



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

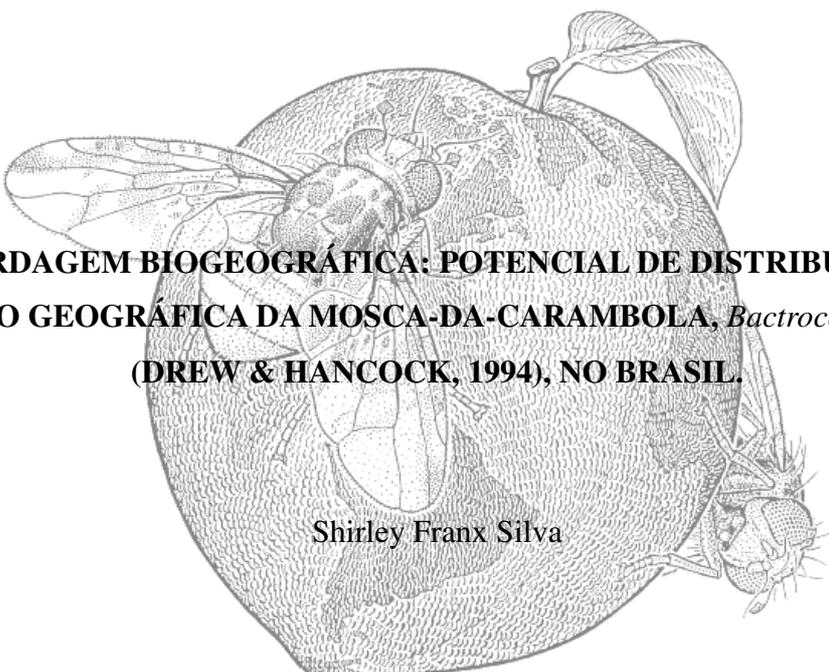
**ABORDAGEM BIOGEOGRÁFICA: POTENCIAL DE DISTRIBUIÇÃO E
EXTENSÃO GEOGRÁFICA DA MOSCA-DA-CARAMBOLA, *Bactrocera carambolae*
(DREW & HANCOCK, 1994), NO BRASIL.**

Shirley Franx Silva

Dissertação de Mestrado

Brasília - DF: agosto / 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA



**ABORDAGEM BIOGEOGRÁFICA: POTENCIAL DE DISTRIBUIÇÃO E
EXTENSÃO GEOGRÁFICA DA MOSCA-DA-CARAMBOLA, *Bactrocera carambolae*
(DREW & HANCOCK, 1994), NO BRASIL.**

Shirley Franx Silva

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ruth Elias de Paula Laranja

Co-orientadora: Dr.^a. Maria Regina Vilarinho de Oliveira

Dissertação de Mestrado

Brasília - DF: agosto / 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**ABORDAGEM BIOGEOGRÁFICA: POTENCIAL DE DISTRIBUIÇÃO E
EXTENSÃO GEOGRÁFICA DA MOSCA-DA-CARAMBOLA, *Bactrocera carambolae*
(DREW & HANCOCK, 1994), NO BRASIL.**

Shirley Franx Silva

Dissertação de mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial.

Aprovada por:

Prof.^a Dr.^a. Ruth Elias de Paula Laranja, Departamento de Geografia, UnB
(Orientadora)

Dr.^a. Maria Regina Vilarinho de Oliveira, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia
(Co-orientadora)

Dr. Norton Pólo Benito, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia
(Examinador externo)

Prof.^o Dr.^o. Mário Diniz de Araújo Neto, Departamento de Geografia, UnB
(Suplente)

Brasília-DF, 03 de agosto de 2010

Ficha Catalográfica

SILVA, SHIRLEY FRANX

Abordagem biogeográfica: potencial de distribuição e extensão geográfica da mosca-da-carambola *Bactrocera carambolae* (Drew & Hancock, 1994) no Brasil. Brasília. xiii, 71 p. : il. (UnB/IH/GEA, Mestre, Gestão Ambiental e Territorial, 2010).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Humanas. Departamento de Geografia.

- | | |
|-----------------------|---------------------------------|
| 1. Mosca-da-carambola | 2. Distribuição Potencial |
| 3. Biogeografia | 4. Modelagem do nicho ecológico |
| 5. openModeller | |

I. UnB-IH-GEA

II. Título (Série)

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Shirley Franx Silva

Aos meus pais, Sandra Regina e José
Luiz, meus exemplos de força, amor e
dignidade.

A Edson Nunes Alexandre, que está
sempre ao meu lado em todos os
momentos.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos às instituições, profissionais, colegas e familiares que com o seu conhecimento ou simplesmente com um pouco de sua atenção contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse estudo:

À Prof.^a Dr.^a. Ruth Elias de Paula Laranja, que prontamente aceitou me orientar e indicou os caminhos que deveria seguir desde a elaboração do projeto preliminar para ingresso no mestrado até a sua conclusão, dispensando apoio e compreensão.

À Dra. Maria Regina Vilarinho, por ter acreditado, confiado e me incentivado desde a graduação, quando iniciei o estágio sob sua orientação na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e tive a oportunidade de aprender sobre esse universo de pesquisa e enriquecer minha formação acadêmica e pessoal.

À Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia por todo o suporte e concessão da bolsa de mestrado. Bem como toda a equipe do Laboratório de Quarentena Vegetal (LQV) / Estação Quarentenária de Germoplasma Vegetal (EQGV), Prédio da Quarentena de Germoplasma, por todo apoio e atenção. Foram tantas pessoas que por lá passaram nesses anos, principalmente entre bolsistas e estagiários, que não seria correto da minha parte nomeá-los. Bem como a Sérgio Noronha e Mahalia Sojo, do Laboratório de Geoprocessamento – LGP, por me apresentarem o openModeller e a Luis Alberto Martins Palhares de Melo por todo incentivo desde a conclusão da graduação.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília, especialmente, Prof.^a Dr.^a. Lúcia Cony Faria Cidade, Prof.^a Dr.^a. Ruth Elias de Paula Laranja, Prof.^a Dr.^a. Marília Luiza Peluso, Prof.^o Dr. Neio Lucio de Oliveira Campos, Prof.^o Dr. Mário Diniz de Araújo Neto, pela contribuição das disciplinas cursadas, comentários, críticas e sugestões fundamentais para a concretização dessa dissertação. E aos funcionários do Departamento de Pós-Graduação, Jorge Luis, Érico e Flávia por toda a atenção.

Ao Dr. Norton Pólo Benito, pelas preciosas colaborações que tanto contribuíram para a conclusão desta.

Aos meus familiares, por serem a base de tudo, que colaboram para a minha formação e estão ao meu lado em todos os momentos. Pai, mãe, obrigada por todo o empenho, reconheço

todo o esforço que fizeram por meus irmãos e eu, cheguei até aqui e espero que isso possa ser um exemplo para que, um dia quem, sabe seu netos Raphael, Wenzel, Nathália, Ana Luísa e Maria Clara, os meus sobrinhos, entendam que é preciso e possível sim. Edson, minha vida, você é muito mais que eu poderia imaginar, estive sempre ao meu lado em cada momento da minha vida nos últimos dez anos e seu apoio fez com que mais esse sonho se tornasse realidade.

E finalmente, mas em primeiro lugar, a Deus.

RESUMO

A mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae*, endêmica do sudeste asiático chegou ao Brasil em 1996, no município de Oiapoque, Amapá, onde se encontra restrita e sob controle oficial. Apesar do nome, pode atacar cerca de 100 espécies de fruteiras e não fruteiras. Essa característica desperta a atenção para a ameaça potencial à produção do agronegócio, em especial à fruticultura que além de contribuir para o crescimento da economia brasileira é ainda uma questão de segurança nacional. Os vários exemplos de invasões de moscas-das-frutas do complexo *Bactrocera dorsalis* em diversos países, tem demonstrado o quanto é dispendioso a erradicação dessas pragas uma vez que as mesmas sejam introduzidas e estabelecidas. Desta forma, ressalta-se a importância da elaboração de medidas visando fornecer subsídios à tomada de decisões e políticas públicas voltadas à prevenção da dispersão de *B. carambolae*. A modelagem do nicho ecológico é uma das alternativas que podem ser utilizadas com o intuito de identificar antecipadamente novas áreas que sejam favoráveis à sobrevivência de populações de uma espécie produzindo um mapa de distribuição potencial para essa. Assim, por meio da modelagem de nicho ecológico foi identificada a distribuição e extensão geográfica potencial desta praga no Brasil. Com o auxílio do programa *openModeller* (versão 1.1.0) foram produzidos mapas temáticos indicando as áreas mais favoráveis ao estabelecimento da praga no país de acordo com as condições observadas na região de sua ocorrência nativa, por meio de 15 pontos, 7 variáveis ambientais bioclimáticas e o algoritmo GARP. Os resultados sugerem que grande parte da extensão territorial do país apresenta de média a alta probabilidade de ocorrência, permitindo a discussão a cerca dos riscos de sua ocorrência nas mais expressivas localidades produtoras de frutas, tal como o Submédio do Vale do São Francisco. E ainda, permitem o direcionamento para a adoção de medidas preventivas, de modo que sejam eliminadas as ameaças que esta praga pode representar aos setores econômicos, sociais e ambientais do país.

Palavras-chave: Mosca-da-carambola; Distribuição potencial; Modelagem do nicho ecológico; openModeller

ABSTRACT

The Carambola Fruit Fly, *Bactrocera carambolae*, endemic to Southeast Asia arrived in Brazil in 1996, at county of Oiapoque, Amapá State where is restricted and officially controlled. Despite the name, can attack about 100 species of fruit tree and not. This feature draws attention to the potential threat to production of agribusiness, particularly the fruit that besides contributing to the growth of Brazilian economy is still a matter of national security. Several examples of invasions of species belong to *Bactrocera dorsalis* complex in several countries has shown how expensive is the eradication of these pests once they are introduced and established. Thus, the study highlights the importance of developing measures to provide input to decision-making and public policies aimed at preventing the spread of *B. carambolae*. The ecological niche modeling is an alternative that can be used in order to identify new areas that are favorable to the survival of populations of a species, producing a map of potential distribution for this. Thus, through the ecological niche modeling has identified the potential geographical distribution and extent of this pest in Brazil. Using the software openModeller (version 1.1.0) were produced thematic maps showing the areas most favorable to the establishment of the pest in the country according to the conditions in the native region of their occurrence, by 15 points, seven environmental variables bioclimatic and the algorithm GARP. The results suggest that much of the territory of the country has medium to high probability of occurrence, allowing discussion about the risks of their occurrence in the most significant places producing fruits, such as the Sub-medium São Francisco Valley. And yet, allow the trend to the adoption of preventive measures, so that they are eliminated the threat that this pest may represent the economic sectors, social and environmental of the country.

