvolvimento de um índice hidrológico para aplicação em estudos de distribuição da prevalência de esquistossomose em Minas Gerais

Fernanda Rodrigues Fonseca<sup>1</sup>  
Tatiana Saralegui Saraiva<sup>1</sup>  
Corina da Costa Freitas<sup>1</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>1</sup>  
Antonio Miguel Vieira Monteiro<sup>1</sup>  
Camilo Daleles Rennó<sup>1</sup>  
Flavia de Toledo Martins<sup>1</sup>  
Ricardo José de Paula Souza e Guimarães<sup>2,6</sup>  
Ana Clara Mourão Moura<sup>5</sup>  
Ronaldo Guilherme Carvalho Scholte<sup>2,6</sup>  
Ronaldo Santos Amaral<sup>3</sup>  
Sandra Costa Drummond<sup>4</sup>  
Omar dos Santos Carvalho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE  
Caixa Postal 515 – 12202-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{ffonseca,corina,dutra, miguel,camilo,flavinha}@dpi.inpe.br, tatiana@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas René Rachou/FIOCRUZ-MG  
{ricardo, ronaldo,omar}@cpqrr.fiocruz.br

<sup>3</sup> Secretaria de Vigilância em Saúde/MS  
ronaldo.amaral@funasa.gov.br

<sup>4</sup> Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais  
sandra.drummond@saude.gov.br

<sup>5</sup> Laboratório de Geoprocessamento-IGC-UFGM  
anaclara@ufmg.br

<sup>6</sup>Programa de Pós-Graduação da Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte, MG, Brasil

**Abstract.** The aim of this paper is to propose and assess a hydrological index, denominated here hydrological mobility index (MH), potentially capable of explaining the geographical distribution of schistosomiasis. The index was established through of the interaction with slope data, climatic data and water accumulation area, using data derived from remote sensing and geographic information system, integrated at municipality level. This index tries to reflect the fact that the rapid movement of water displaces the snails, preventing them of fixing possible points at rivers borders and ponds. The hydrological mobility index is used to establish a relationship with the prevalence of schistosomiasis in fourteen municipalities of the state of Minas Gerais, Brazil.

**Palavras-chave:** geoprocessing, remote sensing, geographic information systems, schistosomiasis, hydrological factors, geoprocessamento, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica, esquistossomose, fatores hidrológicos.

## 1. Introdução

A esquistossomose é uma doença endêmica causada pelo *Schistosoma mansoni* e possui um ciclo bem definido. Este ciclo tem a água como meio utilizado pelo parasita para infectar o homem (hospedeiro principal). Este, por sua vez, através de suas fezes contaminadas em contato com a água infecta o caramujo do gênero *Biomphalaria* (hospedeiro intermediário). Desse modo, a doença depende da existência de corpos de água e da distribuição do molusco para sua transmissão.

O objetivo principal deste trabalho é produzir um parâmetro ambiental que reflita as condições de disseminação do molusco nos corpos d'água, e correlacionar este parâmetro com a prevalência da esquistossomose. Para isso, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG), para a integração dos dados de declividade, precipitação e mapa de acumulação hídrica, com o intuito de obter um mapa com os locais de mobilidade hídrica potencial nos períodos de verão e inverno.

Uma vez que a esquistossomose é uma doença determinada no espaço e no tempo por fatores ambientais, o SIG é uma ferramenta muito útil que pode ser empregada para melhor conhecer a distribuição espacial da prevalência da doença e de seus hospedeiros intermediários. A utilização de SIG e Sensoriamento Remoto (SR) na identificação de características ambientais permitem determinar e identificar, respectivamente, os fatores e as áreas de risco. Desse modo, o auxílio dessas ferramentas possibilitará indicar uma melhor distribuição de recursos que permitam um direcionamento mais adequado para o controle da doença (Carvalho et al., 2005).

