

## **Análise epidemiológica da malária e as relações com variáveis ambientais em quatro municípios do Amazonas, Brasil.**

Bruna Raquel Wolfarth <sup>1</sup>  
Naziano Filizola <sup>2</sup>  
Wanderli Tadei <sup>3</sup>  
Laurent Durieux <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – CLIAMB, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus - Brasil.

[brunaprojetoslba@gmail.com](mailto:brunaprojetoslba@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus - Brasil.

[naziano.filizola@gmail.com](mailto:naziano.filizola@gmail.com)

<sup>3</sup> Laboratório Dengue e Malária, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus – Brasil.

[wptadei@gmail.com](mailto:wptadei@gmail.com)

<sup>4</sup> UMR ESPACE-DEV, Institut de Recherche pour le Développement – IRD. Montpellier, France

[laurent.durieux@ird.fr](mailto:laurent.durieux@ird.fr)

**Resumo.** Este trabalho constitui numa análise epidemiológica espacial, temporal e estatística sobre a ocorrência da malária nos municípios de: Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus. Utilizaram-se dados de 2003 a 2009 de: chuva, nível d'água, temperatura e número de casos de malária. Aplicou-se estatística de Correlação de Spearman para examinar a relação entre variáveis meteorológicas e hidrológicas com os casos de malária. Os resultados epidemiológicos da malária exibem uma distribuição heterogênea entre os municípios e variam ao longo dos anos em maior e menor transmissão, inclusive em anos influenciados por eventos climáticos extremos. Os municípios com o maior risco de aquisição da malária foram Manacapuru e Coari, respectivamente. Observa-se o aumento das notificações de casos da doença no período da estação seca, principalmente a partir do mês de agosto, exibindo registros mais concentrados na época de estiagem da precipitação. Picos sazonais da malária apresentam-se em média 1 a 2 meses antes da temperatura máxima anual e após as cheias dos rios. Observaram-se fenômenos chamados repiquete (eventos especiais nas variações do nível do rio) que exibiram duração total de 9 a 56 dias. Os resultados apresentam correlação significativa entre os casos de malária, temperatura, precipitação e nível d'água. A temperatura apresentou a menor influência sobre a malária, e a precipitação o fator mais importante, principalmente para o município de Coari. O nível d'água apresentou influência importante sobre os casos de malária para Manacapuru.

**Palavras-chave:** Malária, temperatura, precipitação, nível d'água, repiquete e Amazônia.

### **1. Introdução**

A malária é uma doença endêmica de 109 países reconhecida como um grave problema de saúde pública no mundo. No Brasil, a doença apresenta elevado risco de transmissão principalmente na região da Amazônia legal cuja condição climática e ambiental é extremamente favorável à ocorrência elevada da malária (Tadei et al., 1998).

Estudos afirmam que a malária está intimamente relacionada com as variáveis meteorológicas bem como a influência do regime hidrológico (Hay et al., 2004; Stefani et al., 2011; Basurko et al., 2011).

Segundo Patz et al. (2005), a malária é extremamente sensível ao clima, no entanto as doenças vetoriais não estão limitadas apenas a aspectos climáticos. Paralelos a esses fatores estão além dos altos índices de pluviosidade, a cobertura vegetal associada aos fatores como: agressões ao ambiente, desmatamento de áreas extensas, construções de hidrelétricas, dentre outros que favorecem a proliferação do vetor.

Estudos sobre a distribuição epidemiológica e os possíveis impactos da malária ao homem ainda são considerados subestimados, uma vez que há poucos trabalhos sobre a relação epidemiológica com impactos antrópicos (Barbosa, 2008).

A malária na Amazônia legal encontra condições favoráveis para ter sua densidade elevada por conta das alterações no uso do solo, exposição solar do criadouro do vetor e à dinâmica dos rios Amazônicos que apresentam papel fundamental na flutuação dos casos de malária. Assim este trabalho avaliou as relações de variáveis meteorológicas e hidrológicas como: nível d'água, temperatura e precipitação, verificando o quanto elas influenciam no aumento do número de casos de malária, deste modo buscando contribuir para a formulação de políticas públicas no que diz respeito à determinação de áreas de risco para a malária.

