

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Instituto de Biologia**  
**Curso de Ciências Biológicas Bacharelado**



Trabalho de Conclusão de Curso

**Influência das mudanças climáticas na adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) na região Neotropical**

**Larissa Falkemberg de Melo**

Pelotas, 2018

**Larissa Falkemberg de Melo**

**Influência das mudanças climáticas na adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) na região neotropical**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biologia da UFPel como requisito básico para a conclusão do Curso de Ciências Biológicas Bacharelado.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Rodrigo Ferreira Krüger  
Coorientadora: Msc. Roberta Marques

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

M528i Melo, Larissa Falkemberg de

Influência das mudanças climáticas na adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) na região neotropical / Larissa Falkemberg de Melo ; Rodrigo Ferreira Krüger, orientador ; Roberta Marques, coorientadora. — Pelotas, 2018.

22 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) — Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Modelagem de nicho. 2. Malária. 3. Vetores. 4. Distribuição geográfica. I. Krüger, Rodrigo Ferreira, orient. II. Marques, Roberta, coorient. III. Título.

CDD : 614.532

Larissa Falkenberg de Melo

Influência das mudanças climáticas na adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) na região Neotropical

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 22 de Novembro de 2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Krüger (Orientador)  
Doutor em Entomologia pela Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Marco da Silva Gottschalk  
Doutor em Biologia Animal pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Marcos Marreiro Villela  
Doutor em Ciências da Saúde - Doenças Parasitárias pelo Centro de Pesquisas René Rachou - FIOCRUZ

## Resumo

MELO, Larissa Falkemberg de. **Influência das mudanças climáticas na adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) na região Neotropical**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciências Biológicas Bacharelado, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2018.22p.

Atividades antropogênicas impulsionam as emissões de gases do efeito estufa, causando mudanças climáticas globais que podem influenciar na migração de doenças típicas de zonas tropicais, como a malária, para zonas temperadas. *Anopheles aquasalis* é considerado um dos vetores primários da malária na América do Sul, doença que ainda é um grande problema de saúde pública no mundo. Visto isso, objetiva-se modelar a adequabilidade ambiental de *A. aquasalis*, para o presente e futuro em dois diferentes cenários de mudanças climáticas, o otimista, onde há menores emissões de gases do efeito estufa, e pessimista, em que as emissões de gases poluentes são maiores, para a região Neotropical. A modelagem de adequabilidade ambiental foi realizada no algoritmo MaxEnt, com seis camadas bioclimáticas de temperatura e pluviosidade disponíveis no WorldClim, para os cenários presente, futuro otimista e pessimista 2070. O modelo utilizado foi o HadGEM2-ES do IPCC AR5, para avaliação do modelo utilizamos o AUC mediano. Os resultados indicam uma concentração de pontos de ocorrência de *A. aquasalis* nos litorais, principalmente ao norte da América do Sul, ao sul da América Central e em algumas ilhas do Caribe. No cenário presente a adequabilidade ambiental é alta em regiões costeiras como no Nordeste brasileiro, norte da América do Sul e em boa parte da América Central. No interior do continente a adequabilidade só é alta no norte do Brasil e sul da Colômbia. No futuro otimista, quando comparado ao presente, a adequabilidade ambiental é maior no Nordeste brasileiro, nos países ao norte da América do Sul, no Amazonas e Colômbia. No futuro pessimista a adequabilidade diminui no norte da América do Sul bem como no Norte do Brasil, por outro lado, aumenta no Nordeste brasileiro, na costa leste da América do Sul e em alguns pontos da América Central. As variáveis climáticas que mais contribuíram para o modelo foram a Bio 2 (média da amplitude térmica diária) e a Bio 7 (amplitude da temperatura anual), ambas relacionadas a amplitude da temperatura. Conclui-se que a espécie tem potencial de invasão para novas regiões geográficas, como os países ao norte da América Central, evidenciando que as mudanças climáticas podem influenciar na sua distribuição, além disso, as regiões geográficas mais adequadas à ocorrência de *A. aquasalis* são os ambientes costeiros.

**Palavras-chave:** modelagem de nicho; malária; vetores; distribuição geográfica.

## Abstract

MELO, Larissa Falkemberg de. **Influence of climatic changes on environmental suitability of *Anopheles aquasalis* (Diptera: Culicidae) in the Neotropical Region.** 2018, Course Conclusion work- Bachelor of Biological Sciences course, Institute of Biology, Federal University of Pelotas, 2018. 22p.

