

## Geoprocessamento e Regressão Logística para construção de modelos espaço-temporais de habitats de *Anopheles darlingi* na área de influência da APM-Manso - MT

Emerson Soares dos Santos<sup>1</sup>  
Peter Zeilhofer<sup>1</sup>  
Ana Lucia Maria Ribeiro<sup>2</sup>  
Rosina Djunco Miyazaki<sup>3</sup>  
Marina Atanaka dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografia - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)  
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil  
emer.santos@uol.com.br / pitalike@terra.com.br

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências Médicas - Universidade Federal de Mato Grosso  
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil  
anadarlingi@hotmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Biologia - Universidade Federal de Mato Grosso  
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil  
miya@vsp.com.br

<sup>4</sup> Instituto de Saúde Coletiva – Universidade Federal de Mato Grosso  
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil  
slcs@terra.com.br

**Abstract:** This study proposes a systematic evaluation of the applicability of Geographical Information Systems (GIS) and Logistic Regression (LR) as tools for the analysis of the habitat of *Anopheles darlingi* in the surroundings of the APM-MANSO/MT reservoir (427 km<sup>2</sup>), located in the southern Mato Grosso state. A total of 327 entomologic capture campaigns at 35 sampling points were realized in 2000-2001, during the reservoir-filling phase and in the years 2004-2006, during regular plant operation. Digital image processing of multi-temporal of Landsat-ETM and CBERS-CCD data sets as well as spatial analysis were realized using the SPRING-INPE and ArcView-ESRI softwares. Mann-Whitney tests were realized to evaluate if differences of *Anopheles darlingi* Human Biting Rates (HBR) occurred during the two collections periods (filling and operation phases). For the evaluation of temporal differences of the two main seasons, Wilcoxon tests were applied. LR were developed to quantify the relations between spatial-temporal independent variables such as proximity to the reservoir, land use and seasonal periods of collection and the respective HBRs. The results showed significant higher HBRs during the filling phase of the reservoir. In this phase no significant difference between main seasons were observed, whereas HBRs during operation phase were higher in the dry season than in the rainy season. The LR models demonstrate that the proximity to the reservoir is the most important factor for the habitat suitability of *Anopheles darlingi*. Land use, air humidity and vegetation and soil moisture can be important model covariates, with varying influence on habitat suitability during the different seasons.

**Palavras-chave:** GIS, Logistic Regression, *Anopheles darlingi*, spatio-temporal patterns, SIG, Regressão Logística, *Anopheles darlingi*, modelos espaço-temporais.

### 1. Introdução

Reservatórios de Usinas Hidroelétricas (UHE) são considerados *habitats* propícios para diversas espécies do gênero *Anopheles*, algumas delas vetores transmissores de malária. Em todo o Brasil são registrados anualmente cerca de 600.000 novos casos de malária, sendo cerca de 99% dos casos observados na Amazônia Legal, região da qual faz parte a área deste estudo. A doença é transmitida através da picada de mosquitos *Anopheles* fêmeas, que inocula esporozoítos do *Plasmodium*, dando início ao ciclo da doença no homem. A presença do inseto é dependente de certas características intrínsecas de um determinado espaço geográfico. Essas características são interdependentes e associados a objetos que agem

mutuamente nos processos existentes no espaço. Nos anos de 2000/2001 e 2004/2005/2006 foram feitas coletas de vetores transmissores de doenças parasitárias em campo, na área do entorno da Área de Aproveitamento Múltiplo de Manso (APM-Manso), empreendimento que tem por finalidade principal geração de energia elétrica. Entre as espécies de mosquitos coletados estão as do gênero *Anofelinos* e deste, selecionou-se como foco de estudo *Anopheles darlingi*, que é a mais importante espécie transmissora de malária no Brasil. No ano de 2006 foi registrado um primeiro caso de malária na área de influência onde ocorreu o alagamento. O propósito deste trabalho é uma avaliação sistemática da aplicabilidade de técnicas de Geoprocessamento e Regressão Logística como ferramentas para análise de *habitats* de *Anopheles darlingi* em áreas de implantação de grandes reservatórios de água para geração de energia elétrica.

