doi: 10.5123/S2176-6223202501777

Construção da usina hidrelétrica de Belo Monte no Brasil, transmissão de malária e políticas públicas

Construction of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant in Brazil, malaria transmission, and public policies

Izis Mônica Carvalho Sucupira[1*], Rebecca Chucre de Sousa[2*], José Lázaro de Brito Ladislau[3], Marcia Moraes Martins dos Santos[1], Sidney dos Reis Diniz[1,2], Gecilda Aparecida de Lima[4], Roberto Leandro da Silva[3], Ana Cecília Feio dos Santos[1], Marinete Marins Póvoa[1,2]

[1] *Instituto Evandro Chagas, Seção de Parasitologia, Ananindeua, Pará, Brasil*
[2] *Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários, Belém, Pará, Brasil*
[3] *Norte Energia S.A., Brasília, DF, Brasil*
[4] *Prefeitura Municipal de Senador José Porfírio, Senador José Porfírio, PA, Brasil*
[*] *Os autores contribuíram igualmente para este trabalho.*

RESUMO

OBJETIVO: Discutir o efeito da construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM) na transmissão de malária humana nos municípios diretamente afetados. MATERIAIS E MÉTODOS: Foram coletados dados sobre o número de casos de malária, o índice parasitário anual (IPA) e o número de mosquitos anofelinos nos municípios da área de influência da UHEBM. O período analisado foi dividido em pré-construção (2007–2010), construção (2011–2015) e pós-construção (2016–2024). Aplicou-se o teste Z para verificar diferenças entre os períodos quanto ao IPA e o número de mosquitos, além de regressão linear simples para avaliar a relação entre essas variáveis. RESULTADOS: Observou-se redução significativa do IPA entre os períodos de pré- e pós-construção ($p = 0,0171$) e entre construção e pós-construção ($p = 0,044$). Houve também redução significativa no número de mosquitos entre os períodos de pré- e pós-construção ($p = 0,0280$). Considerando apenas *Anopheles darlingi*, a diferença significativa foi observada entre os períodos de pré- e pós-construção ($p = 0,0313$) e entre construção e pós-construção ($p = 0,0455$). Identificou-se correlação entre o número de mosquitos e o IPA na região ($p = 0,016$; $R^2 = 0,32$), com correlações semelhantes em Anapu ($p = 0,002$; $R^2 = 0,497$) e Senador José Porfírio ($p = 0,001$; $R^2 = 0,528$), bem como nos testes restritos a *An. darlingi* ($p = 0,0093$; $R^2 = 0,37$). CONCLUSÃO: A construção da UHEBM demonstra que é possível controlar a transmissão da malária em contextos de transformação ambiental, desde que haja observância da legislação e integração de esforços entre as esferas públicas.

Palavras-chave: Malária; Centrais Hidrelétricas; Política de Saúde; Ecossistema Amazônico.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To discuss the effect of the construction of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant (UHEBM) on human malaria transmission in the directly affected municipalities. MATERIALS AND METHODS: Data were collected on the number of malaria cases, the annual parasite index (API), and the number of *Anopheles* mosquitoes in municipalities within the UHEBM area of influence. The study period was divided into pre-construction (2007–2010), construction (2011–2015), and post-construction (2016–2024). The Z-test was applied to assess differences in API and mosquito density among periods, and a simple linear regression was performed to analyze the relationship between these variables. RESULTS: There was a significant reduction in API between the pre- and post-construction periods ($p = 0.0171$) and between construction and post-construction ($p = 0.044$). A significant decrease was also observed in the number of mosquitoes between the pre- and post-construction periods ($p = 0.0280$). When *Anopheles darlingi* was analyzed separately, significant differences were found between the pre- and post-construction ($p = 0.0313$) and between the construction and post-construction ($p = 0.0455$) periods. A positive correlation was identified between the number of mosquitoes and API in the region ($p = 0.016$; $R^2 = 0.32$), with similar correlations in Anapu ($p = 0.002$; $R^2 = 0.497$) and Senador José Porfírio ($p = 0.001$; $R^2 = 0.528$), as well as in tests restricted to *An. darlingi* ($p = 0.0093$; $R^2 = 0.37$). CONCLUSION: The construction of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant illustrates that malaria transmission can be controlled in settings of environmental change, provided that legal requirements are followed and joint actions are undertaken across government levels.

Keywords: Malaria; Hydroelectric Power Plants (Environmental Health); Health Policy; Amazonian Ecosystem.

Nota: Resultado parcialmente derivado da dissertação "*Análise da transmissão da malária na área de influência direta da hidrelétrica de Belo Monte, Estado do Pará*" de autoria de Rebecca Chucre de Sousa, sob orientação por Marinete Marins Póvoa, defendida e aprovada em 15 de Fevereiro de 2023 para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia de Agentes Infeciosos e Parasitários, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará.

Correspondência / Correspondence:
Ana Cecília Feio dos Santos
Laboratório de Entomologia de Malária, Seção de Parasitologia (SAPAR), Instituto Evandro Chagas (IEC/SVSA/MS), Rodovia BR 316, Km 7, S/N, Levilândia, Ananindeua, Pará, Brasil. – Tel.: + 55 91 3214-2148 – Email: ceciliafeio@gmail.com

INTRODUÇÃO

A malária é uma doença infecciosa aguda e um relevante problema de saúde pública nos países onde ocorre sua transmissão. Sua distribuição e prevalência são favorecidas por fatores sociais, ambientais e ecológicos, entre outros[1,2]. Diante desse cenário, há necessidade da atuação de diferentes setores, o que resulta em políticas públicas voltadas ao controle ou eliminação da transmissão e, principalmente, à sustentação das estratégias estabelecidas e dos êxitos já alcançados[3].