Keywords: Carambola Fruit Fly; Potential distribution; Ecological niche modeling; openModeller

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| RESUMO..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| LISTA DE TABELAS | xi |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | xiii |
| | |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| Objetivos | 4 |
| Aspectos metodológicos e estruturação da dissertação..... | 5 |
| | |
| CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 8 |
| 1.1 Biogeografia e os fatores determinantes da distribuição geográfica de espécies..... | 8 |
| 1.2 A distribuição potencial e os modelos de distribuição geográfica..... | 13 |
| 1.2.1 Modelagem do nicho ecológico | 14 |
| | |
| CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA: AS MOSCAS-DAS-FRUTAS E O COMPLEXO <i>Bactrocera dorsalis</i>..... | 24 |
| 2.1 Biologia e biogeografia da subfamília Dacinae | 25 |
| 2.2 <i>Bactrocera carambolae</i> (Drew & Hancock, 1994)..... | 29 |
| | |
| CAPÍTULO III - MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DA MOSCA-DA-CARAMBOLA NO BRASIL | 41 |
| 3.1 Considerações iniciais..... | 41 |
| 3.2 Material e métodos..... | 43 |
| 3.4 Resultados e discussão | 48 |
| 3.4 Conclusão do capítulo | 54 |
| | |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES..... | 59 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| GLOSSÁRIO | 70 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Organograma com as etapas seguidas para a execução dos passos metodológicos. . | 7 |
| Figura 1.1 - Diagrama ilustrando a dimensão de nicho, como um conjunto de três círculos..... | 7 |
| Figura 1.2 - Diagrama ilustrando a dimensão de nicho, no caso da invasão de espécies, com a ampliação da área de acesso. | 17 |
| Figura 1.3 - Representação da modelagem de nicho ecológico na predição da geografia da invasão de espécies..... | 18 |
| Figura 1.4 - Ilustração do ciclo da modelagem de nicho ecológico..... | 19 |
| Figura 1.5 - Ilustração dos dois tipos de erros possíveis na previsão de distribuição: omissão e sobreprevisão..... | 22 |
| Figura 1.6 - Processo de referência para a modelagem de nicho ecológico, onde é possível identificar as etapas da modelagem de nicho..... | 23 |
| Figura 2.1 - Ciclo de vida da mosca-das-frutas oriental..... | 25 |
| Figura 2.2 - Distribuição endêmica do gênero <i>Dacus</i> Fabricius (A) e do gênero <i>Bactrocera</i> Macquart (B)..... | 28 |
| Figura 2.3 - Mapa da distribuição geográfica atual da mosca-da-carambola, contendo os pontos de ocorrência nativa e na região invadida (nos países onde a espécie é invasora são adotadas medidas de erradicação)..... | 33 |
| Figura 3.1 - Organograma com as etapas seguidas para o desenvolvimento do modelo..... | 47 |
| Figura 3.2 - Mapa contendo os registros de ocorrência de <i>B. carambolae</i> na região nativa, utilizados para a construção do modelo..... | 48 |
| Figura 3.3 - Mapa contendo os registros de ocorrência como invasora, de <i>B. carambolae</i> , utilizados para a validação do modelo..... | 49 |
| Figura 3.4 - Modelagem do nicho de <i>B. carambolae</i> na região nativa..... | 49 |
| Figura 3.5 - Modelagem indicando o potencial de invasão de <i>B. carambolae</i> no Brasil..... | 51 |
| Figura 3.6 - Modelagem do potencial de ocorrência de <i>B. carambolae</i> em São Paulo. | 52 |
| Figura 3.7 - Modelagem do potencial de ocorrência de <i>B. carambolae</i> em Pernambuco..... | 53 |
| Figura. 3.8 - (A) Favorabilidade climática obtida usando Climex para <i>B. dorsalis</i> , quanto mais escuro mais favorável; (B) Modelagem de nicho ecológico para <i>B. invadens</i> , com o algoritmo GARP, quanto mais escuro maior a predição de ocorrência; (C) Modelagem de nicho ecológico para <i>B. carambolae</i> | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 - Lista de plantas hospedeiras de <i>B. carambolae</i> | 30 |
| Tabela 2.2 - Distribuição geográfica de <i>B. carambolae</i> | 32 |
| Tabela 2.3 - Plantas hospedeiras de <i>B. carambolae</i> e sua distribuição geográfica. | 34 |
| Tabela 3.1 - Pontos de ocorrência para <i>B. carambolae</i> , em graus decimais, a partir da literatura..... | 43 |
| Tabela 3.2 - Resultados estatísticos obtidos na modelagem realizada pelo openModeller | 50 |
| Tabela 3.3 - Uso atual e potencial do solo para a fruticultura em Pernambuco..... | 54 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRIA - Centro de Referência em Informação Ambiental

GBIF - Global Biodiversity Information Facility

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

PEMC - Programa de Erradicação da Mosca-da-carambola

SIG - Sistema de Informações Geográficas

ZANE - Zoneamento Agroecológico do Nordeste

ZAPE - Zoneamento Agroecológico de Pernambuco

INTRODUÇÃO

A biogeografia é uma ciência que estuda a distribuição espacial dos organismos, no passado e no presente e os padrões de variação que ocorreram na Terra referente à quantidade e aos tipos de seres vivos. É uma ciência observacional comparativa que permite estudar os efeitos causados por perturbações naturais e as causadas pelo homem, como a alteração de *habitats*, extinção de espécies nativas e a introdução de espécies exóticas (BROWN e LOMOLINO, 2006).