## 2. Área de Estudo

No centro-sul do estado de Mato Grosso, a 100 km do nordeste de Cuiabá, está localizada a Área de Aproveitamento Múltiplo de Manso – APM-Manso, onde 427 km<sup>2</sup> de área foi tomada pelas águas dos rios Manso e Casca (Figura 1). É predominante o clima Tropical Semi-úmido, com temperatura média anual de 26° Celsius e precipitação estimada de 1750 mm por ano em dois períodos distintos; seca e chuva. Nas proximidades do reservatório existem comunidades rurais com mais de 50 anos de existência. Muitas dessas comunidades tiveram seu território tomado pelas águas após o enchimento do reservatório, e seus membros foram reordenados para assentamentos criados com a finalidade de recebê-los. Após a implantação da usina surgiram empreendimentos turísticos que mudaram de maneira considerável a paisagem em alguns trechos da costa do reservatório e áreas próximas. São condomínios imobiliários de alto padrão que atraem habitantes de Cuiabá para prática de turismo e passeios de final de semana.

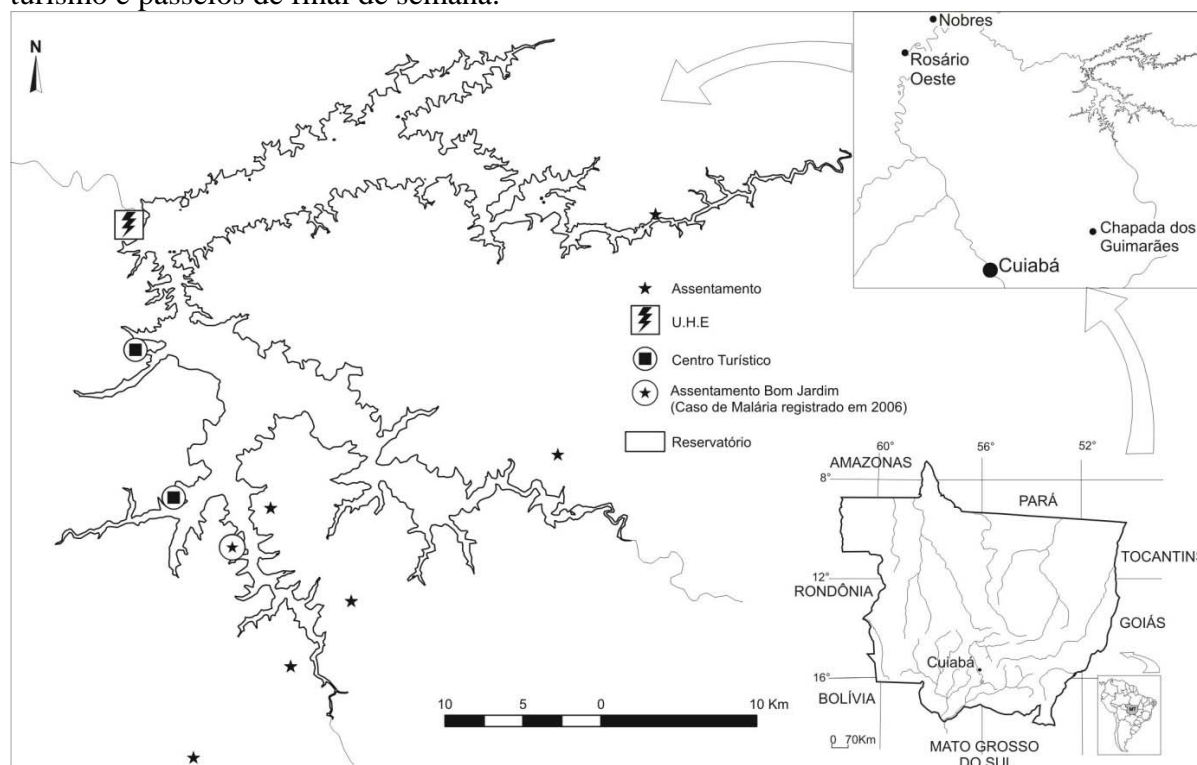


Figura 1. Área de Estudo

## 3. Metodologia

Para a realização deste trabalho foram realizadas 327 coletas de vetores do gênero *Anofelinos* (156 na primeira etapa e 171 na segunda etapa), em um total de 35 pontos

amostrais, no período de 18:00 às 21:00 horas, em pontos às margens do lago e à distâncias que variam de 500 metros a 2500 metros de distância do reservatório. Os pontos de coleta foram georreferenciados utilizando um aparelho de GPS Garmin XL12 (GarminLtd., Olathe, Kansas). As coletas foram realizadas usando a metodologia do “Atrativo Humano”. Para indicar a incidência da presença do mosquito, é utilizado o Índice de Picada Homem/Hora (IPHH) (Soares Gil et al 2003).