Anthropogenic activities boost emissions of greenhouse gases causing global climate change that can influence the migration of typical diseases of the tropics, such as malaria, to temperate zones. *Anopheles aquasalis* is considered one of the primary vectors of malaria in South America, a disease that is still a major public health problem in the world. Given this, the objective is to model the environmental suitability of *A. aquasalis* for the present and future in two different climate change scenarios, the optimistic, where there are lower emissions of greenhouse gases, and pessimistic, where the emissions of polluting gases are higher, for the Neotropical region. The model of environmental suitability was performed in the MaxEnt algorithm, with six layers of bioclimatic temperature and rainfall available in the WorldClim, for the scenarios present, future optimistic and pessimistic 2070. The model used was HadGEM2-ES of the IPCC AR5, for evaluation of the model we used the median AUC. The results indicate a concentration of points of occurrence of *A. aquasalis* in the littoral, mainly to the north of South America, to the south of Central America and in some islands of the Caribbean. In the present scenario, environmental suitability is high in coastal regions such as Northeast Brazil, northern South America and much of Central America. Within the continent the suitability is only high in northern Brazil and southern Colombia. In the future optimistic, when compared to the present the environmental suitability is higher in the Brazilian Northeast, countries of the north of South America, in the Amazonas and Colombia. In the pessimistic future the suitability decreases in northern South America as well as in Northern Brazil on the other hand, it increases in the Brazilian Northeast, on the eastern coast of South America and in some points of Central America. The climatic variables that contributed most to the model were Bio 2 (average of the daily thermal amplitude) and Bio 7 (amplitude of the annual temperature), both related to the temperature range. Concluded that the species has potential for invasion to new geographic regions, such as the countries of northern Central America, showing that climate change can influence its distribution, in addition, the geographical regions most appropriate to the occurrence of *A. aquasalis* are the coastal environments.

**Key-words:** niche modeling; malaria; vectors; geographic distribution.

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.2 Objetivo Específico.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Material e Métodos.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Banco de Dados.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Modelagem de Adequabilidade Ambiental.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Resultados.....</b>	<b>12</b>
<b>4 Discussão.....</b>	<b>15</b>
<b>5 Conclusão.....</b>	<b>18</b>
<b>Referências.....</b>	<b>19</b>

## 1 Introdução

Algumas atividades antropogênicas como o crescimento econômico e populacional, mudanças associadas ao uso de energia e do solo, grande industrialização e aumento no número de veículos, impulsionam as emissões de gases do efeito estufa. Essas emissões contínuas de gases de efeito estufa antropogênicos causam mudanças climáticas globais, que por sua vez, influenciam diretamente os ecossistemas. As alterações climáticas afetam a precipitação e o degelo alterando sistemas hidrológicos, aumentam a probabilidade de impactos severos, além de fazer com que espécies terrestres e aquáticas alterem sua distribuição, comportamento e abundância (IPCC, 2015).

As mudanças climáticas têm influenciado no aumento e intensificação de incidências de doenças infecciosas e parasitárias. Podem levar a migração de doenças típicas de zonas tropicais para zonas temperadas, isso ocorre porque as mudanças climáticas modificam a distribuição dos vetores dessas doenças, que tendem a migrar para ambientes mais adequados. Além disso, pode favorecer o aumento da abundância de espécies vetoras o que intensifica a taxa de transmissão de patógenos (VAZ, 2010; IPCC, 2015).

As modelagens de distribuição geográfica de espécies e de nicho ecológico (MNE) possibilitam verificar e indicar as condições ambientais, como temperatura e pluviosidade, que são necessárias à ocorrência de espécies e como as mudanças climáticas podem influenciar na sua distribuição (SOBERÓN; PETERSON, 2005; PETERSON et al. 2011). Logo, a MNE permite estudar os limites de alcance geográfico de vetores, o que é essencial para a compreensão da dinâmica de doenças transmissíveis e para o sucesso das atividades de controle e vigilância epidemiológica (PETERSON, 2014; CARVALHO et al. 2015; CECCARELLI et al. 2015).

Estudos realizados em todo o mundo utilizaram a MNE para predizer novas áreas de ocorrência de vetores de patógenos.



Seus resultados mostram que as mudanças climáticas previstas para o futuro têm poder de alterar as regiões de adequabilidade ambiental das espécies que são importantes para saúde pública e sanidade animal (PETERSON, 2001; CAMPBELL et al. 2015; CARVALHO et al. 2015; CUNHA, 2015; MARQUES et al. 2017).