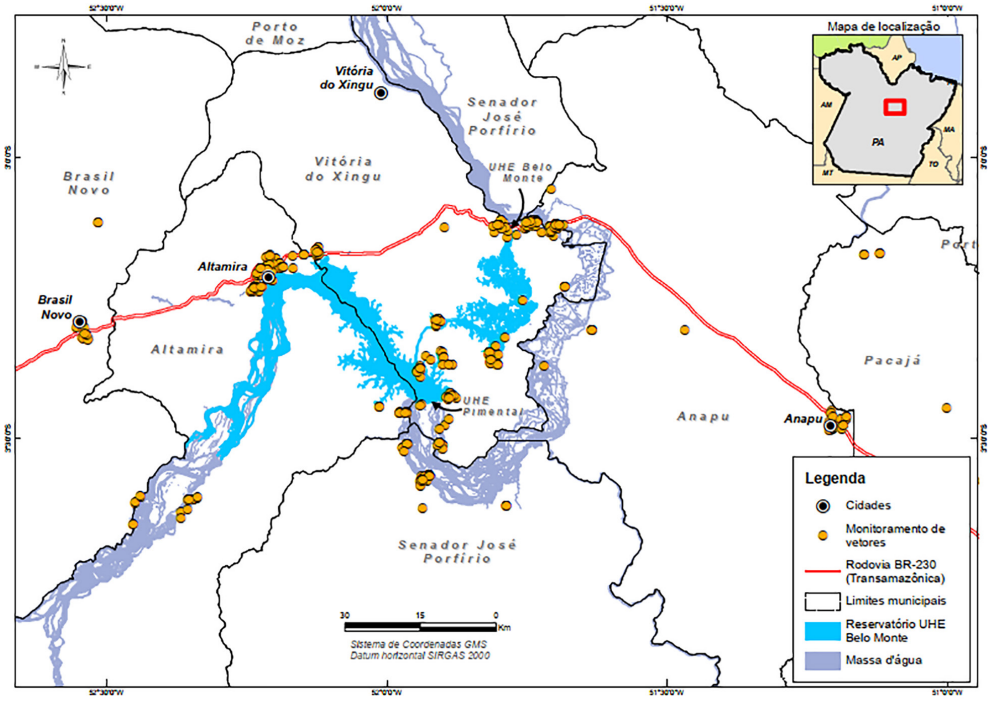
O controle da transmissão da malária segue dois pilares: diagnóstico laboratorial e tratamento correto e oportuno, integrados à vigilância e ao controle vetorial, conforme preconizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Ministério da Saúde do Brasil. No entanto, outros fatores, como local e condições de moradia, informação inadequada sobre a doença e sobre as ferramentas de controle disponíveis para a população sob risco, infraestrutura e distância dos serviços de saúde, qualificação dos profissionais envolvidos na prevenção e controle da doença, monitoramento da eficácia e efetividade das estratégias de controle e existência de um sistema de informação eficiente, podem interferir no sucesso dos programas de combate à malária nos países[4].

No Brasil, a malária é endêmica na região Amazônica, apresentando distribuição heterogênea e variações de prevalência ao longo das décadas, sendo o controle realizado pelos níveis municipal, estadual e federal. Ao longo do tempo, alguns marcos foram importantes no controle da transmissão da doença, com o objetivo de reduzir sua morbidade e mortalidade. Já no século XX, foi eliminada a transmissão dessa endemia em grande parte do território nacional, ficando restrita à região Amazônica, sendo posteriormente observada a diminuição das infecções causadas por *Plasmodium falciparum*[5,6].

Nesse contexto, as políticas públicas são de grande importância para a implantação e manutenção de programas de controle da malária, a definição das estratégias a serem utilizadas, a garantia de recursos financeiros para a manutenção das diferentes atividades direcionadas ao controle e a implementação de legislação específica para reger a mitigação da transmissão da doença em situações de mudanças climáticas, ambientais e ecológicas. Para esse fim, a Resolução CONAMA nº 286, de 30 de agosto de 2001[3], normatizou os procedimentos necessários ao controle da malária em regiões endêmicas onde empreendimentos possam causar mudanças ambientais, condizentes com as ações preconizadas no Plano Nacional de Eliminação da Malária[7]. Diante desse cenário, a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM) pela Norte Energia S.A. foi norteada pela criação do Programa de Ações de Controle da Malária (PACM) e pela execução de atividades de controle, conforme demonstrado por Ladislau et al.[8]. Assim, este estudo teve como objetivo discutir o efeito da construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte na transmissão de malária humana nos municípios da área de influência direta.

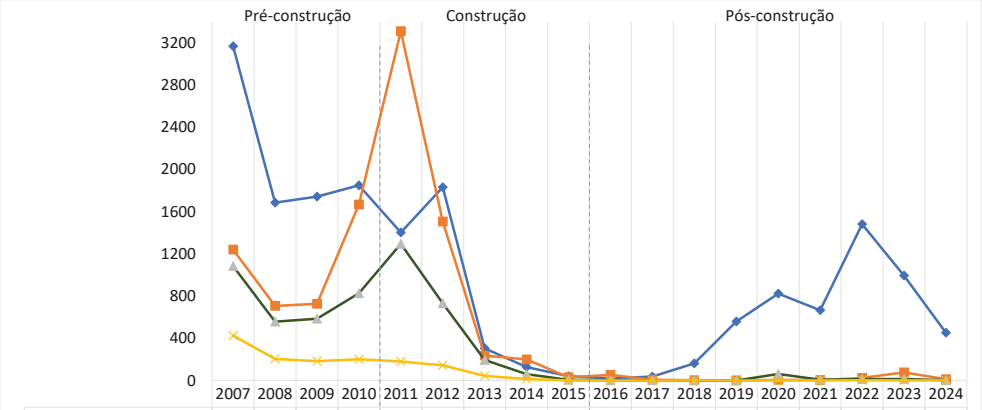
MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um estudo do tipo ecológico em quatro municípios diretamente afetados pela construção da UHEBM: Altamira, Anapu, Vitória do Xingu e Senador José Porfírio, todos localizados no Estado do Pará (Figura 1).



Fonte: Norte Energia S.A., 2025.

Figura 1 – Pontos de coleta de mosquitos anofelinos nos quatro municípios diretamente afetados pela construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM): Altamira, Anapu, Vitória do Xingu e Senador José Porfírio, Estado do Pará



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Altamira	3168	1685	1742	1849	1403	1831	305	128	41	20	37	162	559	824	666	1481	995	453
Anapú	1240	707	726	1668	3310	1506	235	200	31	54	7	3	1	6	4	24	77	12
Senador José Porfírio	1084	557	586	827	1295	732	195	60	6	3	1	0	0	62	7	13	14	3
Vitória do Xingu	425	205	184	202	180	143	43	14	1	0	0	1	0	0	0	3	1	1

Figura 2 – Número de casos de malária nos quatro municípios estudados, no período de 2007 a 2024, com dados obtidos do SIVEP-Malária

O estudo foi dividido em três períodos: pré-construção (2007–2010), construção (2011–2015) e pós-construção (2016–2024). Os dados sobre o número de casos de malária e o Índice Parasitário Anual (IPA) foram obtidos durante todo o período no Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica da Malária (SIVEP-Malária) do Ministério da Saúde (http://sivepmalaria.saude.gov.br/sivep_malaria), e os dados referentes ao número de mosquitos anofelinos coletados e infectados foram extraídos do banco de dados do Laboratório de Entomologia da Malária do Instituto Evandro Chagas (IEC), órgão vinculado à Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente (SVSA) do Ministério da Saúde.