## 2. Metodologia

A bacia do rio Amazonas é a maior bacia hidrográfica do mundo possuindo uma área estimada de 6,3 milhões de km<sup>2</sup> (Filizola et al., 2002). A Amazônia encontra-se numa região tropical de clima quente e úmido, precipitação média de 2300 mm/ano e uma pequena variação sazonal de temperatura (Fisch et al., 1998). O regime hidrológico da bacia é caracterizado por um período de águas altas de maio a agosto, com um pico de cheia observado em junho e julho. Os eventos de águas baixas são registrados entre os meses de setembro e outubro (Filizola et al., 2006). O período de águas altas é caracterizado por um pulso de inundação causando o transbordamento do canal principal do rio e inundação de uma grande extensão da floresta Amazônica (Junk, 1997).

As localidades que foram objeto de estudo estão situadas num trecho do Rio Solimões e Negro (figura 1). Foram escolhidos 4 municípios do estado do Amazonas: Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus que exibem área particularmente relevante devido às representações sociais e ambientais para a dinâmica da malária, existentes na Amazônia, com boa qualidade de dados, temporalidade e espacialidade coerente dos mesmos.

Os dados de registros de malária (número de casos) foram obtidos da base de dados do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica da Malária (SIVEP-Malária) em escala mensal, tanto casos de malária total e casos de malária por espécie (*Plasmodium vivax* e *Plasmodium falciparum*).

Os dados de nível d'água foram obtidos do banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas) oriundos de estações hidrométricas dispostos em uma escala diária e transformados em escala média mensal. As estações fluviométricas utilizadas foram as seguintes: 13150003 (Coari) no Rio Solimões, 13155000 (Codajás) no Rio Solimões, 14100000 (Manacapuru) no rio Solimões e 14990000 (Manaus) no Rio Negro.

Os dados de temperatura de superfície foram obtidos do satélite ambiental Terra/Modis (NASA) em escala média mensal. E dados de precipitação foram obtidos pelo GPCP – Global Precipitation Climatology Program em escala média mensal.

Utilizou-se o teste de correlação de Spearman no programa estatístico BioEstat 5.0 disponível gratuitamente ([bioestat.software.informer.com/download](http://bioestat.software.informer.com/download)) para analisar as relações das variáveis ambientais (nível d'água, temperatura e precipitação) com os casos de malária.

### 3. Resultados e discussão

Os casos de malária apresentaram distribuição heterogênea entre os municípios e variaram ao longo dos anos (figura 2). Anos que estavam sob influência de eventos extremos de El Niño, La Niña, inundação e seca atípicos sobre a hidrologia da Bacia Amazônica exibiu características distintas, porém com bastante similaridade entre os municípios. Os anos de 2003, 2005 e 2007 apresentaram os casos de malária mais elevados, e os anos de 2008 e 2009 foram marcados pela atenuação dos casos de malária.

Para os municípios de Coari e Manaus, os casos de malária para o ano de 2003 encontraram-se bastante pronunciados em relação a 2004. Essa diferença no número de registros pode ser possivelmente relacionada com a ocorrência de El Niño Oscilação Sul (ENOS fase de aquecimento) no ano de 2003. Em algumas regiões, o El Niño desempenha papel fundamental no aumento do risco de doenças transmitidas por vetores, como a malária (Kovats et al., 2003; Bhattacharya et al., 2006). Em 2005 grandes extensões da Amazônia ocidental experimentaram uma das secas mais intensas dos últimos 100 anos exibindo chuvas abaixo da média causando queda nos níveis d'água (Marengo, 2008), de forma que os municípios de Coari, Codajás e Manaus, neste mesmo ano, apresentaram casos de malária bem mais elevados em relação aos anos anteriores. Os anos de 2008 e 2009 apresentaram aumento progressivo da precipitação sobre os municípios estudados sendo que em 2009, na região Amazônica, houve a ocorrência do fenômeno de La Niña, variação de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no Atlântico (conforme boletins do SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia) e de uma cheia hidrológica histórica. A La Niña apresenta características de intensificar a precipitação na região (Marengo e Oliveira, 1998) e influenciar os casos de malária que são exibidos abaixo da média (Bhattacharya et al., 2006).