Entre as espécies de vetores, os mais importantes transmissores de arboviroses e patógenos são as espécies de *Anopheles* (Diptera, Culicidae). As fêmeas de *Anopheles* apresentam hábito hematófago, comportamento alimentar essencial para o desenvolvimento do ciclo biológico desses insetos. Durante o repasto sanguíneo esses vetores, se estiverem infectados, transmitem os agentes patogênicos da malária. No Neotrópico existem três espécies de parasitos causadores da doença, que são os protozoários *Plasmodium vivax*, *P. falciparum* e *P. malariae* (NEVES, 2011). Na região Neotropical existem quinze espécies com grande importância na vetorização da malária. Entre estas espécies, *Anopheles aquasalis* Curry, 1932 ocorre desde o sudeste do Brasil, na América do Sul até a Costa Rica na América Central. Esta espécie é considerada vetor primário da malária nesses locais devido à alta densidade populacional nos períodos de alta pluviosidade, sendo frequentemente encontrada em ambientes peridomiciliares (RÊBELO et al. 1997; CONSOLI; OLIVEIRA, 1998; REY, 2008).

*Anopheles aquasalis* é uma espécie encontrada principalmente em regiões costeiras, pelo fato de seu desenvolvimento ser preferencialmente em águas salobras, porém as formas imaturas também são encontradas em ambientes de água doce (GRILLET, 2000). Por tais características, a pluviosidade e temperatura são fatores limitantes ao desenvolvimento deste inseto (CONSOLI; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO et al. 2002; NEVES, 2011).

A malária até hoje é um grande problema de saúde pública no mundo e é uma das doenças infecciosas mais importantes nas regiões tropicais e subtropicais. Na América do Sul, os estados da região Amazônica são os que apresentam maior taxa de infecção. Segundo o Ministério da Saúde (2015), no ano de 2014 foram registrados 143.552 casos de malária na região Amazônica e, segundo Organização Pan-Americana de Saúde, em 2017 foram notificados 174.522 casos de malária, indicando um aumento na incidência da doença. A malária é uma doença sistêmica provocando alterações na maioria dos órgãos que pode se manifestar desde formas benignas até fatais. Ainda não existe vacina para prevenção de novas infecções, sendo o tratamento com fármacos o principal modo de combate à doença, contudo,

a resistência dos plasmódios a quimioterápicos já é registrada desde 1910 (REY, 2008; NEVES, 2011).

Visto que a malária é uma doença com grande importância na saúde pública, é muito importante conhecer a distribuição geográfica e adequabilidade ambiental atual e futura dos seus vetores. A modelagem de nicho ecológico tem ganhado espaço entre os trabalhos de ecologia, tanto que já existem diversos trabalhos sobre o assunto com diferentes metodologias e com outras espécies de anofelinos.

Para o continente sul americano, Laporta et al. (2015) modelaram a adequabilidade ambiental de diversas espécies *Anopheles* e também do patógeno *P. falciparum* para o cenário atual e futuro com diferentes modelos e, além das camadas bioclimáticas, eles também utilizaram os biomas terrestres. Alimi et al. (2015) modelaram adequabilidade ambiental atual e futura de *A. darlingi*, *A. nuneztovari* e de casos de malária de ambos patógenos, *P. vivax* e *P. falciparum* para a porção norte da América do Sul. Para o noroeste colombiano há o trabalho de Altamiranda-Saavedra et al. (2017) com *A. nuneztovari*, *A. albimanus* e *A. darlingi* para o cenário atual, utilizando como camadas ambientais a atividade fotossintética. Para *A. aquasalis* existem dois trabalhos, Cunha (2015) que modelou adequabilidade ambiental para a América do Sul e projetou para o futuro com dois modelos diferentes e Sinka et al. (2010) que realizaram a modelagem para o Neotrópico, porém somente para o cenário atual.

*Anopheles aquasalis* é um dos vetores primários dos patógenos da malária na América do Sul nos lugares onde ocorre. Essa doença ainda apresenta alto risco de infecção principalmente em países e estados da Amazônia legal (NEVES, 2011; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015). Modelar a adequabilidade ambiental futura deste inseto é importante, pois, possibilita prever locais ambientalmente adequados para a espécie e, desta forma, proporciona indicar as regiões às quais a possibilidade de ocorrência dela seja maior, influenciando nas taxas de infecções. Assim os resultados deste estudo permitirão gerar informações necessárias à implementação de medidas de prevenção e controle dos vetores, a fim de diminuir a transmissão dos agentes da malária, visto que ainda não existe vacinação para esta doença.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Modelar a adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis*, para o cenário climático atual e futuro 2070 em dois diferentes cenários de emissão de gases do efeito estufa, otimista (RCP 2.6) e pessimista (RCP 8.5) na Região Neotropical.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Indicar as regiões geográficas atuais e futuras com maior adequabilidade ambiental de *A. aquasalis*, a fim de evidenciar áreas de invasão potencial da espécie.