Os dados referentes às coletas de mosquitos anofelinos correspondem a todos os períodos do estudo, com exceção do período de pré-construção que corresponde aos anos de 2007 e 2008, relativos ao Estudo de Potencial Malarígeno da construção da usina.

As coletas de mosquitos adultos foram realizadas pela técnica de atração humana protegida, com duração de 4 horas (18h–22h) ou 12 horas (18h–6h), conduzidas por técnicos especializados do IEC. Os indivíduos coletados foram acondicionados em vasilhas plásticas teladas, organizadas por hora e ponto de coleta, e alimentados com solução açucarada a 10% até a identificação laboratorial, realizada com o auxílio das chaves de identificação de Gorham et al.[9] modificada, Faran e Linthicum[10] e Consoli e Oliveira[11].

A infecção natural dos mosquitos anofelinos foi determinada pelo teste ELISA (*Enzyme-linked immunosorbent assay*), conforme o protocolo descrito por Wirtz et al.[12]. A taxa de infecção foi calculada dividindo-se o número de mosquitos positivos para plasmódios humanos pelo número total de mosquitos testados (Documento suplementar – S1).

Após a coleta e compilação dos dados (Documento suplementar – S1), aplicou-se o teste Z para verificar possíveis diferenças entre os períodos em relação aos IPAs e ao número de mosquitos, utilizando-se, no teste, a média de cada período para cada município. Além disso, realizou-se a regressão linear simples para identificar correlação e dependência entre o número de mosquitos e o IPA, considerando para essa análise os mesmos anos de referência para ambas as variáveis (2007, 2008 e 2012–2024).

Os dados de mosquitos coletados e infectados foram padronizados para fins das análises estatísticas, dividindo-se o número total de espécimes coletados em cada ano pelo número de excursões realizadas no mesmo período. Essa mesma padronização foi aplicada ao número de mosquitos infectados.

As análises estatísticas foram realizadas no programa BioEstat 5.0, considerando nível de significância de $p < 0,05$[13].

RESULTADOS

Nos municípios analisados durante o período do estudo, foram notificados casos de malária causados por *Plasmodium vivax*, *P. falciparum* e infecções mistas. Observou-se oscilação com aumento e queda do número de casos de malária entre 2008 e 2012, seguida de redução contínua, com exceção do município de Altamira, onde os casos voltaram a aumentar a partir de 2018 (Figura 2). Não houve registro de infecção por *P. falciparum* nos quatro municípios em 2015 e nos anos subsequentes; apenas Anapu e Vitória do Xingu não reportaram casos. Altamira registrou casos nos demais anos, e Senador José Porfírio entre 2019 e 2022, ambos com números baixos (<10 casos).

No período de pré-construção, o IPA dos quatro municípios estudados apresentou oscilação: Altamira e Anapu foram classificados como de risco médio (IPA <50 casos/1.000 habitantes), Vitória do Xingu como de risco baixo (IPA <10 casos/1.000 habitantes) e Senador José Porfírio como de risco alto (IPA >50 casos/1.000 habitantes). Em 2013, observou-se redução do IPA nesses municípios e, no ano seguinte, apenas Senador José Porfírio manteve risco médio para

a doença, enquanto os demais apresentaram risco baixo ou muito baixo (Tabela 1).

Pela análise do IPA médio entre os períodos estudados, utilizando o teste Z, foi observada diferença significativa entre os períodos de pré-construção e pós-construção (p = 0,0171) e entre construção e pós-construção (p = 0,044).

Foram coletados 5.913 espécimes de mosquitos anofelinos, sendo 1.060 em Altamira, 100 em Anapu, 2.557 em Senador José Porfírio e 2.196 em Vitória do Xingu. Observou-se redução no número de mosquitos anofelinos coletados nos quatro municípios a partir da fase de construção, especialmente em 2013. Desde então, a tendência de queda tornou-se evidente. O município de Senador José Porfírio apresentou aumentos pontuais em 2014 e 2016 (Figura 3). Na análise da variação do número de mosquitos coletados entre os períodos estudados, observou-se diferença significativa apenas entre os períodos de pré-construção e pós-construção (p = 0,0280).

Quanto à abundância, registrou-se variabilidade entre as principais espécies coletadas e os anos de coleta (Figura 4). As espécies mais frequentes foram *Anopheles darlingi*, *Anopheles nuneztovari* s.l. e *Anopheles albitarsis* s.l., com predominância de *An. darlingi* até 2013, período de construção, quando houve queda em sua frequência até 2016, seguida de aumento em 2017 e 2018, e de ausência ou baixa frequência nos anos posteriores. Paralelamente, entre 2013 e 2018 — período de construção e início do pós-construção —, o complexo *nuneztovari* tornou-se predominante. Já no período de pós-construção, o complexo *albitarsis* passou a se sobrepor às demais espécies.

Houve variação na diversidade de espécies nos três períodos do estudo. Além das espécies citadas anteriormente, no período de pré-construção foram identificadas *Anopheles intermedius*, *Anopheles evansae*, *Anopheles strodei*, *Anopheles galvaoi*, *Anopheles braziliensis* e *Anopheles aquasalis*; no período de construção, *Anopheles mediopunctatus*, *An. intermedius*, *An. evansae*, *An. strodei*, *An. galvaoi*, *An. braziliensis*, *An. aquasalis*, *Anopheles ininii* e *Anopheles mattogrossensis*; e, no período pós-construção, *An. intermedius*, *An. evansae*, *An. strodei*, *An. galvaoi*, *An. braziliensis* e *An. mattogrossensis*.