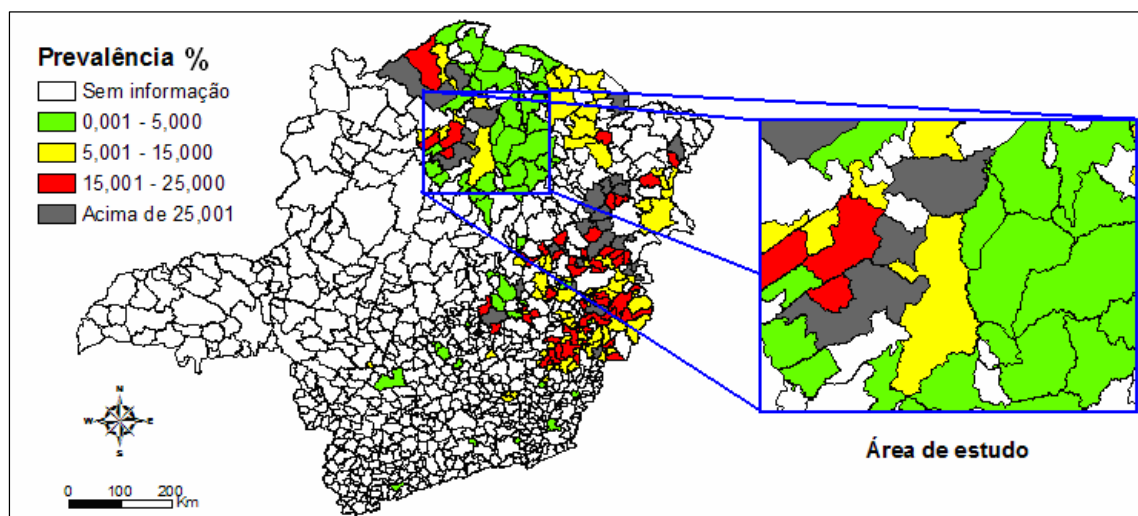
No Estado de Minas Gerais, a distribuição da esquistossomose é irregular, intercalando-se áreas de maior prevalência com outras, onde a transmissão é baixa ou nula. A doença é endêmica nas regiões norte (compreendendo as zonas do Médio São Francisco e Itacambira), oriental e centro (zonas do Alto Jequitinhonha, Metalúrgica, Oeste e Alto São Francisco). Os maiores índices de infecção são encontrados nas regiões nordeste e leste do Estado que compreendem as zonas do Mucuri, Rio Doce e da Mata (Pellon & Teixeira 1950, Carvalho et al. 1987).

A pesquisa propõe aplicações dos recursos de geoprocessamento para promover a integração de um conjunto de dados provenientes de SR com ferramentas de análise espacial, caracterizando a distribuição da esquistossomose em quatorze municípios do Estado de Minas Gerais.

## 2. Materiais

O Estado de Minas Gerais localiza-se na região sudeste do Brasil e é dividido politicamente em 853 municípios numa área cerca de 590.000 km<sup>2</sup>, com população aproximada de 18 milhões de habitantes que vivem sob clima tropical (IBGE, 2000).

A área de estudo do trabalho está compreendida entre as latitudes de 16° S a 17° S e as longitudes de 43° W a 45° W. Esta área possui quatorze municípios do Estado de Minas Gerais (Figura 1) com informações de prevalência de esquistossomose. São eles: Bocaiúva, Brasília de Minas, Capitão Enéas, Claro das Poções, Coração de Jesus, Francisco Sá, Ibiaí, Icarai de Minas, Itacambira, Juramento, Lagoa dos Patos, Mirabela, Montes Claros, e Ubaí.



**Figura 1:** Municípios de Minas Gerais e suas informações de prevalência de esquistossomose, destacando-se a área de estudo.