As informações sobre características climáticas como temperatura e umidade relativa foram adquiridas através de higrômetro digital. Foram utilizados neste estudo, dados de coletas realizadas nas proximidades de residências - Peridomiciliar, e coletas realizadas distante de residências –Extradomiciliar. Os espécimes foram identificados no campo, utilizando um microscópio estereoscópio e chave de identificação descrita por Consoli & Lourenço-de-Oliveira (1994), anotados em ficha de campo e posteriormente lançados em sistema informatizado.

Imagens digitais multitemporais (total de 16 imagens para o período de estudo) do Landsat-ETM (WRS 226/70) e do CBERS (165-117/166-117) foram georreferenciadas utilizando-se o software SPRING 4.2 (INPE), com erro variando de 17.4 metros a 31.2 metros (Polinômio de 2º grau). Foram feitas classificações multiespectrais (Pope et al 1993) (exemplo de uma imagem classificadas na Figura 2) utilizando-se SPRING 4.2 (INPE) para caracterização do uso-ocupação da terra. Através de busca espacial, foi possível identificar o tipo de vegetação/uso da terra predominante no entorno do ponto coleta numa área de raio igual a 200 metros, que foi em seguida associado aos registros das coletas entomológicas.

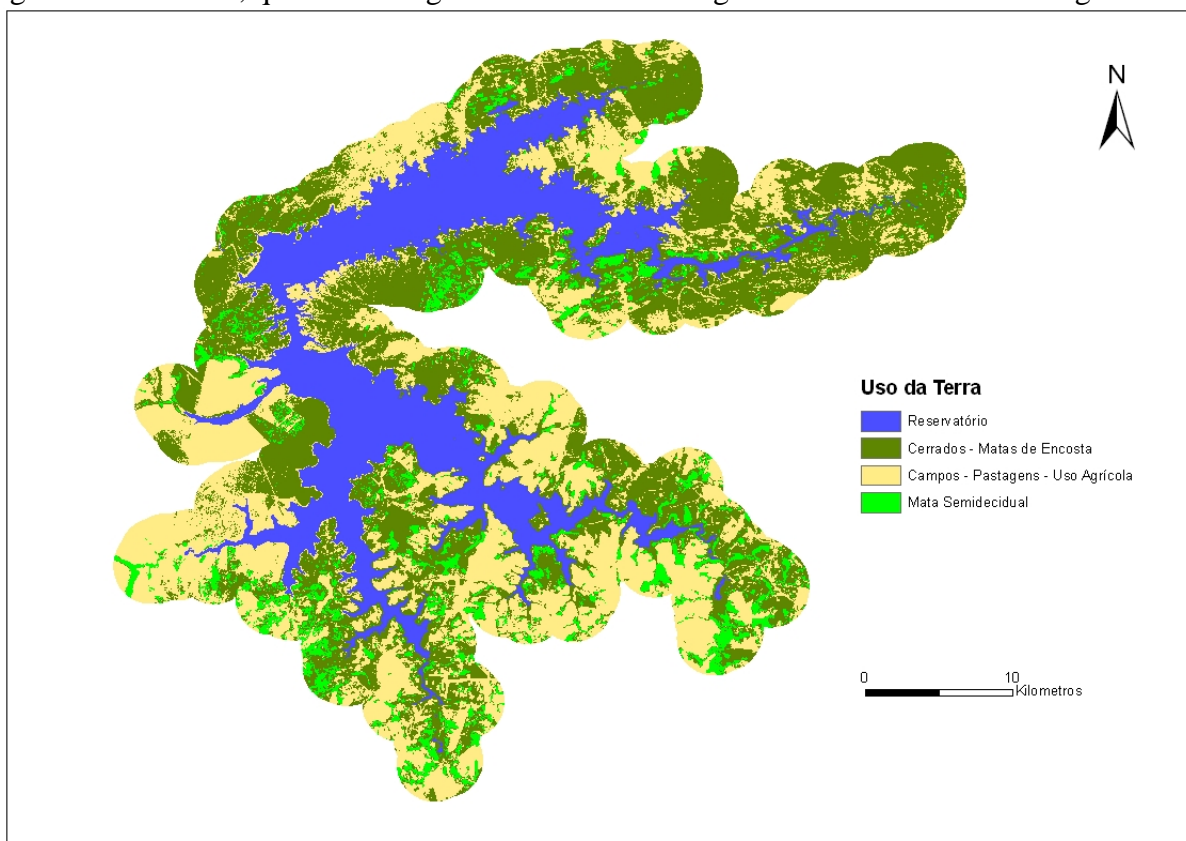


Figura 2. Uso e ocupação da terra em 2004

Análises de Modelo Numérico de Terreno para simulação de níveis de água do reservatório (Minakawa et al 2005) foram realizados utilizando-se ArcView 3.2 (ESRI). Com essa simulação de níveis foi possível estabelecer a distância que o ponto de coleta estava da margem do reservatório no dia da coleta. Foi criado o “**Tipo Fisionômico das Margens**”

(Zeilhofer et al 2007), que é um índice que representa a forma da margem (baía, península ou linear) e a distância da margem em relação ao ponto de coleta. Para isso foram utilizados os Planos de Informação (PI) de simulação de área alagada. Os PIs multitemporais da extensão da represa foram recodificados em duas classes, que posteriormente, através de um *filtro passa baixa* de janela móvel de 9X9. Para associação do tipo de margem ao ponto de coleta, os valores de fisionomia foram ponderados em razão da distância num raio de 2000 metros do ponto de coleta. Uma razão menor de que 0,4 pode ser caracterizada como sendo uma situação de baía, valores entre 0,4 e 0,6 como margem linear e valores maiores do que 0,6 como situação de península.