Sabe-se que municípios da região Amazônica demonstram variação na transmissão da malária entre alto, médio e baixo risco, bem como a oscilação do número de casos de malária durante os anos e a sazonalidade de transmissão da doença. Na Amazônia é observada a sazonalidade da endemia entre os meses de junho à setembro, período da estação seca na região (Hayes & Charlwood, 1979).

Para os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus a sazonalidade de transmissão da malária foi observada no período da estação seca principalmente a partir do mês de julho e agosto. Na maioria dos anos os dados de malária e de precipitação apresentaram-se em fases opostas. Os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus exibiram períodos chuvosos a partir de dezembro até maio, e menor intensidade de chuvas a partir de julho até novembro (Figura 3).

As Variáveis meteorológicas como chuva e temperatura do ar, apresentam um peso específico na ocorrência e transmissão da malária na região (Saéz-Saéz et al., 2007). A relação da malária e clima na Amazônia é caracterizada justamente pela temperatura e umidade do ar elevadas, constituindo fator importante no ciclo de vida dos mosquitos de espécie *Anopheles darlingi*. Na região tropical, a temperatura apresenta pouca variação anual favorecendo a transmissão ininterrupta da malária o ano todo.

As temperaturas médias mensais dos municípios variaram entre 21 °C a 29,5 °C para todo o período estudado, compreendendo valores dentro das condições ideais de temperatura para o desenvolvimento do mosquito vetor da malária como observado por Martens et al. (1995). Na figura 4 é observado que os meses que apresentam os maiores registros de temperatura são os meses de agosto, setembro e outubro. De acordo com Martens et al. (1995) a temperatura ótima para o desenvolvimento do vetor está entre 20 °C a 30 °C. Temperaturas mais elevadas diminuem o tempo de vida do mosquito, de modo que explica os picos da malária que

ocorrem antes da temperatura máxima registrada, e logo em seguida o decaimento da transmissão (temperaturas médias podem omitir valores superiores a 30 °C).

Assim como a precipitação e a temperatura, os rios amazônicos bem como as variações no nível d'água estabelecem grande influência na flutuação da densidade vetorial (Barros e Honório, 2007; Magris et al., 2007). A sazonalidade e abundância das chuvas provocam flutuações nos níveis d'água dos rios que em determinadas épocas do ano apresentam pulsos de inundação, gerado pelo transbordamento do rio principal, lugares favoráveis para a reprodução do mosquito vetor da malária e locais de potencial habitat larval (Basurko et al., 2011).

Os casos de malária estudados exibiram seus picos sazonais numa média de 1 a 2 meses após as cheias dos rios. De acordo com Stefani et al. (2011), as águas altas (níveis máximos dos rios) podem causar inundações, principal para formação de criadouros adequados para o vetor. Assim, um aumento da abundância larval anofélica pode aumentar os relatos de transmissão da malária. Na área do presente estudo, os meses que foram observados a elevação dos níveis d'água do rio foi a partir de novembro até o máximo nível d'água evidenciado no mês de junho (figura 5).

Os resultados estatísticos apresentam uma correlação estatisticamente significativa entre os casos de malária, temperatura, precipitação e nível d'água (Tabela 1). Em relação à temperatura é observado que a maior parte das correlações aconteceu em anos influenciados por extremos climáticos e características de diferentes variáveis meteorológicas e hidrológicas. Em 2003 a Amazônia pôde experimentar um fenômeno El Niño considerado moderado (Nascimento e Mascarenhas Júnior, 2009). Em 2005 a Amazônia foi influenciada por uma seca muito intensa e com aumento de temperatura, mas apesar da região central não ter sido seriamente afetada pela seca possivelmente as condições como o evento foi exibido podem ter sido favoráveis para o aumento de casos de malária. Em 2009 foi notado que as temperaturas foram as maiores nas médias anuais.