Brown e Lomolino (2006) ao tratarem de geografia das invasões na biodiversidade afirmam que “a frequência e a diversidade das introduções antropogênicas de espécies exóticas são surpreendentes”. Afirmam ainda que mais do que os eventos naturais, associados à tectônica de placas ou ciclos glaciais, tais introduções foram responsáveis por “um efeito homogeneizador da biota mundial”, fossem intencionais ou acidentais afetaram todos os tipos de ecossistemas.

McKinney e Lockwood (2001) afirmam que essa homogeneização da biota terrestre numa extensão jamais vista em todos os episódios naturais anteriores é resultante não apenas da presença do ser humano na paisagem, mas do impacto cultural e econômico produzido.

Assim, enquanto no passado as barreiras naturais formadas pelos oceanos, cordilheiras e florestas eram impedimentos para a dispersão rápida de organismos invasores, atualmente a velocidade dos meios de transporte, o aumento da circulação de bens de consumo e de pessoas facilita cada vez mais o estabelecimento e domínio dos ecossistemas agrícolas, urbanos e naturais por diversas outras espécies (OLIVEIRA et al., 2006)

São vários os exemplos de invasões por todo o mundo, dentre eles podemos citar: as plantas invasoras na África do Sul que dominam mais de 10 milhões de hectares de terras (8% do país); introdução de trutas em rios dos Andes peruanos e bolivianos, onde predominavam espécies nativas; o mexilhão-dourado (asiático) que chegou à Argentina na água de lastro de navios e já alcançou o Uruguai e o Brasil; o bicudo-do-algodoeiro, originário da América Central, virou praga nas plantações de algodão da América do Sul e do Norte, os prejuízos chegam a US\$ 75 milhões por ano com quebras de safras nos Estados Unidos (GISP, 2005), no Brasil essa praga é responsável por graves problemas fitossanitários para a cultura do algodoeiro.

Atualmente, a dispersão de espécies exóticas invasoras é reconhecida como uma das

maiores ameaças ao bem-estar ecológico e econômico do mundo. Os danos causados por essas espécies são enormes em relação à biodiversidade e aos sistemas naturais e agrícolas dos quais somos dependentes. Na maioria das vezes os danos causados à natureza são irreversíveis e os efeitos diretos e indiretos sobre a saúde tornam-se cada vez mais sérios (GISP, 2005).

Os danos ambientais advindos da introdução de uma espécie exótica se refletem na vantagem competitiva com as espécies nativas, devido à ausência de inimigos naturais e de competidores diretos, entre outros (MALAVASI, 2001).

As espécies exóticas invasoras são a segunda maior causa de redução de biodiversidade no mundo, depois da perda e fragmentação do *habitat*. Estimativas apontam que os prejuízos causados por espécies invasoras no mundo todo somam US\$ 1,4 trilhão por ano (PIMENTEL et al., 2001 apud GISP, 2006).

Com relação aos sistemas agrícolas, os insetos que mais causam danos e perdas para a agricultura são as moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), estão presentes em todos os continentes e em quase todos os ambientes (MALAVASI, 2001). Estes insetos compreendem mais de 4.000 espécies distribuídas no mundo todo (WHITE e ELSON-HARRIS, 1992). A moscas-das-frutas do gênero *Bactrocera* formado por aproximadamente 400 espécies são pragas de relevância econômica em frutas, verduras e legumes.

A única espécie representante do gênero *Bactrocera* presente no Brasil é *B. carambolae* (Drew & Hancock, 1994), a mosca-da-carambola, uma espécie exótica que foi introduzida e infesta frutíferas no estado do Amapá, como a goiaba, a carambola e o biribá (OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006). Foi relatado um foco da praga no estado do Pará, em 2007, foco este que já se encontra erradicado¹ e assim, por encontrar-se restrita e sob controle oficial a mosca-da-carambola é considerada uma praga quarentenária. Segundo Lopian (2005) as chamadas pragas quarentenárias são as espécies exóticas invasoras que são direta ou indiretamente prejudiciais às plantas, ou seja, causam efeitos negativos aos sistemas produtivos.

De acordo com Malavasi (2001) a introdução de uma espécie de mosca-das-frutas em uma região onde a mesma não existia anteriormente, ou seja, uma espécie exótica pode acarretar perdas diretas: observadas na diminuição da produção (frutos infestados caem

¹ Conforme a Nota Técnica 002/2008 expedida pelo Serviço de Sanidade Agropecuária da Superintendência Federal de Agricultura no Pará, o foco de mosca-da-carambola no distrito de Monte Dourado, Almerim – Pará detectado em 12/02/2007 foi monitorado e combatido, tendo sido considerado erradicado em 31/03/2008.

precocemente); aumento no custo de produção (pelo emprego de medidas de controle como a aplicação de inseticidas, o ensacamento dos frutos, etc.); menor valor da produção (frutas de baixa qualidade têm menor valor comercial); menor tempo de prateleira (frutas infestadas com moscas-das-frutas apodrecem mais rapidamente); e indiretas: que estão associados a questões de mercado, na barreira imposta por países onde a praga está ausente (MALAVASI, 2001).