Um teste de Mann-Whitney foi realizado para verificar a diferenças na ocorrência de *Anopheles darlingi* entre as duas etapas de coletas (fase de enchimento e fase de operação). Para diagnosticar as diferenças temporais entre as duas principais estações do ano foram realizados testes de Wilcoxon. Regressões Logísticas (Pearce e Ferrier 2000) foram geradas para avaliação e quantificação das relações entre fatores espaço-temporais independentes tais como distância da lagoa, o tipo de uso da terra e período sazonal de coleta e os respectivos IPHHs binarizados.

#### 4. Resultados

Teste de Mann-Whitney (Tabela 1) demonstra que existe diferença significativa de IPHHs entre as duas etapas de coletas; a presença de *Anopheles darlingi* foi maior durante a fase de enchimento do reservatório (2000-2001) do que na fase de operação da usina (2004-2006).

Tabela 1. Resultado do Teste Mann-Whitney para comparação entre as duas campanhas de coletas (2000/01 e 2004-06)

Campanha de Coletas	Numero de Observações	Média dos valores ranqueados	Soma dos Valores Ranqueados
Primeira	156	201.47	31430.000
Segunda	171	129.81	22198.000
Total	327		

Teste de significância (p) 0.000

Testes de Wilcoxon demonstram que entre os anos de 2000-01 não existe diferença significativa na intensidade de vetores nas diferentes estações do ano. Porém, entre os anos de 2004-06 é relevante a diferença de vetores encontrados nas duas estações; durante esta etapa de coletas, o IPHH é superior na estação seca, comparando-se com a estação chuvosa. Desta forma, foi necessário criar três modelos para a caracterização do *habitat* de *Anopheles darlingi*: um para a primeira etapa de coletas (Tabela 2), que é válido para as duas estações do ano; e outros dois modelos para a segunda etapa de coletas, um para a estação chuvosa e outra para estação seca.

Tabela 2. Coeficientes (B) da regressão logística múltipla ("*forward stepwise*"), utilizados para modelação espacial da probabilidade (logit) de IPHHs maior do que 1.

Variáveis exploratórias	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Uso <sup>b</sup>	<b>0,693</b>	0,251	7,629	1	0,006	1,999
Dist <sup>a</sup>	<b>-0,222</b>	0,080	7,642	1	0,006	0,801

<sup>a</sup> Variável incluída no passo 1

<sup>b</sup> Variável incluída no passo 2

Por sobreposição espacial, foi possível obter a distribuição das áreas susceptíveis à presença de *An. darlingi* durante a fase de enchimento do reservatório (Figura 3).