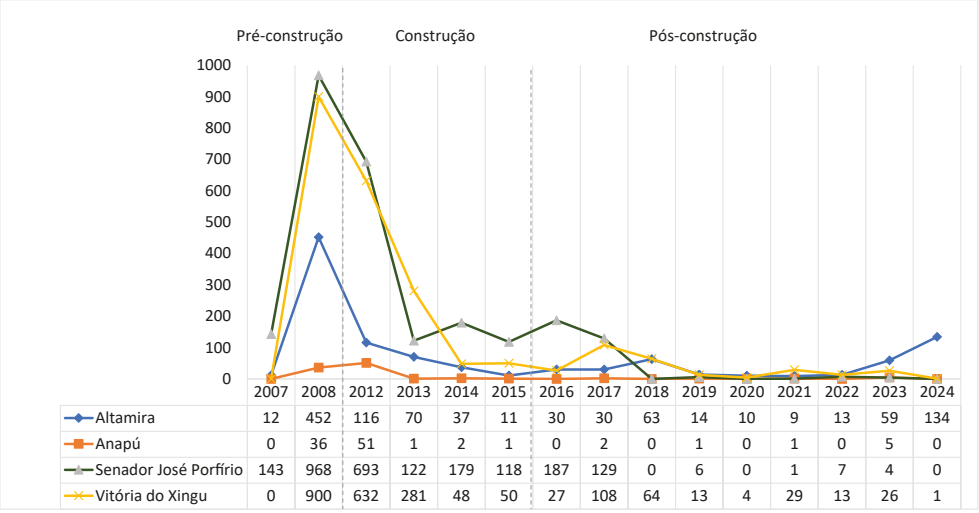
Analisando separadamente a ocorrência de espécimes de *An. darlingi*, observa-se que a espécie foi notoriamente abundante até 2012 e, nos períodos seguintes, manteve-se em níveis baixos ou ausente (Figura 5). Pelo teste Z, foi possível demonstrar diferenças significativas de frequência entre os períodos de pré-construção e pós-construção (p = 0,0313) e entre construção e pós-construção (p = 0,0455).

Quanto à infecção natural dos espécimes coletados, foi detectada positividade para espécies de plasmódios humanos (*P. falciparum*, *P. vivax* VK210 e *P. vivax* VK247) em 140 mosquitos, sendo 139 pertencentes a *An. darlingi* e um ao complexo *An. albitarsis*. A taxa de infecção dos mosquitos diminuiu ao longo dos anos estudados, distribuindo-se da seguinte forma: 3,38% no período de pré-construção, 1,96% no período de construção e 0% no período pós-construção.

Tabela 1 – Valores do Índice Parasitário Anual (IPA) para cada ano estudado, divididos nos três períodos: pré-construção, construção e pós-construção

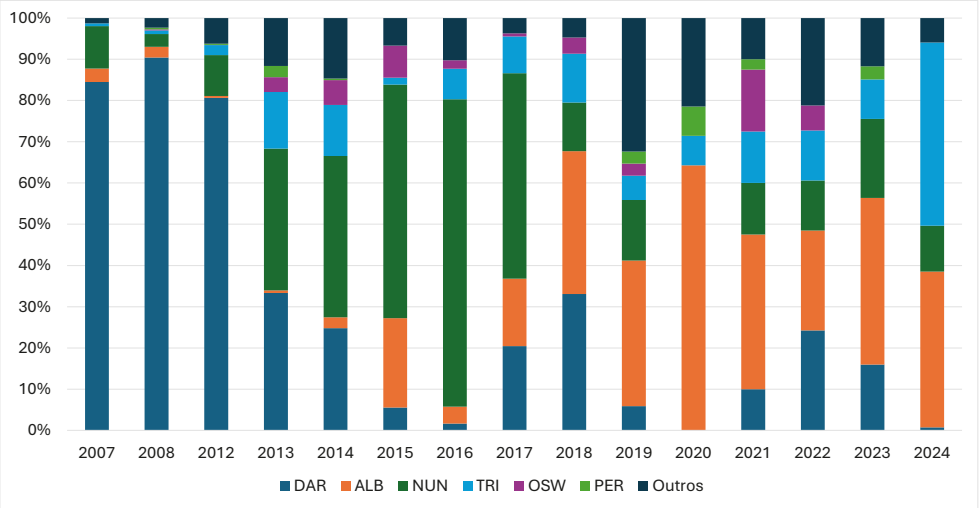
Municípios	Índice Parasitário Anual (IPA)								
	Pré-construção			Construção					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Altamira	21,2	11,3	11,7	12,4	9,4	12,3	2	0,9	0,3
Anapu	41	23,4	24	55,1	109,4	49,8	7,8	6,6	1
Senador José Porfirio	76,7	39,4	41,5	58,5	90,5	51,8	13,6	4,2	0,4
Vitória do Xingu	14	6,7	6,1	6,6	5,9	4,7	1,4	0,5	–
Municípios	Índice Parasitário Anual (IPA)								
	Pós-construção								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Altamira	0,1	0,2	1,1	3,7	5,5	4,5	9,9	6,7	3
Anapu	1,8	0,2	0,1	–	0,2	0,1	0,8	2,5	0,4
Senador José Porfirio	0,2	0,1	–	1,1	4,4	0,5	0,9	1	0,2
Vitória do Xingu	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–

Sinal convencional utilizado: – Dado numérico igual a zero, não resultante de arredondamento.



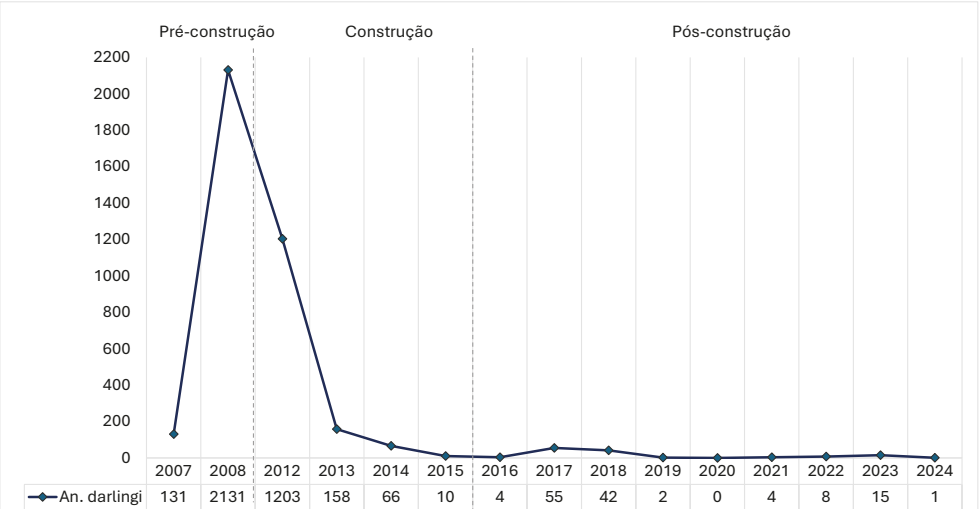
	2007	2008	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Altamira	12	452	116	70	37	11	30	30	63	14	10	9	13	59	134
Anapú	0	36	51	1	2	1	0	2	0	1	0	1	0	5	0
Senador José Porfírio	143	968	693	122	179	118	187	129	0	6	0	1	7	4	0
Vitória do Xingu	0	900	632	281	48	50	27	108	64	13	4	29	13	26	1