Verificar quais as variáveis climáticas que mais influenciam na distribuição desta espécie de *Anopheles*.

## **2 Material e Métodos**

### **2.1 Banco de dados**

Os dados de ocorrência do vetor para América do Sul são provenientes de Cunha (2015). Foram realizadas buscas para complementação do banco de dados para outras regiões do Neotrópico através de publicações disponíveis que continham informações do local da coleta de *Anopheles aquasalis*, utilizando as seguintes palavras chave: “*distribution*”, “*neotropical*”, “*Anopheles aquasalis*”, “*vector malaria*”, em bases de dados como *Web of Science*, *Google Scholar*, *Scielo*, além, das referências encontradas nos artigos utilizados. Também foram pesquisados registros em bancos de dados digitais como o GBIF e o *SpeciesLink*. As coordenadas geográficas foram confirmadas, ou quando ausentes obtidas pelo *Software Google Earth* utilizando o ponto central da cidade da coleta. Todos os dados foram organizados em planilha eletrônica contendo oito colunas: espécie, país, estado, cidade, coordenada geográfica, longitude, latitude e referência.

Com o intuito de minimizar o viés amostral, todas as localidades repetidas foram excluídas e, um filtro ambiental segundo Varela et al. (2014) foi realizado no RStudio, para selecionar as ocorrências que são ambientalmente equidistantes, assim, o resultado desse filtro foi utilizado como *input* para geração dos modelos.

### **2.2 Modelagem de Adequabilidade Ambiental**

A modelagem de adequabilidade ambiental foi realizada no algoritmo MaxEnt (3.4.0), com 6 camadas bioclimáticas disponíveis no WorldClim (<http://www.worldclim.org>): Bio2, Bio6, Bio7, Bio8, Bio9 e Bio19. Para a escolha das camadas, foi realizada a análise com as dezenove camadas bioclimáticas disponíveis no WorldClim, as variáveis que menos contribuíram para o modelo foram excluídas. A análise foi refeita apenas com as camadas selecionadas por apresentarem maior contribuição para o modelo, para isso foi utilizado Jackknife como métrica.

A projeção foi feita para o cenário atual, futuro otimista 2070, quando há menores previsões de emissões de gases do efeito estufa, e futuro pessimista 2070, em que as emissões de gases poluentes são maiores, tendo a previsão de um aumento médio de 4°C na temperatura da Terra (IPCC, 2015).

O modelo utilizado foi o HadGEM2-ES do IPCC AR5 que prediz maiores variações, tanto de temperatura, quanto de pluviosidade para os cenários futuros, além disso é um dos modelos que se mostrou satisfatório para projetar as variações climáticas (SILVEIRA, et al. 2013). Para avaliação do modelo utilizamos o AUC (Area Under Curve) mediano, que mede a área sob a curva, revelando o quanto a discriminação do modelo foi satisfatória.

### 3 Resultados

Um total de 108 pontos de ocorrência de *A. aquasalis* foram incluídos na análise. Os resultados indicam uma concentração de pontos de ocorrência da espécie no litoral leste da América do Sul, principalmente nos países mais ao norte do continente, nos países ao sul da América Central e em algumas ilhas do Caribe. Pontos de ocorrência localizados no interior do continente só foram encontrados na região Norte do Brasil, principalmente no estado Amazonas (Figura 1a).

A adequabilidade ambiental da espécie no presente é alta em regiões costeiras, como nos estados do Nordeste, principalmente na Bahia, e norte brasileiro e nos países do norte da América do Sul, como o Suriname, Guiana e Guiana Francesa. Em algumas ilhas do mar do Caribe como a Jamaica e Bahamas e na costa da maioria dos países da América Central a adequabilidade ambiental apresenta-se alta, com exceção da Costa Rica e El Salvador. Em regiões localizadas no interior do continente, áreas com alta adequabilidade ocorrem em estados do Norte do Brasil e no sul da Colômbia na fronteira com Brasil e Peru, acompanhando o curso de rios, como o rio Amazonas e rio Negro. Nas regiões ao sul da América do Sul a adequabilidade acompanha a costa até o estado de Santa Catarina, porém, não é tão alta. Na costa oeste do continente a adequabilidade ambiental só é alta no Equador e na Colômbia. Neste cenário, pode-se observar que a adequabilidade ambiental chega até a costa leste do México, no entanto é baixa (Figura 1 b).