A ação de pragas pode prejudicar a produção do agronegócio que tem participação importante na economia brasileira, principalmente se considerarmos que os produtos de origem vegetal respondem por 72,8% do volume negociado. Em 2008, o agronegócio brasileiro respondeu por 36,3% das exportações totais do país, atingindo a marca histórica de 71,8 bilhões de dólares, 23% a mais que o ano anterior, o superávit da balança comercial alcançou o recorde de 60 bilhões de dólares (BRASIL, 2009a). O Brasil produz anualmente, aproximadamente 42 milhões de toneladas de frutas em 2,2 milhões de hectares, sendo o terceiro maior produtor mundial. Cerca de 30 % dessa produção é destinada a exportação. Em 2008, o valor obtido somente com a exportação das frutas frescas foi de US\$ 726 milhões (BRASIL, 2006; 2009b).

A importante contribuição da fruticultura para o crescimento da economia brasileira se dá por meio de quatro maneiras: é fonte de alimentação, o que é uma questão de segurança nacional; é geradora de empregos, para cada hectare de fruticultura são gerados em média dois empregos diretos, o que equivale a 5 milhões de empregos diretos, sem considerar outros tantos empregos indiretos que são gerados; é geradora de divisas (ALMEIDA, 2008). Dados da mais recente publicação da pesquisa Produção Agrícola Municipal (2008) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, apresentam vinte e duas culturas frutíferas que somadas foram cultivadas em 3.016.858 hectares, gerando uma receita de 17,4 bilhões de reais (4,8% a mais que em 2007) que representa 11,7% do valor total alcançado pela agricultura em 2008.

Desta forma, ressalta-se a importância da elaboração de medidas visando fornecer subsídios à tomada de decisões e políticas públicas voltadas à prevenção da dispersão de *B. carambolae*, de modo que sejam eliminados os perigos que esta praga pode representar nos setores econômicos, sociais e ambientais do país.

Peterson (2003) alerta que os esforços que são despendidos para combater a invasão de espécies tem sido amplamente reativos e dessa forma somente após a chegada de um novo

invasor é que se desenvolve um plano para combatê-lo. E ainda de acordo com Ghini (2005) várias epidemias agrícolas no Brasil poderiam ter sido evitadas ou mesmo minimizados os danos se houvessem estudos que permitissem a adoção de medidas preventivas.

Entre as diversas ações preventivas que podem ser executadas para se avaliar o risco de introdução e dispersão de pragas, destaca-se o processo de mapeamento de regiões geográficas que apresentam favorabilidade para o estabelecimento de determinadas pragas, como a mosca-da-carambola. Conforme considerações de Lemos et al. (2006) ao citarem Malavasi (2001) as perdas anuais de produção de fruteiras no continente Sul Americano, devido a *B. carambolae*, atingem a ordem de bilhões de dólares, enquanto um programa de erradicação apresenta custo de 9 milhões de dólares. Assim, do ponto de vista econômico os autores constatam que cada dólar aplicado no controle da praga no continente sul americano gera benefícios de 65 a 88 dólares, deste modo, é mais vantajoso investir na prevenção da dispersão de *B. carambolae* no Brasil.

Devido a mosca-da-carambola, apesar do nome, atacar mais de 100 plantas hospedeiras e de apresentar uma distribuição no Brasil restrita ao estado do Amapá, no qual foi introduzida, ter se dispersado para o estado vizinho, o Pará - mesmo com a adoção de medidas de controle do Programa de Erradicação da Mosca-da-carambola – PEMC do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) -, surge a seguinte indagação:

i) De que forma pode-se estimar antecipadamente a possibilidade de dispersão de pragas, como *B. carambolae*, que apresentam potencial econômico e quarentenário para o Brasil?

E ainda no âmbito da biogeografia alguns questionamentos se fazem necessários (BROWN e LOMOLINO, 2006):

ii) “O que possibilita a esta espécie viver onde está e o que a impede de colonizar outras áreas?”;

iii) “Qual a função do clima, topografia e interações com outros organismos, como limitantes da distribuição de uma espécie?”.

Objetivos

Diante desse contexto, o objetivo principal do presente estudo é identificar o potencial

de distribuição e extensão geográfica da mosca-da-carambola nos estados brasileiros em que a mesma ainda não ocorre. E para alcançar esse propósito é preciso atender aos seguintes objetivos específicos:

- Entender como ocorre a distribuição geográfica atual e potencial das espécies;
- Levantar informações das condições necessárias para a sobrevivência e desenvolvimento de *B. carambolae*;
- Apontar as regiões mais favoráveis ao estabelecimento da praga de acordo com as condições bióticas e abióticas encontradas;
- Elaborar mapas temáticos das áreas mais vulneráveis a ocorrência da praga, e assim estimar as áreas prioritárias para a adoção de medidas preventivas quanto à dispersão de *B. carambolae*.

O estudo realizado parte da hipótese de que se forem conhecidos os fatores favoráveis e limitantes à ocorrência da mosca-da-carambola observados nos pontos empíricos de sua distribuição então é possível delimitar uma hipótese de distribuição (mapa) para as demais unidades da federação que apresentam variáveis semelhantes ou não, e assim estimar antecipadamente a possibilidade de sua dispersão.