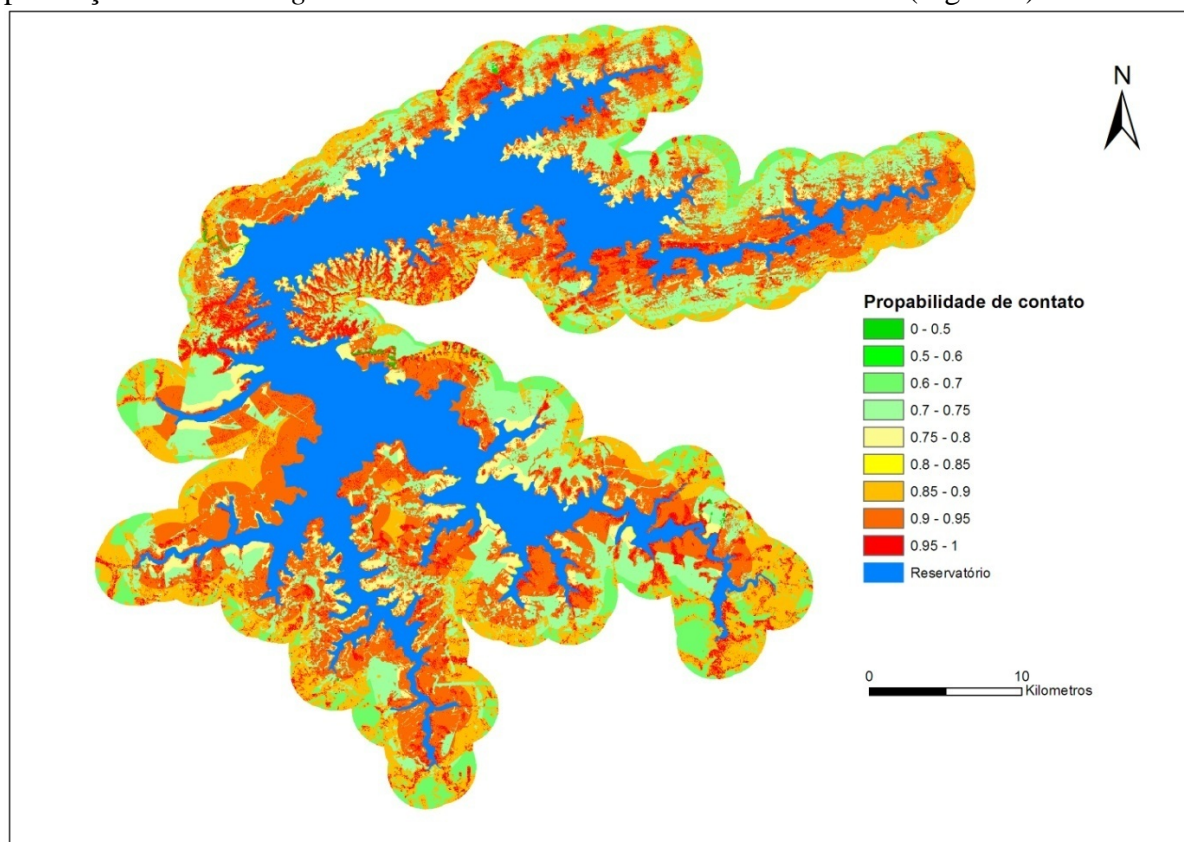


Figura 3. Mapa com a probabilidade prevista (logit) de IPHH maior *cut value*, para a fase de enchimento do reservatório.

Conforme resultado do teste de Wilcoxon [ $p=0.009$ ], existe diferença significativa entre a população de *An. darlingi* durante as duas estações do ano após o início de operação da usina. Foram então, criados modelos diferentes para a exposição da probabilidade de contato com o vetor para os dois períodos (Tabela 03 e Tabela 04).

Tabela 3. Coeficientes (B) da regressão logística múltipla ("*forward stepwise*"), utilizados para modelação espacial da probabilidade (logit) de IPHHs maior do que *cut-value* durante a estação seca na fase de operação da usina.