Na modelagem para o futuro otimista, a adequabilidade ambiental de *A. aquasalis*, quando comparado ao presente, apresenta aumento na costa do Nordeste brasileiro, da Colômbia e Equador. No interior do continente a adequabilidade indica uma expansão em área geográfica, abrangendo maior parte do estado do Amazonas, chegando até o Acre, e na porção leste da Colômbia. Neste cenário, na costa mexicana a adequabilidade ambiental é mais baixa. Nas regiões ao sul da América do Sul, na América Central e ilhas do Caribe, a adequação se mantém semelhante ao cenário presente (Figura 1 c).

No futuro pessimista, quando comparado ao presente, a adequabilidade ambiental para a espécie é mais baixa no Suriname, Guianas, Amazonas e Pará, ela também diminui na costa do México e no Sul do Brasil. Por outro lado, a adequabilidade se intensifica na costa do Nordeste brasileiro, Colômbia e Equador. Na América Central também apresenta aumento, principalmente no Panamá, Nicarágua e Honduras, bem como nas ilhas República Dominicana e Haiti (Figura 1 d).

As variáveis que mais apresentaram ganho para o modelo foram: média da amplitude térmica diária (média mensal temperatura máxima – temperatura mínima) (Bio2 – 41,65%) com limites entre 4,5°C e 6°C e probabilidade de 0,8 de ocorrência, amplitude da temperatura anual (Bio7 – 20,16%) com pico em 8°C e probabilidade de ocorrência de 0,65 e a temperatura mínima no mês mais frio (Bio 6 – 17,47%). Seguidas por precipitação do trimestre mais frio (Bio 19 - 12,83%) apresentando pico 150 mm de precipitação, com 0,7 de probabilidade de ocorrência.

Os modelos gerados apresentaram AUC superiores a 0,9 para todos os cenários (Tabela 1).

Tabela1: Resultados de AUC para os diferentes cenários.

Cenários	AUC
Atual	0,93
Futuro Otimista (RCP 2.6)	0,94
Futuro Pessimista (RCP 8.5)	0,94