Os resultados estatísticos mostram que a precipitação é a variável que apresenta mais correlações com a malária, principalmente no município de Coari que exibiu correlação praticamente em todos os anos de estudo (com exceção de 2009). A precipitação é uma variável que melhor descreve e modula a sazonalidade da malária bem mais que a temperatura. De acordo com Briët et al. (2008), a sazonalidade das chuvas podem ser preditoras da sazonalidade da transmissão da doença. E segundo Olson et al. (2009), a precipitação conduz ao risco da malária, mas pode variar ao longo da bacia.

A relação estatística dos dados de nível d'água e malária indicou uma relação muito importante entre as variáveis. Observou-se que o município de Manacapuru foi o único a apresentar correlação com o nível d'água para quase todos os anos, com exceção do ano de 2009. Este mesmo município é bastante influenciado por lagos e lagoas de água preta comprovando coerência nos resultados estatísticos de que o nível d'água influencia em casos de malária. Segundo Girod et al. (2011), as características da paisagem podem explicar flutuações sazonais e regionais de *A. darlingi* que podem ou não se relacionar com os níveis dos rios ou precipitação.

#### **4. Conclusões**

De todas as variáveis a precipitação foi o fator mais importante conforme evidenciado, principalmente, no município de Coari, e a temperatura a mais fraca influência. O nível d'água exibiu influência importante sobre os casos de malária como evidenciado para o município de Manacapuru, o qual foi atribuído o 1º lugar com o maior risco de transmissão da malária.

A precipitação, temperatura e nível d'água não são os únicos fatores que podem determinar a transmissão da doença, que é muito complicada. Um melhor entendimento sobre os impactos das mudanças climáticas, variação hidrológica, características geográficas, estudos ecológicos e epidemiológicos detalhados ainda são necessários para avaliar o risco real local.

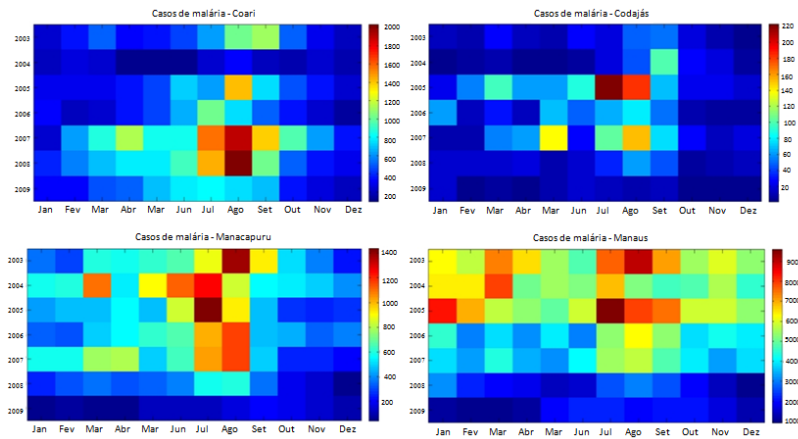
### **Agradecimentos**

Este trabalho foi financiado pela FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas) e IRD (Instituto de pesquisa e desenvolvimento Francês). Nossos agradecimentos também ao programa HYBAM (Controle geodinâmico, hidrológico e biogeoquímico da erosão/alteração do material de transporte da bacia Amazônica), Universidade Estadual do Amazonas (UEA), ao Programa de pós-graduação em clima e ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (PPG – CLIAMB/INPA) e ao Dr. Rodrigo Ferreira Souza pelo apoio com os dados do GPCP.