Aspectos metodológicos e estruturação da dissertação

O primeiro passo para a execução do estudo proposto está relacionado com o entendimento da distribuição geográfica de espécies, para tanto se faz necessário um aporte teórico desse assunto que é o campo de preocupações da biogeografia. Para a concretização desse passo foi realizada a revisão de literatura a fim de estudar a dinâmica da distribuição das espécies, e posteriormente, com base na determinação do potencial de distribuição geográfica intermediado pela utilização de modelos preditivos.

O conhecimento da espécie objeto desse estudo, *B. carambolae*, é primordial para a realização do mesmo. Por isso, num segundo passo, foi realizado o levantamento das informações biológicas da mosca-da-carambola disponíveis em bases de dados e nas publicações da literatura técnico-científica nacional e internacional, uma vez que o levantamento em campo de tais dados no estado brasileiro de ocorrência da praga, Amapá, mostrou-se inviável diante das restrições a que esta praga está submetida.

Durante o levantamento, maior ênfase foi dada às informações a respeito da distribuição geográfica atual, da dinâmica populacional da praga e a influência da temperatura e umidade no seu desenvolvimento (uma vez que para ocorrer o crescimento de um organismo, como um inseto, este depende de fatores externos, como a temperatura do ambiente), bem como as plantas utilizadas como hospedeiras.

Assim, o primeiro e o segundo passo que englobam todo o delineamento teórico utilizado constituem a primeira parte dessa dissertação, dividida em dois capítulos, sendo o Capítulo I o referencial teórico, onde se encontra a delimitação do tema em estudo e o Capítulo II a revisão de literatura referente às moscas-das-frutas do complexo *Bactrocera dorsalis* e mais especificamente quanto a mosca-da-carambola. Enquanto a Parte 2 -, correspondente ao capítulo III, apresenta a execução e resultados alcançados para o mapeamento das regiões mais favoráveis ao estabelecimento da praga, utilizando a técnica de modelagem de nicho ecológico fundamental, as regiões consideradas potencialmente apropriadas para a ocorrência da praga são aqui consideradas de risco e prioritárias quanto à adoção de medidas preventivas à dispersão da mesma.

No capítulo III, serão utilizadas ferramentas computacionais para a modelagem de nicho ecológico, com o auxílio do *openModeller Desktop* versão 1.1.0, um aplicativo de acesso livre resultado de um projeto desenvolvido pelo Centro de Referência em Informação Ambiental – CRIA, em parceria com outras renomadas instituições de pesquisa, e perfeitamente aplicável a distribuição geográfica potencial de espécies invasoras. Fez-se necessária ainda a utilização de *software* de Sistema de Informações Geográficas - SIG para análise da modelagem gerada e direcionamento para os objetivos estabelecidos nesse estudo, optou-se por utilizar o TerraView 3.4.0, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, bem como o DIVA-GIS (versão 7.1.7), também gratuito.

Cabe ressaltar que no capítulo III, verifica-se o emprego do princípio de extensão, concebido por Freidrich Ratzel, inerente a ciência geográfica e um dos princípios básicos da pesquisa geográfica, que considera que os fenômenos ou situações manifestados no espaço, são geograficamente definíveis, sendo possível localiza-los e registrar sua extensão territorial, principalmente com a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas, como observado por Silva e Calheiros (2004).

Portanto, como pode ser observado na Figura 1, esta dissertação está estruturada em duas partes: a primeira parte apresenta as informações encontradas na revisão de literatura

quanto aos aspectos teóricos que esclarecem os principais conceitos utilizados e é ainda uma delimitação do tema em estudo; e a segunda parte apresenta o estudo realizado para a estimativa do potencial de distribuição e extensão geográfica da mosca-da-carambola no Brasil. Deste modo será possível realizar o mapeamento das áreas favoráveis para o estabelecimento de *B. carambolae*, no Brasil, limitando as áreas de risco e estimando as áreas prioritárias para a adoção de medidas preventivas de introdução/dispersão da praga. O organograma apresentado ilustra a sequência e a interdependência das etapas seguidas para a execução dos passos metodológicos.