Figura 3 – Número total de espécimes de mosquitos anofelinos coletados por área de estudo, considerando cada ano analisado (2007–2008 e 2012–2024) em que foi realizada ao menos uma excursão de campo



DAR: *An. darlingi*; ALB: *An. albitarsis* s.l.; NUN: *An. nuneztovari* s.l.; TRI: *Anopheles triannulatus*; OSW: *Anopheles oswaldoi*; PER: *Anopheles peryassui*; Outros: outras espécies de *Anopheles*

Figura 4 – Distribuição percentual da abundância das espécies de anofelinos capturadas nos anos em que ocorreu ao menos uma coleta, destacando as espécies mais comuns



	2007	2008	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
An. darlingi	131	2131	1203	158	66	10	4	55	42	2	0	4	8	15	1

Figura 5 – Número total de espécimes de *An. darlingi* encontrados nos municípios estudados, considerando cada ano analisado (2007–2008 e 2012–2024) em que foi realizada ao menos uma excursão de campos

A regressão linear simples indicou correlação significativa entre o número de mosquitos e o IPA na região (p = 0,016), com 32% da variação do IPA explicada pelo número de mosquitos (R^2 = 0,32). Quando analisados os municípios separadamente, essa correlação foi evidenciada em dois dos quatro municípios: Anapu (p = 0,002; R^2 = 0,497) e Senador José Porfírio (p = 0,001; R^2 = 0,528). Correlação semelhante foi observada entre o número de *An. darlingi* capturados e o IPA da região (p = 0,0093; R^2 = 0,37), bem como com o IPA dos municípios de Anapu (p = 0,003; R^2 = 0,46) e Senador José Porfírio (p = 0,001; R^2 = 0,54). Não foi identificada correlação entre outras espécies de mosquitos, como *An. nuneztovari*, *An. albitarsis* e *An. triannulatus*, e o IPA da região ou de qualquer município.

DISCUSSÃO

As mudanças no meio ambiente podem causar aumento ou redução da incidência de malária em áreas de transmissão, como a Amazônia, podendo advir de mudanças climáticas — incluindo variações na precipitação e na temperatura[14–16] —, bem como de fatores antropogênicos locais e regionais, como atividades extrativistas e garimpeiras, práticas agrícolas, abertura de estradas e implantação de grandes empreendimentos, como a construção de hidrelétricas[17–19].

Exemplo desse impacto foi observado na construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHET), que influenciou a incidência de malária nos municípios diretamente afetados por essa obra. Houve explosão no número de casos no município de Tucuruí desde o início da construção (1975), com pico no final do período (1984), quando se registrou alto risco para malária (IPA >50 casos/1.000 habitantes) e risco médio em 1985. Além disso, outros municípios, como Jacundá e Itupiranga, também foram afetados e apresentaram aumento na incidência da doença ao término da construção[20].

No entanto, esse padrão não foi observado na área de influência da UHEBM. Ao contrário, os municípios diretamente afetados registraram redução no número de casos notificados, no IPA e nas infecções por *P. falciparum*, com diferenças significativas do IPA entre os períodos de pré-construção e pós-construção, e entre construção e pós-construção. A partir da construção, em 2012, a queda do IPA começou a ser evidenciada, tornando-se mais acentuada a partir de 2014 nos quatro municípios, até atingir níveis de risco baixo ou muito baixo. Esses resultados demonstram que as estratégias adotadas[8] para o controle da transmissão da malária foram eficazes.

Paralelamente à construção da UHEBM, foram edificadas as Usinas Hidrelétricas de Jirau (UHEJ) e de Santo Antônio (UHESA), no Estado de Rondônia, também na região Amazônica, onde se observou tendência semelhante de diminuição do IPA, estatisticamente significativa entre os períodos antes, durante e após a construção das barragens[21].

A diferença entre os impactos na incidência de malária associados à construção da UHET e das usinas UHEBM, UHEJ e UHESA reside no contexto normativo. Na época da construção da UHET não havia legislação reguladora específica, de modo que os fatores relacionados às mudanças ambientais e à introdução de populações suscetíveis em áreas vulneráveis e receptivas foram determinantes para a intensificação da transmissão da malária[20].

A legislação específica foi criada em 2001, por meio da Resolução CONAMA nº 286[3], que dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos em regiões endêmicas de malária. Essa norma estabeleceu que atividades capazes de potencializar fatores de risco deveriam desenvolver estudos epidemiológicos e conduzir programas voltados ao controle da doença e de seus vetores, em parceria com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Desde então, outras portarias (nº 47/MS/SVS, de 29/12/2006; nº 45/SVS/MS, de 13/12/2007; nº 01/MS, de 13/01/2014) e notas técnicas (nº 012/CGPNCM/DIGES/SVS/MS, de 04/06/2007) foram publicadas para aprimorar a regulamentação do controle da malária relacionado ao licenciamento de empreendimentos em áreas endêmicas, incluindo a exigência de realização do Estudo de Potencial Malarígeno.

No caso da UHEBM, o Estudo de Potencial Malarígeno foi realizado entre 2007 e 2008, definindo os municípios com risco de estabelecimento ou intensificação da transmissão da doença em razão das mudanças ambientais e da previsão de grande movimentação populacional resultante da construção. Esses municípios deveriam ser acompanhados pelo PACM[22]. Entre as ações implementadas pelo PACM estavam o diagnóstico laboratorial de malária dos trabalhadores recrutados para a obra; o afastamento temporário dos trabalhadores infectados para tratamento adequado e posterior retorno às atividades; o uso de telas em portas, janelas e vãos de residências, alojamentos e demais dependências; o uso de medidas de proteção individual, como roupas adequadas e repelentes; e a implantação de programas de educação em saúde para trabalhadores, familiares e moradores das áreas afetadas[8,22].