Variáveis exploratórias	<b>B</b>	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Umid-TC <sup>a</sup>	<b>0,005</b>	0,002	6,929	1	0,008	0,995
Dist <sup>b</sup>	<b>-0,283</b>	0,097	8,546	1	0,003	0,753

<sup>a</sup> Variável incluída no passo 1

<sup>b</sup> Variável incluída no passo 2

Por sobreposição espacial, foi possível obter a distribuição das áreas susceptíveis à presença de *An. darlingi* estação seca na fase de operação da usina (Figura 4).

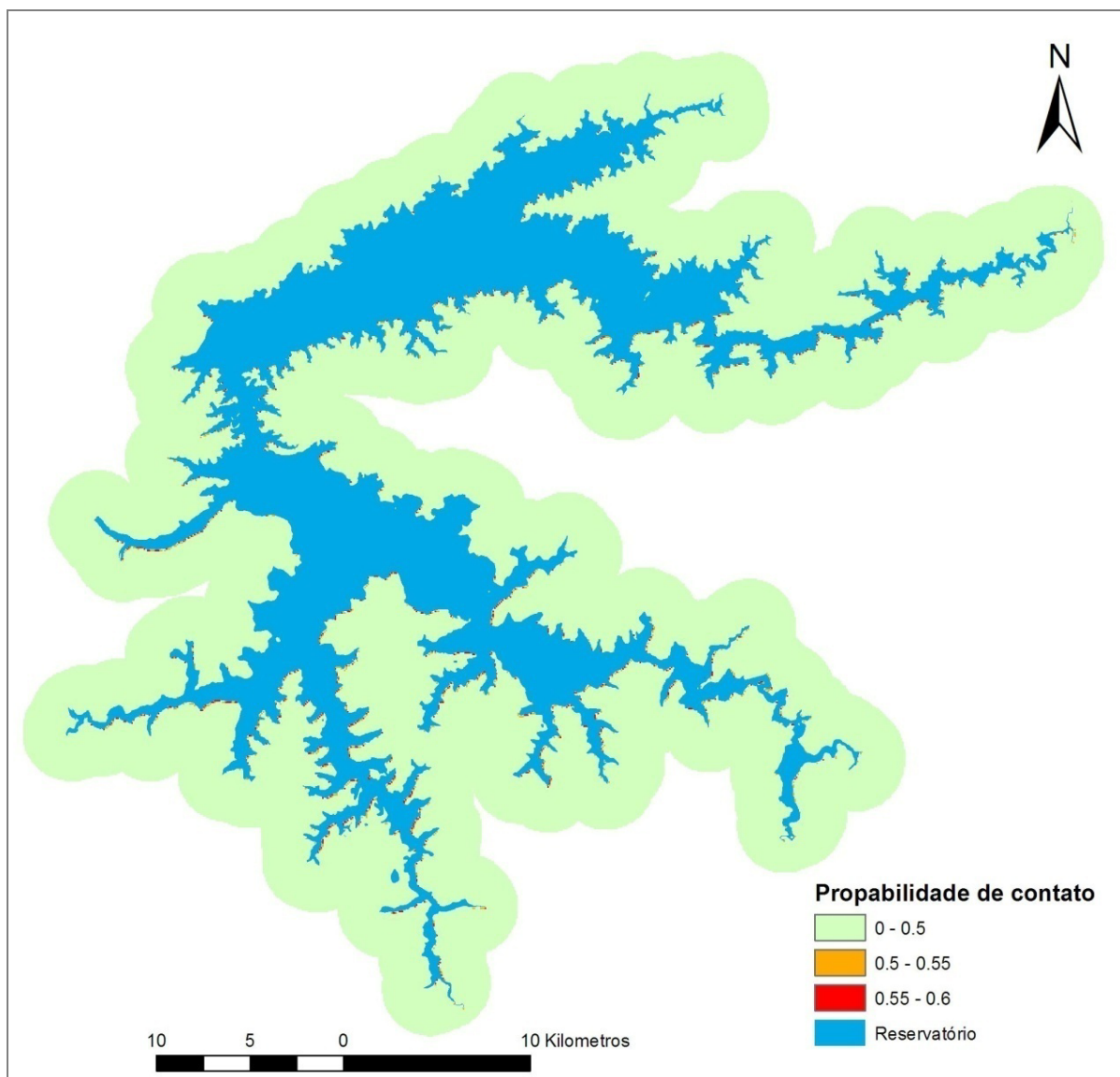


Figura 4. Mapa com a probabilidade prevista (logit) de IPHH maior *cut value* durante a estação seca na fase de operação da usina.