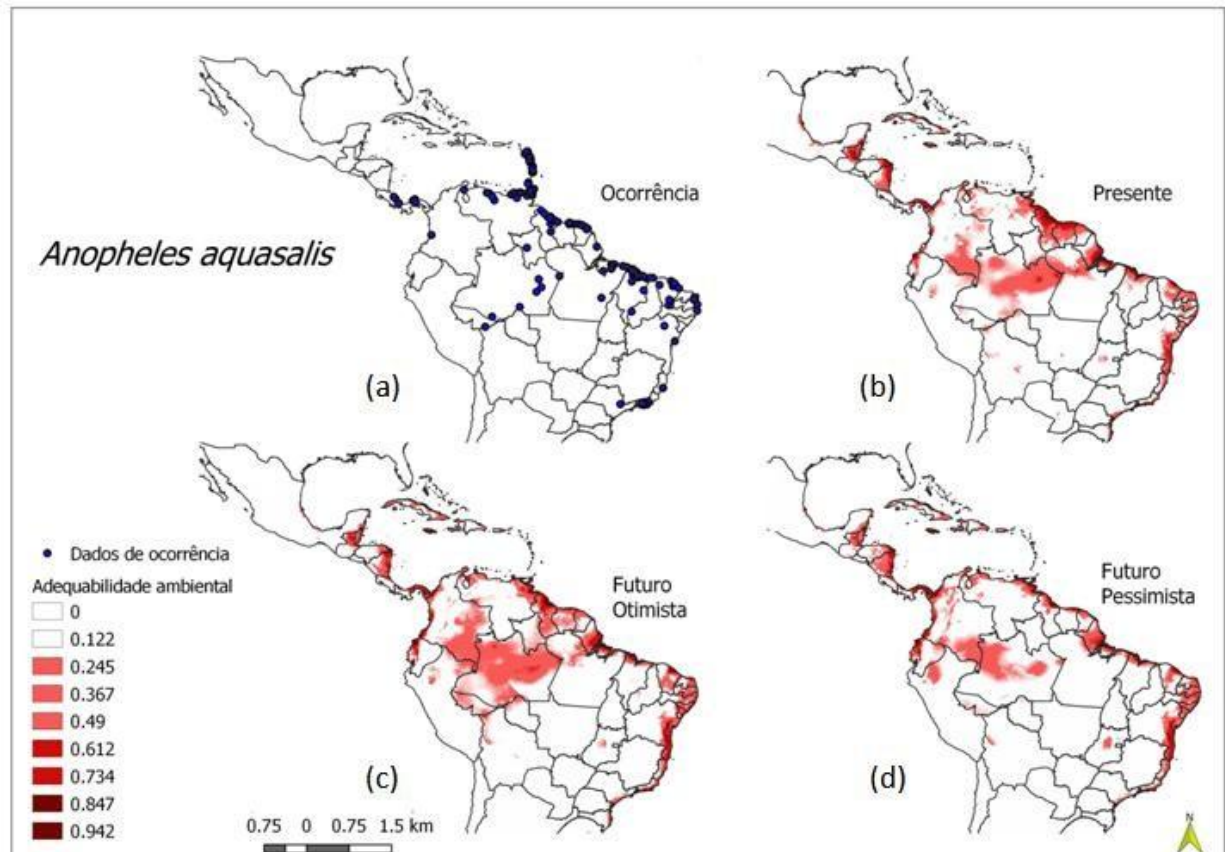


Figura 1: Modelagem de adequabilidade ambiental de *Anopheles aquasalis* para a região Neotropical. a- pontos de ocorrência; b- cenário atual AUC: 0,93; c- cenário futuro otimista RCP 2.6 2070 AUC: 0,94; d- cenário futuro pessimista RCP 8.5 2070 AUC: 0,94.



## 4 Discussão

Os modelos gerados apresentaram AUC superiores a 0,9 para todos os cenários, o que é avaliado com boa discriminação, estando acima de resultados considerados aleatórios (ELITH, 2000).

Como observamos em nossos resultados, a maior concentração de pontos de ocorrência para *A. aquasalis* são em áreas costeiras, isso provavelmente ocorre pelo fato dessa espécie ter preferência por ambientes de água salobra para o desenvolvimento das suas formas imaturas (CONSOLI; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO et al. 2002), porém como evidenciado por Grillet (2000), imaturos de *A. aquasalis* também são encontrados em ambientes de água doce, o que explica os pontos de ocorrência no interior do continente como no Amazonas e Acre, bem como a alta adequabilidade ambiental nessas mesmas regiões.

Nossos resultados são semelhantes aos de Cunha (2015) que modelou a adequabilidade ambiental de *A. aquasalis* para América do Sul, com dois modelos diferentes, no qual, é evidenciada alta adequação de *A. aquasalis* para regiões costeiras principalmente no norte do continente. Por outro lado, na região amazônica Cunha (2015) não evidenciou alta adequabilidade ambiental, como neste trabalho. Essa diferença provavelmente se dá por conta dos pontos incluídos na análise, Cunha (2015) utilizou 79 pontos de ocorrência para *A. aquasalis*, nós utilizamos 108, além disso, Cunha (2015) não utilizou os pontos do Amazonas e de alguns estados do Nordeste que foram incluídos no nosso trabalho.

Como apresentado em nossos resultados, na porção oeste do continente sul americano, alta adequabilidade ambiental ocorre apenas no litoral da Colômbia e Equador, da mesma forma acontece para *A. albimanus*, conforme evidenciaram Altamiranda-Saavedra et al. (2017) que realizaram a modelagem de adequabilidade ambiental atual para outras espécies de anofelinos vetores do patógeno da malária, em uma região do oeste colombiano no cenário atual. Estes autores utilizaram como variável ambiental o índice de vegetação por diferença normalizada, que é uma medida da atividade fotossintética, e demonstraram que o modelo para *A. darlingi*

indicou que as localidades que apresentaram maior adequabilidade para espécie foram ao entorno de dois importantes rios da região, da mesma forma que ocorre para *A. aquasalis* na região amazônica neste estudo onde utilizamos as camadas bioclimáticas como variáveis ambientais.

Laporta et al. (2015) indicam a presença do parasito causador da malária, *Plasmodium falciparum*, em regiões norte da América do Sul e do Brasil, locais onde evidenciamos que a adequabilidade ambiental de *A. aquasalis* é alta, portanto, são lugares onde há elevada possibilidade de transmissão do patógeno. Além disso, esses autores demonstraram, utilizando o mesmo modelo que nós (HadGEN2-ES), que a adequabilidade ambiental para o futuro pessimista de *P. falciparum* nestas regiões é alta, bem como acontece para alguns vetores. Por outro lado, a adequabilidade ambiental do parasito na costa leste do continente é baixa, diferente do que acontece para *A. aquasalis*.