Adicionalmente, o PACM implantou ações de vigilância em todos os tipos de criadouros de mosquitos e o tratamento com biolarvicidas não poluentes naqueles que apresentavam alta densidade larvária; promoveu a limpeza das margens de igarapés em parceria com órgãos públicos competentes; estabeleceu programas de controle de formas adultas do vetor nas áreas do empreendimento, em conjunto com as autoridades de saúde; e implementou o monitoramento entomológico da malária durante todas as fases do empreendimento[8,22].

Na UHEBM, entre as principais espécies capturadas destacaram-se *An. darlingi*, considerada o principal vetor de malária no Brasil, *An. goeldi* e

An. nuneztovari s.s. (complexo *nuneztovari*)[23], sendo as duas primeiras associadas à transmissão da doença e as mais frequentemente encontradas, além de *An. albitarsis* s.l., complexo composto por nove espécies e uma linhagem[24], das quais pelo menos quatro já foram descritas como vetoras de malária[25–27]. Houve variação na frequência dessas espécies ao longo do período estudado.

Na UHET, o número de espécimes de *An. darlingi* aumentou durante a fase de construção[17], o que difere do observado na UHEBM, onde foi evidente a redução não apenas de *An. darlingi*, mas também de outras espécies de anofelinos. Essa diferença pode ser explicada pelas ações de controle do PACM, baseadas nos resultados do monitoramento sobre a presença de espécies vetoras e suas taxas de infecção. Resultado semelhante foi registrado na UHEJ, que apresentou diminuição na abundância de *An. darlingi*, que compunha 73% dos mosquitos capturados antes da construção e 28% no pós-construção[28]. Ambos os resultados corroboram que a aplicação da legislação que recomenda o monitoramento entomológico das áreas de empreendimentos é essencial.

Outra semelhança observada entre os empreendimentos UHEBM, UHEJ e UHET foi a variação na composição das espécies de mosquitos relacionada às alterações ambientais, com algumas espécies tornando-se mais abundantes que outras conforme a fase de construção da hidrelétrica[17,28]. O presente estudo mostra que, a partir de 2013 — um ano após o início das obras, fase marcada por alterações ambientais significativas decorrentes da implantação de canteiros, abertura de estradas e supressão vegetal —, as espécies do complexo *An. nuneztovari* tornaram-se mais frequentes, atingindo o ápice em 2016 (ano de enchimento dos reservatórios). Após esse período, as espécies do complexo *An. albitarsis* se sobrepuseram às demais, tornando-se as mais frequentes em 2020.

A predominância de determinadas espécies de anofelinos em áreas alteradas por hidrelétricas já foi constatada em estudos realizados nas UHET, UHEJ e na Usina Hidrelétrica de Balbina (UHEB), no Amazonas. Na UHET, durante a construção, embora *An. darlingi* tenha sido a espécie mais frequente, *An. nuneztovari*, *An. triannulatus* e *An. oswaldoi* também foram abundantes[29]. No caso da UHEJ, *An. darlingi* foi a espécie predominante até ser superada por *An. braziliensis*[28,30]. Quanto à UHEB, *An. darlingi* foi mais frequente antes da construção, sendo substituída por *An. triannulatus* durante a construção e, no período pós-construção, a predominância de *An. nuneztovari* tornou-se evidente[31]. No presente estudo, referente à UHEBM, observou-se predominância de *An. darlingi* até 2013 (períodos de pré e de construção), seguida por espécies do complexo *nuneztovari* e, a partir de 2018, por espécies do complexo *albitarsis*, que se tornaram as mais abundantes.

A mudança na riqueza e na composição de espécies de mosquitos vetores durante a construção e o enchimento de reservatórios de hidrelétricas pode ser explicada pela profunda alteração do ambiente, que favorece a formação de novas coleções hídricas e, consequentemente, a proliferação de mosquitos vetores[30]. No caso da UHEBM, foi criado o PACM, que, em conjunto com as secretarias municipais de saúde dos municípios afetados, a Secretaria de Estado de Saúde Pública do Pará (SESPA) e o Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) de Altamira, discutia os resultados do monitoramento entomológico para definir estratégias eficazes de controle da transmissão[8].

Foi observado, por meio da regressão linear simples, que o IPA dos municípios afetados pela construção da UHEBM apresenta relação com o número de *Anopheles*, o que era esperado em razão do papel dos mosquitos vetores na dinâmica de transmissão da doença. No entanto, destaca-se que a relação encontrada indica que outros fatores também afetam o IPA, uma vez que o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,34$) mostra que somente 34% da variação do IPA é explicado pela variação no número de mosquitos.

Considerando a análise por município, apenas Anapu e Senador José Porfírio mantiveram essa correlação, com valores de R^2 mais altos em comparação à área total afetada, 49% e 52%, respectivamente. Esses resultados sugerem que a distância entre o município e a área de construção pode explicar parte dessa diferença, pois a correlação foi observada nos municípios mais distantes da UHEBM, mas não em Altamira e Vitória do Xingu, onde os reservatórios, o Canal de Derivação e os sítios construtivos da usina foram implantados.

Por outro lado, o papel exercido pelo PACM, em conjunto com os órgãos governamentais, foi muito importante para o controle da transmissão de malária na região. Para isso, a Norte Energia S.A. destinou cerca de 36 milhões de reais ao programa durante o período de construção, até 2016, ano de enchimento da represa[32].

O *An. darlingi* é considerado um dos principais responsáveis pela manutenção da malária, mesmo em situações de baixa densidade populacional e reduzida taxa de infecção natural. Isso ocorre devido à sua alta taxa de picada, comportamento antropofílico, elevada susceptibilidade à infecção por *Plasmodium* e capacidade de adaptação a mudanças ambientais[17,33]. No presente estudo, a importância dessa espécie na transmissão de malária na região da UHEBM fica evidente, pois foi a mais abundante e a que apresentou maior taxa de infecção natural por *Plasmodium*, além de ter sido a única em que se observou relação entre o IPA e o número de espécimes coletados. No entanto, mesmo nos períodos em que os exemplares de *An. darlingi* capturados não apresentaram infecção, ainda houve registros de casos de malária na região. Esse fato pode estar relacionado a fatores como limitações amostrais e à participação de outras espécies de *Anopheles* atuando como vetores secundários, fenômeno já descrito em estudos anteriores[26,34].

Considerando a atual perspectiva de eliminação da malária no Brasil, objetivo que a Coordenação

de Eliminação da Malária (CEMA), vinculada à SVSA, pretende alcançar até 2035, a região Amazônica apresenta um cenário complexo, marcado por determinantes sociais e ambientais que favorecem a disseminação da doença[35]. Para atingir a eliminação, será essencial adotar estratégias que respeitem as diferentes culturas locais, considerem as especificidades logísticas regionais e estejam alinhadas às políticas de controle existentes[36,37].