Tabela 4. Coeficientes (B) da regressão logística múltipla ("*forward stepwise*"), utilizados para modelação espacial da probabilidade (logit) de IPHHs maior do que *cut value* durante a estação chuvosa do período de operação da usina.

Variáveis exploratórias	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Dist	<b>-0,550</b>	0,120	20,807	1	0,000	0,577

Calculando-se, através de multiplicação entre a distância e o coeficiente obtido na Regressão Logística (B da Tabela 4), foi possível obter a distribuição das áreas susceptíveis à presença de *An. darlingi* durante a estação chuvosa na fase de operação da usina (Figura 5). Os resultados demonstram que a distribuição de *An. darlingi* durante a estação chuvosa é totalmente aleatória.

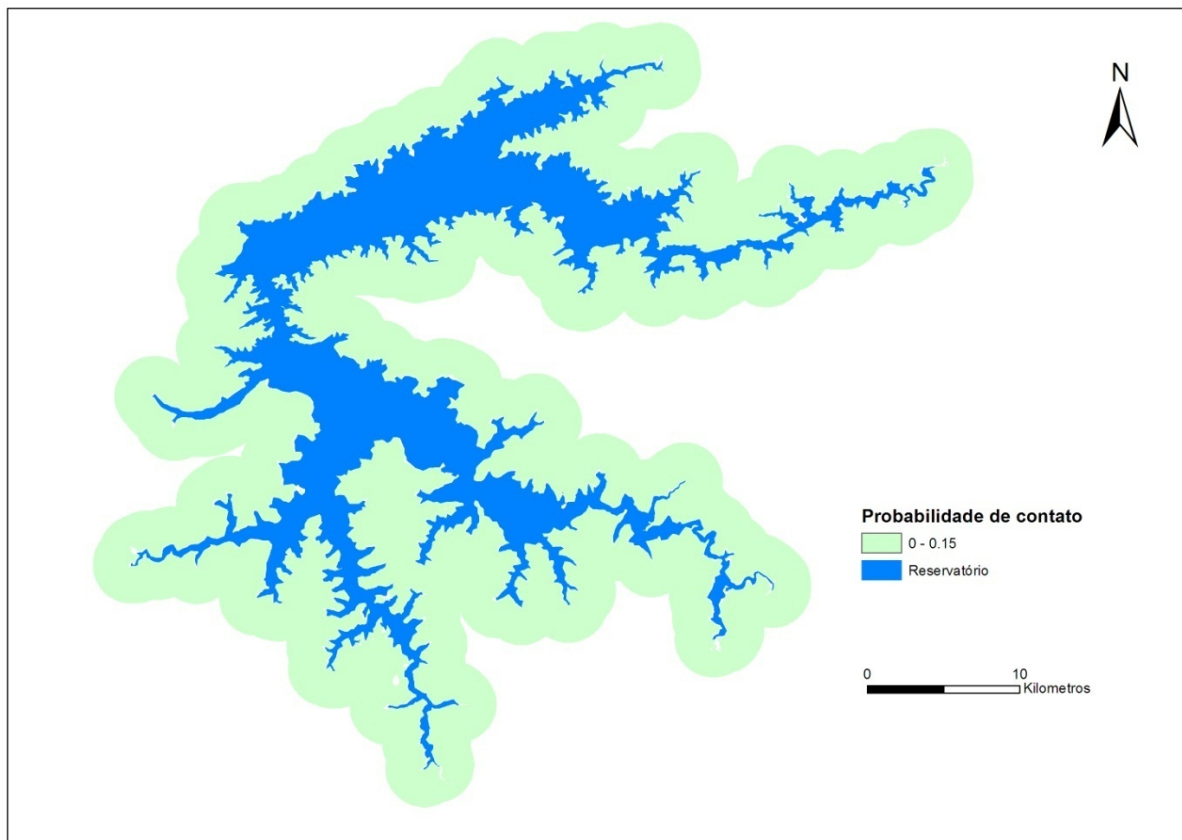


Figura 5. Mapa com a probabilidade prevista (logit) de IPHH maior *cut value* durante a estação chuvosa na fase de operação da usina. Em toda a área de influência, a probabilidade de contato não passa de 0.15 (aleatoriedade).