Outros autores que modelaram a adequabilidade ambiental da malária, usando ocorrências da doença causadas por *P. falciparum* e *P. vivax* somados foram Alimi et al. (2015) que evidenciaram alta adequabilidade ambiental dos parasitos no cenário atual para áreas do Amazonas, principalmente ao entorno do Rio Amazonas, bem como observamos para *A. aquasalis*. Para o cenário futuro otimista, Alimi et al. (2015), que também utilizaram um modelo da Hadley para o ano de 2070, indicou que a adequabilidade ambiental de malária é maior no Amazonas, na costa da Guiana e Suriname, e no Norte da Colômbia, resultados semelhantes ao que encontramos para *A. aquasalis*.

Alimi et al. (2015), modelaram adequabilidade ambiental de duas espécies de *Anopheles*, *A. nuneztovari* e *A. darlingi*, além das camadas bioclimáticas eles utilizaram mais quatro camadas, altitude, populacional, umidade relativa e de cobertura da terra, e observaram que a camada de altitude foi a que mais contribui tanto para os modelos das espécies de *Anopheles*, quanto para o modelo da malária, neste trabalho não incluímos camada de altitude por ela não ter apresentado ganho para o modelo.

Há estudos de modelagem, como de Levine et al. (2004), com outras espécies do gênero *Anopheles* que ressaltam as variáveis climáticas de precipitação e temperatura mínima como as que mais demonstraram ganho no modelo. Neste trabalho essas variáveis apresentaram contribuição para o modelo, mas não foram as principais. Por outro lado, Levine et al (2004), indicaram que para *A.*

*quadriannulatus* a amplitude térmica diária não teve grande influência no modelo, ao contrário do que observamos para *A. aquasalis*.

Como observado aqui e por outros autores que modelaram a adequabilidade ambiental de espécies de *Anopheles* para o futuro, as mudanças climáticas podem afetar a distribuição futura desse vetor, uma vez que as regiões geográficas ambientalmente adequadas para a espécie no presente podem não ser as mesmas no futuro.

## 5 Conclusão

Conclui-se que as regiões geográficas mais adequadas à ocorrência de *A. aquasalis* são os ambientes costeiros. Isso pode estar relacionado ao desenvolvimento dos imaturos que acontece preferencialmente em águas salobras, mas como foi observado neste estudo, a espécie também apresenta alta adequabilidade ambiental ao entorno de rios localizados mais no interior do continente, como acontece no norte do Brasil onde a adequabilidade acompanha o curso de alguns rios como o Rio Amazonas. Os resultados mostram que as variáveis que mais contribuíram no modelo foram as de amplitude térmica, e indicam que quanto maior for a variação de temperatura, menor é a probabilidade de ocorrência do vetor.

Vale ressaltar que pelos fatores climáticos a espécie tem potencial de invasão para novas regiões, onde ela ainda não foi apontada, como nos países ao norte da América Central, no Equador e na costa mais ao Sul do Brasil e do México. Além disso, levando em conta os fatores ambientais que foram testados neste trabalho, de temperatura e pluviosidade, podemos concluir que as mudanças climáticas podem influenciar na adequabilidade ambiental de *A. aquasalis*, o que conseqüentemente potencializa o deslocamento do vetor para novas áreas geográficas, podendo afetar a epidemiologia da doença.

## Referências

- ALIMI, T. O.; FULLER, D. O.; QUALLS, W. A.; HERRERA, S. V.; AREVALO-HERRERA, M.; QUINONES, M. L.; LACERDA, M. V. G.; BEIER, J. C. Predicting potential ranges of primary malaria vectors and malaria in northern South America based on projected changes in climate, land cover and human population. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 431, p. 1-16, 2015.
- ALTAMIRANDA-SAAVEDRA, M.; ARBOLEDA, S.; PARRA, J. L.; PETERSON, A. T.; CORREA, M. M. Potential distribution of mosquito vector species in a primary malaria endemic region of Colombia. **PLOS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1-14, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim Epidemiológico**, v. 46, n.25, 2015.
- CAMPBELL, L. P.; LUTHER, C.; MOO-LLANES, D.; RAMSEY, J. M.; DANISLOZANO, R.; PETERSON, A. T. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. **Philosophical Transactions Royal Society**, v. 370, n. 1, p. 1-9, 2015.
- CARVALHO, B. M.; RANGEL, E. F.; READY, P. D.; VALE, M. M. Ecological niche modelling predicts southward expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under climate change. **PLOS ONE**, v. 10, n. 11, p. 1-21, 2015.
- CARVALHO, S. C. G.; MARTINS JUNIOR, A. J.; LIMA, J. B. P.; VELLE, D. Temperature influence on embryonic development of *Anopheles albitarsis* and *Anopheles aquasalis*. **Mem Inst Oswaldo Cruz**, v. 97, n.8, p. 1117-11120, 2002.
- CECCARELLI, S.; BALSALOBRE, A.; SUSEVICH, M. L.; ECHEVERRIA, M. G.; GORLA, D. E.; MARTI, G. A.; Modelling the potential geographic distribution of triatomines infected by Triatoma virus in the southern cone of South America. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 153, p. 1-9, 2015.
- CONSOLI, R. A. G. B.; OLIVEIRA, Ricardo Lourenço de. **Principais mosquitos de importância sanitária do Brasil**. 1ª ed. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1998. 228 p.
- CUNHA, Samuel Kabke da. **Padrões de distribuição atual e futuro de *Anopheles* (Diptera: Culicidae) na América do Sul**. 2015.125f. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