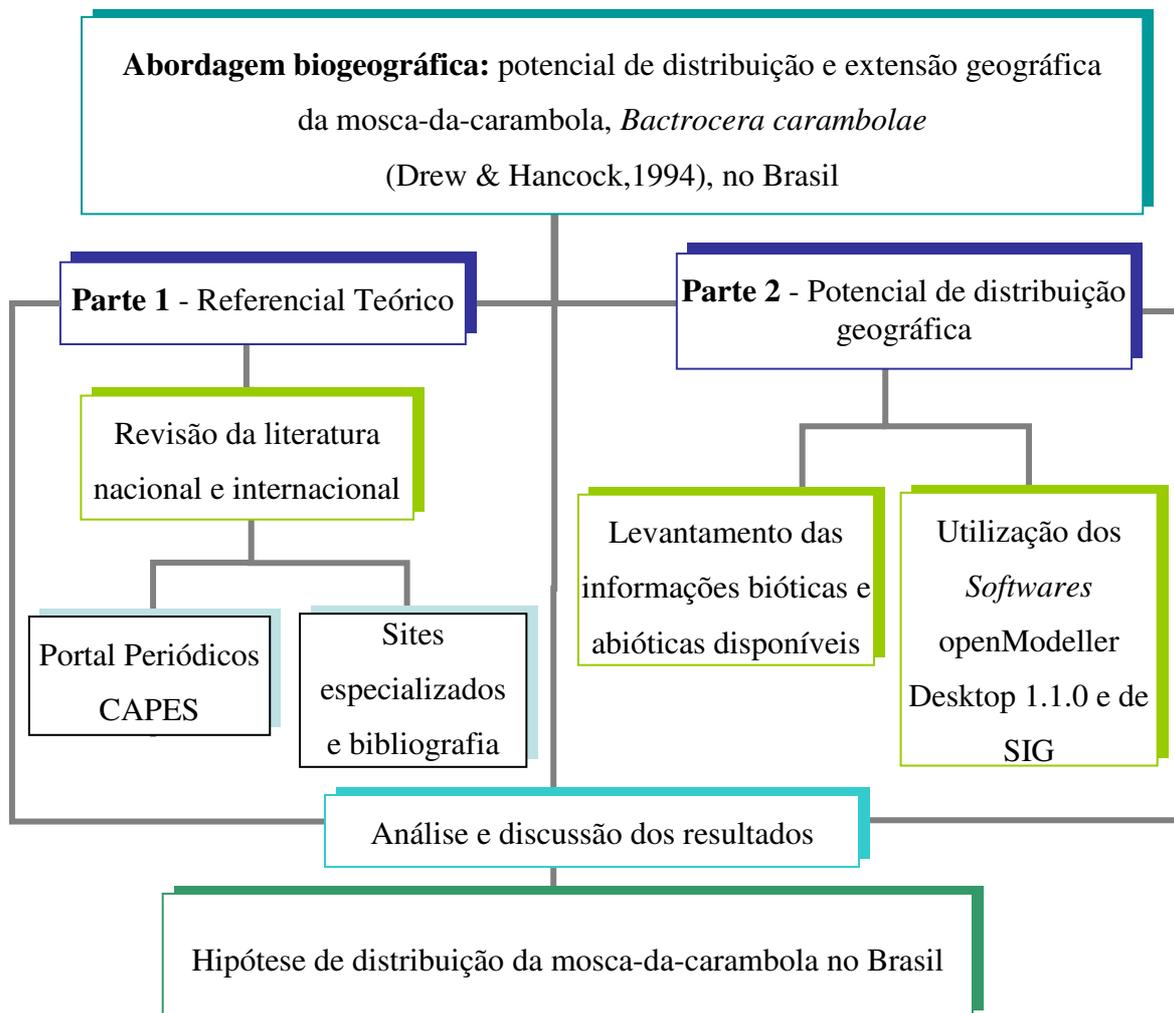


Figura 1 - Organograma com as etapas seguidas para a execução dos passos metodológicos.

Fonte: elaborado pela autora

CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 BIOGEOGRAFIA E OS FATORES DETERMINANTES DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ESPÉCIES

A Biogeografia é uma ciência preocupada em documentar e compreender modelos espaciais de biodiversidade e é ainda o estudo da distribuição dos organismos, atuais e pretéritos, e dos padrões de variação ocorridos na Terra no que se refere à quantidade e aos tipos de seres vivos, conforme Brown e Lomolino (2006), que afirmam ainda ser esta uma ciência sintética, fundamentada em teorias e dados da ecologia, biologia de populações, biologia evolutiva e ciências da Terra.

De acordo com Cox e Moore (2000) o que diferencia a biogeografia das outras ciências é o espaço. Assim, a biogeografia estuda a distribuição dos seres vivos no espaço e no tempo. Os biogeógrafos se defrontam com um amplo campo de investigação científica para responder a uma pergunta fundamental da biogeografia: “Como os organismos são distribuídos na superfície terrestre e ao longo da história da Terra?” (BROWN e LOMOLINO, 2006)

Brown e Lomolino (2006) afirmam que a biogeografia apesar de ter uma longa e notável história, somente nas últimas décadas é que emergiu como ciência amplamente respeitada e com identidade própria, pela orientação conceitual e preocupação na construção e teste da teoria biogeográfica, pela introdução de novas teorias matemáticas e pelos avanços nas ciências terrestres. Um progresso estimulado também pelo desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias das várias disciplinas.

Na concepção de Cortez (1993) foi a partir da década de 50 que os estudos biogeográficos tiveram um impulso decorrente dos avanços ecológicos, explica a autora que esse fato decorreu principalmente do crescimento da população humana e do maior desenvolvimento da industrialização que trouxeram impactos negativos para o equilíbrio dos ecossistemas, exigindo maior atenção quanto aos processos interativos homem-meio ambiente.

Brown e Lomolino (2006) compartilham dessa posição ao afirmarem que a grande preocupação com o meio ambiente que se iniciou no final dos anos 60 e início dos 70 com a necessidade de entender e administrar o impacto dos seres humanos na Terra foi o estímulo

final para o surgimento de uma ciência moderna e forte da biogeografia. E assim, esta passou de uma ciência esotérica e sem consideração para uma ciência respeitada e que utiliza os mais recentes conceitos e tecnologias.