## 5. Conclusões

Os resultados apresentados neste estudo permitem chegar às seguintes conclusões:

- As técnicas de geoprocessamento e análise espacial aplicadas se mostraram apropriadas para uma parametrização dos habitats de *Anopheles*, principal vetor de malária no Brasil, na área de influência do reservatório da usina hidrelétrica de Manso.
- Para o período da primeira campanha de coletas, durante o enchimento do reservatório (nos anos de 2000 e 2001), foram obtidas regressões logísticas significativas para os modelos simples baseados nas variáveis “Distância da lagoa”, “Tipo de Vegetação” e “Tipo de Margem”. Com isto, as regiões próximas da lagoa, cobertas por florestas e em situações de enseada podem ser consideradas os habitats mais propícios para o vetor estudado.
- Durante o período de enchimento do reservatório existe um desequilíbrio do sistema, o que propicia aumento da população de *An. darlingi* na área de estudo. Isto aconteceu nos últimos dez meses antes do reservatório atingir o nível de operação.
- Após o término do enchimento e início de operação da usina (março de 2001), o sistema se reequilibra e percebe-se diminuição e estabilização da população de *An. darlingi*.
- Atualmente, a população de *An. darlingi* sofre variações intra-anuais, com diferenças significativas entre a estação seca e chuvosa. Os meses de maio, períodos em que o reservatório atinge seu nível máximo, são os que apresentam maior número de vetores.

## Referências Bibliográficas

Charlwood, J.; Alecrim, W.A.. Capture-recapture studies with the South American Malaria vector *Anopheles darlingi*, Root. **Tropical Medicine & Parasitology** v. 6, n. 683, p. 569-576, 1989.

Consoli, R. A. G. B.; Lourenço-de-Oliveira. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Fio Cruz, 1994. 225 p.

Minakawa, N.; Munga, S.; Atieli, F.K.; Mushinzimana, E.; Zhou, G.; Githeko, A.K.; Yan, G. Spatial distribution of anopheline larval habitats in western Kenya highlands: Effects of land cover types and topography. **American Journal of Tropical Medicine Hygiene**, v. 73, p. 157-165. 2005.

Pearce, J.; Ferrier, S. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. **Ecological Modelling**, v. 133, p. 225-245, 2000.

Pope, K. O.; Rejmánková, E.; Savage, H.M.; Arredondo-Jimenez, J.I.; Rodríguez, M.H.; Roberts, D.R. - Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. **Ecological Applications**, v. 4, p. 81-90, 1993.

Soares Gil, L.H. Alves, F. P. Zieher, H ; Salcedo, J.M. V.; Durlacher, R.R.; Cunha, R. P. A.; Tada, M.S.; Camargo, L. M. A.; Camargo, E. P.; Pereira-da-Silva, L.H.. Seasonal Malaria Transmission and Variation of Anopheline Density in Two Distinct Endemic Areas in Brazilian Amazônia **Journal of Medical Entomology**, v. 40, n. 5, p. 636-641, 2003.

Tadei W, Santos JMN, Costa WLS, Scardana VM. Biologia dos anofelinos amazonicos. XII. Ocorrência das espécies de Anopheles, dinâmica da transmissão e controle da malária na zona urbana de Ariquemes, Rondonia. **Revista do Instituto de Medicina Tropical** v. 30, p. 221-251, 1998.

Vasconcelos, C.H.; Novo, E.M.L.M.; Donalizio, M.R. Use of remote sensing to study the influence of environmental changes on malaria distribution in the Brazilian Amazon. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, p. 517-526, 2006.

Vittor, A.Y.; Gilman, R.H.; Tielsch, J.; Glass, G.; Shields, T.; Lozano, W.S.; Pinedo-Cancino, V.; Patz, J.A. The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of *Falciparum* malaria in the Peruvian Amazon. **American Journal Tropical Medicine Hygiene**., v. 74, p. 3-11, 2006.

Zeilhofer, P.; Santos, E. S. dos; Ribeiro, A. L. M.; Miyazaki, R. D.; Atanaka dos Santos, M.; Habitat suitability mapping of *Anopheles darlingi* in the surroundings of the Manso hydropower plant reservoir, Mato Grosso, Central Brazil. **International Journal of Health Geographical**. v.6, n. 7, 2007.