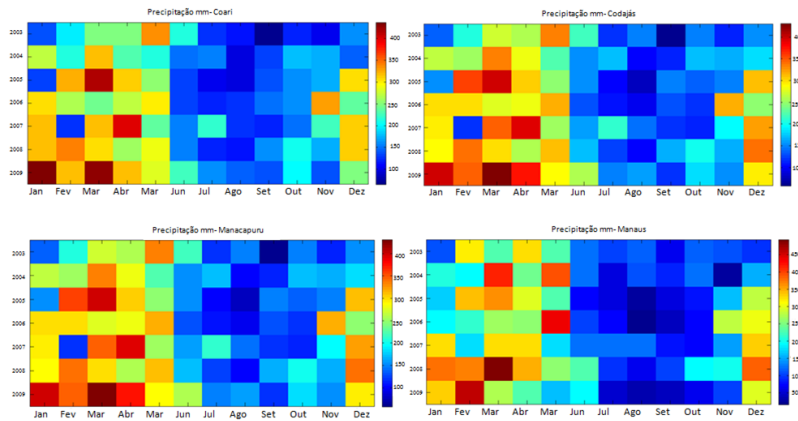
### **Referências**

- Barbosa, W. B. 2008. Levantamento epidemiológico de malária na cidade de Manaus em 2005. **R. Ci. Md. Biol., Salvador**, 7(2): 156-162.
- Barros, F. S. M & Honório, N. A. 2007. Man biting rate seasonal variation of malaria vectors in Roraima, Brazil. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 102(3): 299-302.
- Basurko, C.; Hanf, M.; Han-Sze, R.; Rogier, S.; Hérítier, P.; Grenier, C.; Joubert, M.; Nacher, M.; Carme, B. 2011. Influence of climate and river level on the incidence of malaria in Cacao, French Guiana. **Malaria Journal**, 10(26): 1-7.
- Bhattacharya, S.; Sharma, C.; Dhiman, R. C.; Mitra, A. P. 2006. Climate change and malaria in India. **Current Science** 90(3) : 369-375.
- Briët, O. J. T.; Vounatsou, P.; Amerasinghe, P. H. 2008. Malaria seasonality and rainfall seasonality in Sri Lanka are correlated in space. **Geospatial Health** 2 (2) : 183-190.
- Filizola, N.; Guyot, J. L.; Molinier, M.; Guimarães, V.; Oliveira, E.; Freitas, M. A. 2002. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: Rivas, A & Freitas, C. E. de C. **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**. Ed. EDUA, 33-53 p.
- Filizola, N.; Vicente, A. S.; Santos, A. M. C.; Oliveira, M. A. 2006. Cheias e secas na Amazônia: breve abordagem de um contraste na maior bacia hidrográfica do globo. **T & C Amazônia**, ano IV, 9:42-49.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, 28(2): 101-126.
- Girod, R.; Roux, E.; Berger, F.; Stefani, A.; Gaborit, P.; Carinci, R.; Issaly, J.; Carme, B and Dusfour, I. 2011. Unraveling relationships between *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) densities, environmental factors and malaria incidences: Understanding variable patterns of transmission in French Guiana (South America). **Annals of Tropical Medicine & Parasitology**. In press.
- Hay, S. I.; Guerra, C. A.; Tatem, A. J.; Noor, A. M.; Snow, R. W. 2004. The global distribution and population at risk of Malaria: past, present and future. **The Lancet Infectious Diseases** 4: 327-36.
- Hayes, J & Charlwood, J. D. 1979. Dinâmica estacional de uma população de *Anopheles darlingi*, numa área endêmica de malária no Amazonas. **Acta Amazônica**, 9(1):79-86.
- Junk, W. J. 1997. **The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System**. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