Segundo dados da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, a área em estudo (**Figura 1**) possui dados históricos sobre focos de esquistossomose. Os dados foram espacializados e cruzados com a finalidade de identificar áreas que possuam maior probabilidade de ocorrência da doença por serem áreas úmidas e/ou alagadas, mas com baixa mobilidade de água em pelo menos parte ano, de tal forma que possam surgir poças ou águas calmas.

Os dados cadastrais correspondentes à prevalência da doença (porcentagem dos casos positivos da doença em relação à população total do município) foram cedidos pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Segundo metodologia da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, os dados de prevalência se tornam disponíveis quando são analisados no mínimo 80% da população. Desta forma, neste trabalho, considera-se como informação de prevalência estes dados disponibilizados pela Secretaria.

Os dados de precipitação das épocas de verão (período de 17/01/2002 a 01/02/2002) e de inverno (período de 28/07 a 12/08/2002) foram obtidos através da plataforma de coleta de dados do CPTEC/INPE. Os dados de precipitação acumulada desse período (em milímetros), foram reamostrado para 90 x 90 m para ficar equivalente ao tamanho do pixel das imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), através do interpolador bilinear.

Os atributos relativos à altimetria foram gerados a partir do SRTM /USGS, com 90 m de resolução.

### 3. Metodologia

Inicialmente foi gerado um mapa de acumulação hídrica (área acumulada a montante) a partir dos dados de altimetria do SRTM, o qual mediu em cada ponto de uma bacia hidrográfica, os caminhos possíveis que a água pode transcorrer ao atingir esse determinado ponto (Moura et al., 2005).

O SIG utilizado neste trabalho foi o SPRING (Câmara et al, 1996). Através da integração dos dados de declividade, precipitação e mapa de acumulação hídrica foi obtido um mapa com os locais de mobilidade hídrica potencial nos períodos de verão e inverno. A partir dos dados de mobilidade hídrica gerados, foram realizadas análises com a finalidade de identificar as áreas mais propícias à presença da doença. Para isso, todos os dados foram reamostrados para resolução equivalente a 90 m.

A combinação de informações foi realizada através da ferramenta LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico), do SPRING, uma linguagem de consulta e manipulação de dados.

### 3.1 Elaboração de dados a partir da linguagem LEGAL

Para o cálculo da mobilidade hídrica do verão (MH\_V) e do inverno (MH\_I) foram utilizados as seguintes equações:

$$MH\_V = \text{Log}(\text{area\_acumulada}) * \tan(\text{declividade}) * \text{precipitação\_verão} \quad (1)$$

$$MH\_I = \text{Log}(\text{area\_acumulada}) * \tan(\text{declividade}) * \text{precipitação\_inverno} \quad (2)$$

onde  $\text{Log}(\text{area\_acumulada})$  refere-se ao logaritmo na base 10 da área acumulada (em pixels),  $\tan(\text{declividade})$  à tangente da declividade local (em graus),  $\text{precipitação\_verão}$ , e  $\text{precipitação\_inverno}$  às precipitações acumuladas (em milímetros) nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

Este índice destina-se a estimar a capacidade de enxágüe provocada pelas coleções hídricas com potencial para hospedagem do molusco. Quanto maior for a quantidade de água (determinada pela área acumulada, inclinação e pluviosidade), maior será a chance de deslocar os moluscos transmissores.