Destaca-se a predominância de casos de malária em áreas indígenas fora da área de influência direta da UHEBM, mas situadas no município de Altamira (61,7% dos casos registrados nesse município) e em garimpos clandestinos de Anapu (98,7% dos casos locais). Essas comunidades ou pequenos agrupamentos populacionais caracterizam-se por serem remotos, distantes da sede municipal e localizados em regiões fronteiriças com outros municípios, o que dificulta o acesso às medidas de controle da malária pelas autoridades competentes.

Um exemplo é o das aldeias próximas a Novo Progresso, fora da área de influência direta da UHEBM e sob jurisdição do DSEI Tapajós, com sede em Santarém, Estado do Pará. No entanto, os registros de casos dessas áreas são inseridos no sistema de informação como pertencentes a Altamira, por estarem dentro dos limites territoriais do município, o que contribui para o aumento aparente do número de casos notificados.

O monitoramento das ações de eliminação deve utilizar indicadores desagregados por faixa etária e espécie parasitária[38], permitindo análises mais precisas. Os resultados deste estudo reforçam a importância de avaliar as informações disponíveis tanto de forma agregada quanto desagregada, para compreender o impacto de grandes empreendimentos, como a construção da UHEBM. Além disso, evidenciam o papel fundamental das políticas públicas, por meio de leis e portarias específicas voltadas a esse tipo de empreendimento[8], e a relevância da integração entre as três esferas de governo e a cooperação entre os setores público e privado.

Por fim, vale destacar que a substituição da primaquina pela tafenoquina em dose única representa uma mudança de paradigma, capaz de reduzir significativamente o número de portadores assintomáticos, a quantidade de mosquitos infectados e a intensidade da transmissão de *P. vivax* — espécie mais prevalente no Brasil, especialmente em comunidades rurais e isoladas[37].

CONCLUSÃO

O controle da malária na região da UHE Belo Monte deve servir como exemplo de que a integração entre os setores público e privado, aliada a políticas públicas bem planejadas e executadas, é fundamental para o enfrentamento de doenças transmissíveis associadas ao desenvolvimento socioeconômico de suas áreas de influência.

Essa experiência pode orientar o poder legislativo na criação de leis que contemplem, além da malária, outras doenças transmissíveis endêmicas no Brasil, bem como cenários decorrentes de mudanças ambientais, como as alterações climáticas observadas globalmente.

Além disso, o caso de Belo Monte evidencia a importância de manter vigilância epidemiológica eficaz em empreendimentos que apresentem risco de aumento na ocorrência e na disseminação da transmissão da malária, assegurando o rigoroso cumprimento da legislação vigente.

AGRADECIMENTOS

Aos técnicos do Laboratório de Entomologia de Malária do Instituto Evandro Chagas pela valiosa contribuição nas atividades de campo e de laboratório, e aos moradores das áreas de estudo, que gentilmente autorizaram a entrada da equipe em suas residências para a realização das coletas de mosquitos.

APOIO FINANCEIRO

Instituto Evandro Chagas (IEC/SVSA/MS); Norte Energia S.A.; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – processos nº 306420/2022-8, 302292/2017-9 e 304827/2013-4.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses associado a esta publicação. Dois autores (JLBL e GAL) foram, e um autor (RLS) é, funcionário da Norte Energia S.A.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

MMP e IMCS: conceberam, supervisionaram e coordenaram o projeto. RCS: responsável pela organização, análise e interpretação dos dados, e pela redação e edição do manuscrito. SRD e MMMS: auxiliaram na coleta e análise das amostras. SRD, MMMS, ACFS, IMCS, JLBL, GAL, RLS e MMP: contribuíram para a análise dos dados. MMP, ACFS, JLBL, GAL, RLS e IMCS: acompanharam a execução do PACM e participaram da revisão e edição final do manuscrito.

REFERÊNCIAS

1 Rossati A, Bargiacchi O, Kroumova V, Zaramella M, Caputo A, Garavelli PL. Climate, environment and transmission of malaria. Infez Med. 2016 Jun;24(2):93-104.

2 Patz JA, Graczyk TK, Geller N, Vittor AY. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. Int J Parasitol. 2000 Nov;30(12-13):1395-405.

3 Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 286, de 30 de agosto de 2001. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos nas regiões endêmicas de malária. Brasília (DF); 2001 ago 30.

4 World Health Organization. World malaria report 2024: addressing inequity in the global malaria response [Internet]. Geneva: WHO; 2024. Available from: https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2024.

5 Griffing SM, Tauil PL, Udhayakumar V, Silva-Flannery L. A historical perspective on malaria control in Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2015 Sep;110(6):701-18.

6 Oliveira-Ferreira J, Lacerda MVG, Brasil P, Ladislau JLB, Tauil PL, Daniel-Ribeiro CT. Malaria in Brazil: an overview. Malar J. 2010 Apr;9:115.

7 Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Imunização e Doenças Trasmissíveis. Elimina Malária Brasil: Plano Nacional de Eliminação da Malária. Brasília: Ministério da Saúde; 2022.

8 Ladislau JLB, Póvoa MM, Sucupira IMC, Galardo AKR, Damasceno OC, Cardoso BS, et al. Malaria control in area of hydroelectric construction on the Amazonian ecosystem can succeed? Rev Pan-Amaz Saude. 2016 Dec;7(n. esp):115-22.

9 Gorham JR, Stojanovich CJ, Scott HG. Illustrated key to the anopheline morquitoes of western South America. Mosq Syst. 1967;5(2):97-156.

10 Faran ME, Linthicum KJ. A handbook of the Amazonian species of *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) (Diptera: Culicidae). Mosq Syst. 1982;13(1):1-81.

11 Consoli RAGB, Oliveira RL. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: Fiocruz; 1994.

12 Wirtz RA, Burkot TR, Graves PM, Andre RG. Field evaluation of enzyme-linked immunosorbent assays for *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* sporozoites in mosquitoes (Diptera: Culicidae) from Papua New Guinea1. J Med Entomol. 1987 Jul;24(4):433-7.

13 Ayres M, Ayres Jr M, Ayres DL, Santos ASS. BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; 2007. 324 p.

14 Fouque F, Reeder JC. Impact of past and on-going changes on climate and weather on vector-borne diseases transmission: a look at the evidence. Infect Dis Poverty. 2019 Jun;8(1):51.