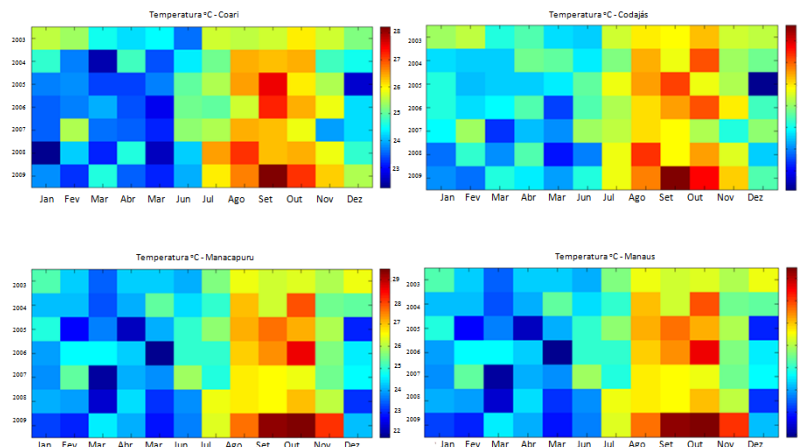




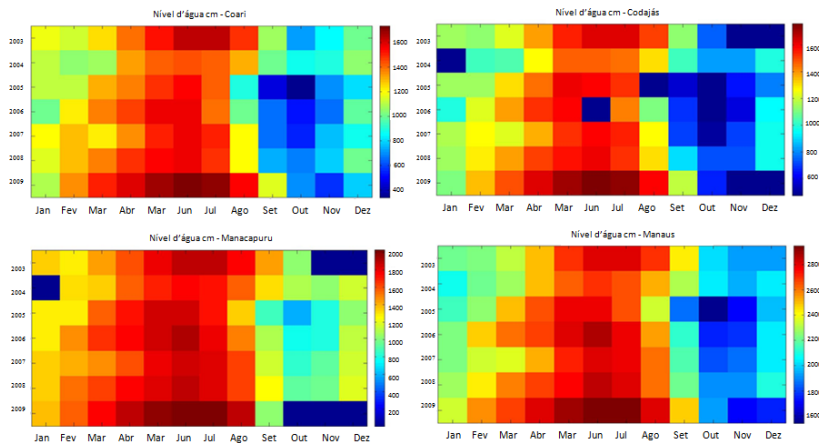
**Figura 2.** Distribuição mensal dos casos de malária para os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus para o período de 2003 a 2009. Cores do azul até o vermelho mostram o número correspondente de notificações para cada mês em seus respectivos anos.



**Figura 3.** Distribuição mensal da precipitação acumulada para os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus para o período de 2003 a 2009. Cores do azul até o vermelho mostram a quantidade de precipitação em mm para cada mês em seus respectivos anos.



**Figura 4.** Evolução mensal da temperatura para os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus para o período de 2003 a 2009. Cores do azul até o vermelho mostram a variação da temperatura em °C para cada mês em seus respectivos anos.



**Figura 5.** Série temporal dos dados de nível d'água dos municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus para o período de 2003 a 2009. O município de Codajás não apresentou dados para os meses de novembro e dezembro (2003), janeiro (2004), agosto (2005), junho (2006), novembro e dezembro (2009) e o município de Manacapuru para os meses de novembro e dezembro (2003), janeiro (2004), outubro, novembro e dezembro (2005). Cores do azul até o vermelho mostram a variação do nível d'água em cm para cada mês em seus respectivos anos.

**Tabela 1.** Resultados estatísticos da relação entre a malária (total e por espécie) com a temperatura, precipitação e nível d'água para os municípios de Coari, Codajás, Manacapuru e Manaus no período de 2003 a 2009. Valores que apresentam traço (-) não apresentam significância estatística ( $p$  valor  $>0,05$ ). Valores negativos, correlação negativa, e valores positivos, correlação positiva.

	Coari	Codajás	Manacapuru				Manaus			
<b>Temperatura</b>										
Ano	2005	2004	2006		2009		2003		2005	
rs mal	0,82	0,66	-		0,66		-		-	
rs P. f	0,81	0,7	0,66		-		0,82		0,72	
rs P. v	0,56	0,64	-		0,63		-		-	
<b>Precipitação</b>										
Ano	2005	2006	2008	2004	2006		2008		2009	
rs mal	-0,67	-0,66	-0,72	-0,67	-		-0,58		-0,84	
rs P. f	-0,72	-0,58	-0,76	-0,80	-0,90		-0,65		-	
rs P. v	-0,65	-0,65	-0,72	-0,61	-		-		-0,83	
<b>Nível d'água</b>										
Ano	2009		2007		2003	2004	2005	2006	2007	2008
rs mal	0,81		-		0,78	0,76	0,69	0,68	0,76	0,68
rs P. f	-		0,58		0,64	0,59	-	-	-	-
rs P. v	0,86		-		0,79	0,72	0,79	0,72	0,76	0,76

rs malária= Coeficiente de correlação da malária total.

rs P. f= Coeficiente de correlação da malária por *Plasmodium falciparum*.

rs P. v= Coeficiente de correlação da malária por *Plasmodium vivax*.