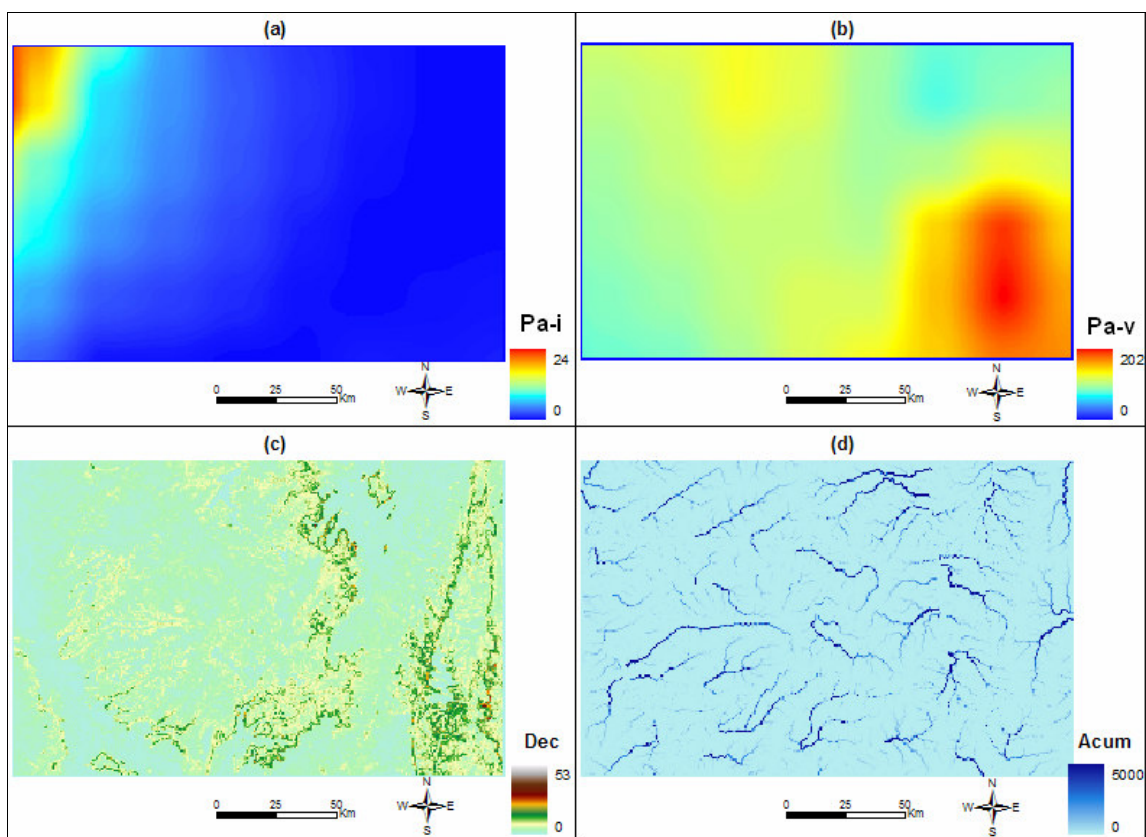
### 3.2 Correlação com a doença

Com o intuito de verificar a existência de alguma relação entre os MH gerados e a doença, foram calculadas correlações entre a prevalência da doença e os índices propostos. Para isso, elaborou-se no programa em LEGAL a média dos MH\_V e MH\_I para os municípios em estudo.

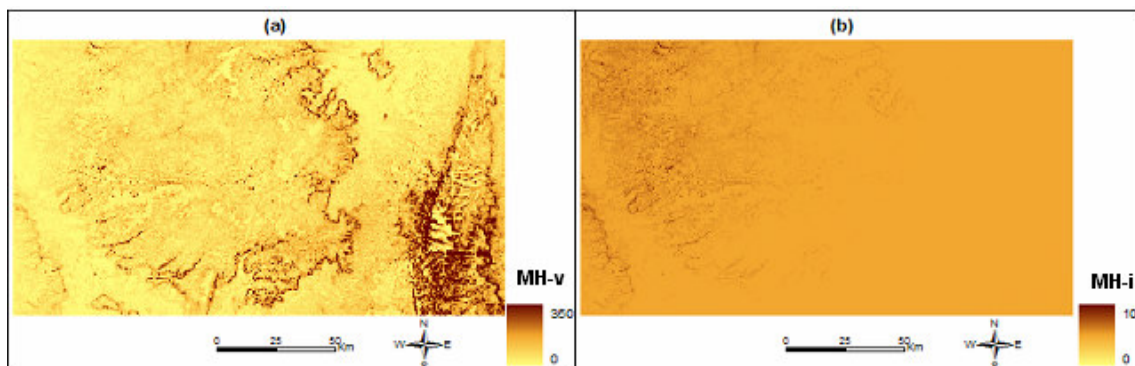
Para a análise da correlação foi efetuada uma transformação logarítmica na variável prevalência, com a finalidade de se obter relações lineares com os índices de mobilidade hídrica.