15 Dabaro D, Birhanu Z, Negash A, Hawaria D, Yewhalaw D. Effects of rainfall, temperature and topography on malaria incidence in elimination targeted district of Ethiopia. Malar J. 2021 Feb;20(1):104.

16 Wangdi K, Wetzler E, Cox H, Marchesini P, Villegas L, Canavati S. Spatial patterns and climate drivers of malaria in three border areas of Brazil, Venezuela and Guyana, 2016–2018. Sci Rep. 2022 Jun;12(1):10995.

17 Tadei WP, Thatcher BD, Santos JM, Scarpassa VM, Rodrigues IB, Rafael MS. Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian amazon. Am J Trop Med Hyg. 1998 Aug;59(2):325-35.

18 Barbieri AF, Oya-Sawyer D, Soares-Filho BS. Population and land use effects on malaria prevalence in the southern brazilian Amazon. Hum Ecol. 2005 Dec;33(6):847-74.

19 Hahn MB, Gangnon RE, Barcellos C, Asner GP, Patz JA. Influence of deforestation, logging, and fire on malaria in the brazilian Amazon. PLoS One. 2014 Jan;9(1):e85725.

20 Couto RCS. Hidrelétrica de Tucuruí: impactos da malária na saúde da população atingida. Rev Estud Pesqui Am. 2021;15(3):79-93.

21 Johansen IC, Moran EF, Ferreira MU. The impact of hydropower dam construction on malaria incidence: space-time analysis in the brazilian Amazon. PLOS Glob Public Health. 2023 Mar;3(3):e0001683.

22 Galardo AKR, Póvoa MM, Sucupira IMC, Silva PA. Avaliação do potencial malarígeno: anexo 7.9.1. [s.l.]: Leme Engenharia; 2008. 65 p.

23 Santos MMM, Sucupira IMC, Santos TV, Santos ACF, Lacerda RNL, Póvoa MM. Morphological identification of species of the Nuneztovari Complex of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) from an area affected by a Brazilian hydroelectric plant. Zootaxa. 2019 Mar;4565(2):zootaxa.4565.2.7.

24 Motoki MT, Linton YM, Conn JE, Ruiz-Lopez F, Wilkerson RC. Phylogenetic network of mitochondrial COI gene sequences distinguishes 10 taxa within the neotropical albitarsis group (Diptera: Culicidae), confirming the separate species status of *Anopheles albitarsis* H (Diptera: Culicidae) and revealing a novel lineage, *Anopheles albitarsis* J. J Med Entomol. 2021 Mar;58(2):599-607.

25 Conn JE, Wilkerson RC, Segura MNO, Souza RTL, Schlichting CD, Wirtz RA, et al. Emergence of a new neotropical malaria vector facilitated by human migration and changes in land use. Am J Trop Med Hyg. 2002 Jan;66(1):18-22.

26 Póvoa MM, Souza RTL, Lacerda RNL, Rosa ES, Galiza D, Souza JR, et al. The importance of *Anopheles albitarsis* e and *An. darlingi* in human malaria transmission in Boa Vista, state of Roraima, Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2006 Mar;101(2):163-8.

27 Póvoa MM, Wirtz RA, Lacerda RNL, Miles MA, Warhurst D. Malaria vectors in the municipality of Serra do Navio, State of Amapá, Amazon Region, Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2001 Feb;96(2):179-84.

28 Ferreira FAS, Costa FM, Lima GR, Roque RA, Ferreira VC, Santos Neto VA, et al. Diversity and spatio-temporal variation of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) before and after the construction of the Jirau hydroelectric plant, state of Rondônia, Brazil. Rev Bras Entomol. 2021;65(2):e20200105.

29 Tadei WP, Mascarenhas BM, Podestá MG. Biologia de anofelinos amazônicos. VIII. Conhecimentos sobre a distribuição de espécies de Anopheles na região de Tucuruí-Marabá (Pará). Acta Amaz. 1983 Fev;13(1):103-38.

30 Rodrigures MS, Batista EP, Silva AA, Costa FM, Neto VAS, Gil LHS. Change in *Anopheles* richness and composition in response to artificial flooding during the creation of the Jirau hydroelectric dam in Porto Velho, Brazil. Malar J. 2017 Feb;16:87.

31 Osorio-Quintero L, Dutary-Thatcher B, Tadei WP. Biologia de anofelinos amazônicos. XXL Ocorrrência de espécies de *Anopheles* e outros culicídeos na área de influência da hidrelétrica de Balbina - cinco anos após o enchimento do reservatório. Acta Amaz. 1996;26(4):281-96.

32 Norte Energia. Relatório da administração. Brasília: Norte Energia; 2023. 55 p.

33 Hiwat H, Bretas G. Ecology of *Anopheles darlingi* root with respect to vector importance: a review. Parasit Vectors. 2011 Sep;4:177.

34 Tadei WP, Dutary Thatcher B. Malaria vectors in the brazilian Amazon: *Anopheles* of the subgenus *Nyssorhynchus*. Rev Inst Med Trop S Paulo. 2000 Mar-Apr;42(2):87-94.

35 Santos D, Lima M, Veríssimo B, Silva C. Fatos da Amazônia 2024. Projeto Amazônia 2030. Belém; 2024. 94 p.

36 Sanna A, Suárez-Mutis M, Lambert Y, Carvalho L, Cairo H, Cox H, et al. Cooperation for malaria control and elimination in the Guiana Shield. Lancet Glob Health. 2024 May;12(5):e875-81.

37 Laporta GZ. Towards malaria elimination in Brazil. Lancet Glob Health. 2024 Mar;12(3):e356-7.

38 World Health Organization. World malaria report. 2023. Geneva: WHO; 2023. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240086173.

Recebido em / Received: 29/8/2025
Aceito em / Accepted: 21/10/2025

Este artigo compõe a Seção Temática "Saúde e Meio Ambiente na Pan-Amazônia: Ciência, Território e Resistência em tempos de crise climática" em alusão à 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 30).

Como citar este artigo / How to cite this article:

Sucupira IMC, Sousa RC, Ladislau JLB, Santos MMM, Diniz SR, Lima GA, et al. Construção da usina hidrelétrica de Belo Monte no Brasil, transmissão de malária e políticas públicas. Rev Pan Amaz Saude. 2025;16:e202501777. Doi: https://doi.org/10.5123/S2176-6223202501777