ELITH, Jane. Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. In: **Quantitative methods for conservation biology**. Springer New York, 2000. p. 39-58

GRILLET, M. E. Factors associated with distribution of *Anopheles aquasalis* and *Anopheles oswaldoi* (diptera: culicidae) in a malarious area, northeastern Venezuela. **Journal of Medical Entomology**, v. 37, n. 2, p. 231-238.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, IPCC: **Climate Change 2014: Synthesis Report, 2014**. Disponível em: <  
[https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>.  
 Acessado em: 11 de Dezembro de 2017.

LAPORTA, G. Z.; LINTON, Y. M.; WILKERSON, R. C.; BERGO, E. S.; NAGAKI, S. S.; SANT'ANA, D. C.; SALLUM, M. A. M. Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 426, p. 1-13, 2015

LEVINE, R. S.; PETERSON, A. T.; BENEDICT, M. Q. Geographic and ecologic distributions of the *Anopheles gambiae* complex predicted using a genetic algorithm. **American Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 70, n. 2, p. 105–109, 2004.

MARQUES, R.; ALVES, D. M. C. C.; VICENZI, N.; KROLOW, T. K.; KRÜGER, R. F. O aquecimento global irá alterar a distribuição geográfica de *Lepiselaga Crassipes* (Diptera: Tabanidae), vetor de tripanossomíases em equinos, na região neotropical. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 1, p. 27-41, 2017.

NEVES, David Pereira. **Parasitologia humana**. 12<sup>a</sup>ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 546 p.

Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. **Actualización Epidemiológica: Aumento de malaria en las Américas**, 30 de enero de 2018, Washington, D.C. OPS/OMS. 2018.

PETERSON, A. Townsend. **Mapping disease transmission risk: enriching models using biogeography and ecology**. Maryland: Johns Hopkins University Press, 2014. 225 p.

PETERSON, A. T. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. **The Condor**, v. 103, n. 3, p. 599-605, 2001.

PETERSON, A. Townsend; SOBERÓN, Jorge; PEARSON, Richard G.; ANDERSON, Robert P.; MARTÍNEZ-MEYER, Enrique; NAKAMURA, Miguel; ARAÚJO, Miguel Bastos. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. Princeton: Princeton University Press, 2011. 329 p.

REBÊLO, J. M. M.; SILVA, A. R.; FERREIRA, L. A.; VIEIRA, J. A. *Anopheles* (Culicidae, Anophelinae) e a malária em Buriticupu-Santa Luzia, pré-amazônia maranhense. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 30, n. 2, p. 107-111, 1997.

REY, Luis. **Parasitologia**. 4ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 888 p.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA-FILHO, F. A.; COSTA, A. A.; CABRAL, S. L. Avaliação de desempenho dos modelos do cmip5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século xx sobre a região nordeste do brasil, amazônia e bacia do prata e análise das projeções para o cenário RCP 8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013.

SINKA, M. E.; RUBIO-PALIS, Y.; MANGUIN, S.; PATIL, P. P.; TEMPERLEY, W. H.; GETHING, P. W.; BOECKEL, T. V.; KABARIA, C. W.; HARBACH, R. E.; HAY, S. I. The dominant *Anopheles* vectors of human malaria in the Americas: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. **Parasites & Vectors**, v. 3, n. 72, p. 1-26, 2010.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1-10, 2005

VARELA, S.; ANDERSON, R. P.; GARCÍA-VALDÉS, R.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. Environmental filters reduce the effects of sampling bias and improve predictions of ecological niche models. **Ecography**, v. 37, p. 001- 008, 2014.

VAZ, D. S. Breves considerações sobre alterações climáticas, riscos ambientais e problemas de saúde. **Hygeia**, v. 6, n. 10, p. 60-66, 2010.