## 4. Resultados e discussões

Na **Figura 2**, são apresentados os mapas de precipitação acumulada do inverno e do verão, o mapa de declividade e o mapa de acumulação hídrica da região de estudo, os quais foram utilizados para construir os índices de mobilidade hídrica através das Equações (1) e (2). Estes índices são apresentados na **Figura 3**, e fornecem indicativos sobre o padrão sazonal da mobilidade hídrica. Durante o verão, quando o nível de precipitação é muito mais alto, observa-se maior intensidade da movimentação da água na região sudeste da área de estudo. No inverno, esta mobilidade desaparece devido à diminuição no nível de precipitação.



**Figura 2:** (a) Precipitação acumulada do inverno, (b) Precipitação acumulada do verão, (c) declividade e (d) acumulação hídrica.

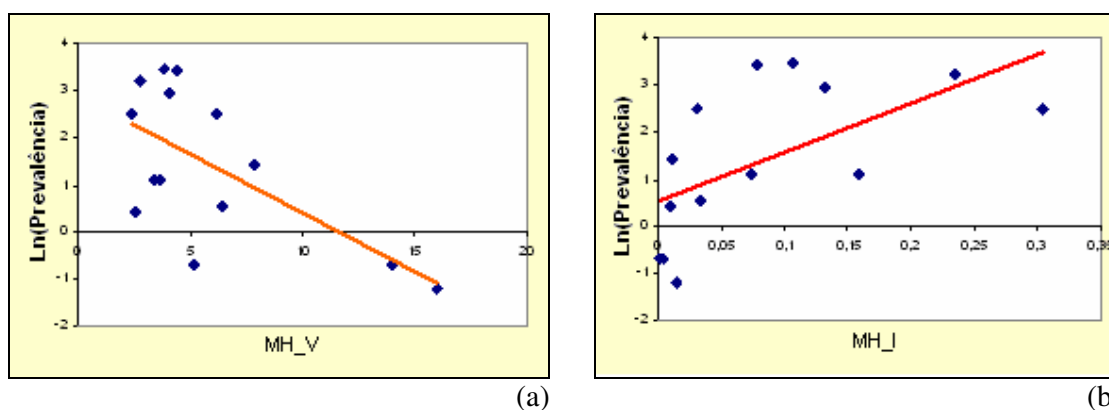


**Figura 3:** (a) Imagem do MH\_V e, (b) Imagem do MH\_I.

Os valores de prevalência da doença e os MH médios gerados são apresentados na **Tabela 1** para cada um dos 14 municípios da área de estudo. As relações entre os MH e o logaritmo da prevalência de esquistossomose são mostradas na **Figura 4**, e a matriz de correlação é apresentada na **Tabela 2**.

**Tabela 1:** Dados de prevalência, MH\_V e MH\_I.

Municípios	Prevalência	MH_V	MH_I
Bocaiúva	4,2	7,854	0,011
Brasília de Minas	18,4	4,078	0,132
Capitão Enéas	1,5	2,556	0,010
Claro dos Poções	1,7	6,451	0,034
Coração de Jesus	30,8	3,884	0,107
Francisco Sá	0,5	5,199	0,001
Ibiaí	3,0	3,452	0,158
Icará de Minas	12,2	2,423	0,304
Itacambira	0,3	15,990	0,015
Juramento	0,5	13,969	0,004
Lagoa dos Patos	3,0	3,644	0,075
Mirabela	30,0	4,448	0,078
Montes Claros	12,3	6,208	0,031
Ubaí	24,3	2,777	0,234



**Figura 4** - Logaritmo da Prevalência versus (a) índice de mobilidade hídrica de verão (b) índice de mobilidade hídrica do inverno.

**Tabela 2** - Matriz de correlação do Logaritmo da Prevalência e dos MH.

Variável	Ln(Prevalência)	MH_V	MH_I
Ln(Prevalência)	1,0000	-0,6468	0,6028
MH_V	-0,6468	1,0000	-0,5424
MH_I	0,6028	-0,5424	1,0000

Malone (2001), trabalhando na Etiópia, menciona que a transmissão da esquistossomose ocorre primariamente durante a estação de seca, quando o fluxo das águas diminui e ocorre a formação de poças, permitindo uma maior concentração de caramujos e um aumento do acesso e do contato do homem com águas infectadas. O volume e a velocidade do fluxo das águas durante a estação de chuvas possuem o efeito de carregar os caramujos para outros habitats, dispersando-os e não permitindo que os mesmos se fixem às bordas dos rios e poças. Estes fatores, portanto, explicam o motivo pelo qual a prevalência da doença seja diretamente relacionada aos índices de mobilidade hídrica do inverno e inversamente relacionada no verão. Tomando-se os dois fatores em conjunto, poder-se-ia dizer que o padrão de dispersão e

propagação dos caramujos durante as estações chuvosas (verão), seguidos por períodos de seca (inverno) com habitats estáveis, de pouco fluxo das águas e de fácil acesso humano às águas infectadas, associados à alta subsistência da população de caramujos, favorecem o ciclo de vida e a transmissão do *Schistosoma mansoni*.

Apesar de ser um estudo preliminar, os resultados encontrados sugerem que tais índices podem se tornar uma variável indispensável para estudos de ocorrência e previsão da prevalência da esquistossomose no estado de Minas Gerais.

## 5. Agradecimentos

Os autores reconhecem o suporte do CNPq (processos 384467/2006-7; 305546/2003-1; 380203/2004-9; 304274/2005-4); Fapemig (processo EDP 1775/03; EDT 61775/03; CRA 0070/04).

## 6. Referências bibliográficas

Câmara, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Elmsford, Computers & Graphics*, v.20, n.3, p. 395-403, May-Jun, 1996.

Carvalho O. S. et al. Expansão da esquistossomose mansoni em Minas Gerais. **Memorial do Instituto Oswaldo Cruz**, 82 (Supl. IV), 1987, 295-298.

Carvalho, O. S.; Dutra, L. V.; Moura, A. C. M.; Freitas, C. C.; Amaral, R. S.; Drummond, S. C.; Freitas, C. R.; Scholte, R. G. C.; Guimarães, R. J. P. S.; Melo, G. R.; Ragoni, V.; Guerra, M. Desenvolvimento de um sistema de informações para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Comunicações, p. 2083-2086. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>. Acesso em: abril, 2006.

Malone, J.B.; Yilma, J.M.; McCarroll, J.C.; Erko, B.; Mukaratirwa, S.; Zhou, X. Satellite climatology and the environmental risk of *Schistosoma mansoni* in Ethiopia and east Africa., **Acta Tropica** 79, p. 59-72, 2001

Moura, A. C. M.; Freitas, C. R.; Dutra, L. V.; Melo, G. R.; Carvalho, O. S.; Freitas, C. C.; Amaral, R. S.; Scholte, R. G. C.; Drummond, S. C.; Guimarães, R. J. P. S. Atualização de mapa de drenagem como subsídio para montagem de SIG para a análise da distribuição da esquistossomose em Minas Gerais. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3551-3558.

Pellon, B., Teixeira, I. Distribuição da esquistossomose mansônica no Brasil. Congresso Brasileiro de Higiene, 8. Recife, Brasil. **Anais...** Divisão de Organização Sanitária, Rio de Janeiro, 1950, 117p.