O foco de toda a biogeografia é a proposição de que cada espécie tem uma amplitude geográfica única, na qual encontra uma distribuição limitada pelas condições ambientais. A amplitude geográfica de uma espécie pode ser entendida como o reflexo espacial do seu nicho, ou seja, a espécie ocorre onde as condições ambientais são adequadas e fora de áreas onde uma ou mais condições necessárias não estão presentes (BROWN e LOMOLINO, 2006). Ruggiero (2001) pondera que atualmente chamamos “biogeografia ecológica” a disciplina que analisa o efeito de fatores externos do ambiente (incluído o efeito de interações biológicas que atuam em escala local, a nível populacional e de comunidades) na distribuição geográfica das espécies.

Ao desenvolver em 1957, o conceito de nicho ecológico multidimensional (uma modificação do conceito de nicho de Grinnell (1917) e Elton (1927) para definir como as condições ambientais limitam a abundância e a distribuição, Evelyn Hutchinson (apud BROWN e LOMOLINO, 2006) percebeu que durante um período de tempo e sobre a sua distribuição geográfica cada espécie está limitada por certo número de fatores ambientais, formalizava então o conceito de nicho fundamental.

Assim, o nicho fundamental representa as combinações de variáveis ambientais diversas que permitem a sobrevivência dos indivíduos e a manutenção das populações. Enquanto o nicho realizado é um subconjunto do nicho fundamental e representa a área atualmente ocupada pela espécie, que pode ser menor que seu nicho fundamental devido a influência humana, interações bióticas (competição interespecífica, predação, etc.), ou barreiras geográficas que dificultam a dispersão e colonização, ou seja, uma série de fatores que podem evitar que a espécie habite (ou mesmo favorecem para que encontre) locais onde as condições atendem ao seu potencial ecológico (HUTCHINSON, 1957; PULLIAM, 2000; ANDERSON e MARTINEZ-MEYER, 2004 *apud* PHILLIPS et al., 2006). Guisan e Thuiller (2005) nos mostram que o que observamos na natureza são nichos ecológicos realizados, ou seja, partes do nicho ecológico fundamental disponíveis onde a espécie não foi excluída por interações bióticas e limitações de recursos.

Sabendo que os limites da amplitude geográfica e o padrão de abundância dentro desses limites serão resultantes das condições ambientais, a alteração das condições ambientais faz

com que esse limite e padrão constantemente mudem à medida que as populações locais crescem, declinam, colonizam e se extinguem.

Brown e Lomolino (2006) chamam a atenção para algumas considerações que devem ser observadas ao se pretender explicar os padrões de distribuição e abundância, tais como: o fato de ser “muito simplista assumir que as condições ambientais são igualmente favoráveis para uma espécie em todas as localidades onde ocorre”; certas localidades podem ser tão favoráveis que a taxa de natalidade excede a de mortalidade, produzindo excesso de indivíduos que migram para outras áreas, servindo como “*habitat* fonte”; já outras localidades podem ser tão desfavoráveis que a taxa de mortalidade excede a de natalidade, mas podem ser habitadas caso atuem com “*habitat* de escoadouro” e recebam uma quantidade de imigrantes suficiente para manter a população local. Deste modo, conclui-se que pode haver locais com condições favoráveis e que são inabitados e locais onde apesar das condições desfavoráveis, são habitados.

Assim, uma espécie tem sua área de distribuição limitada tanto na escala geográfica (que corresponde a distribuição total da espécie) quanto na ecológica (distribuição local da espécie), ou seja, existem áreas em que a espécie pode ou não existir (CERQUEIRA, 1995). E com relação à abundância, esta tende a ser maior para uma espécie onde todos os parâmetros do nicho estão em uma amplitude favorável, e rara ou ausente onde um ou mais fatores ambientais atuam fortemente como limitantes (BROWN e LOMOLINO, 2006).

Hoje, sabe-se que a abundância e a distribuição das espécies sofrem a influência de variáveis múltiplas e interativas, porém a abordagem desse assunto não é recente, tem sido um motivo de inquietação para o ser humano há séculos e motivou muitos pesquisadores.

Justus Von Liebig, em 1840, sugeriu que os processos biológicos seriam limitados por um único fator, o que resultou na Lei do Mínimo de Liebig, que definia fator limitante como aquele que se estiver abaixo de uma quantidade mínima impediria o crescimento de um organismo ou população. Muitos estudos posteriormente foram realizados e mais recentemente o princípio de Liebig foi ampliado também para os valores máximos de um fator que limitem o crescimento do organismo ou população (CERQUEIRA, 1995; BROWN e LOMOLINO, 2006).

Condições físicas (fatores abióticos) como os regimes de temperatura, umidade, luz, oxigênio, elementos do solo e da água, bem como a ocorrência de distúrbios naturais (incêndios, furacões, erupções vulcânicas) e ainda o efeito da interação com outros

organismos (fatores bióticos) que correspondem à competição, predação e mutualismo atuam como fatores limitantes à distribuição de espécies (BROWN e LOMOLINO, 2006).

A dispersão é um dos três processos fundamentais em biogeografia, juntamente como a evolução e a extinção. Para Brown e Lomolino (2006), o termo dispersão tem como sentido “o ato em si de se dispersar” “que se refere ao movimento dos organismos para fora dos seus pontos de origem”. Segundo os autores, é pela dispersão que as espécies expandem a sua amplitude geográfica e para tanto precisam ser capazes de viajar para uma nova área, resistir a condições potencialmente desfavoráveis durante a sua passagem e de estabelecer populações viáveis após a sua chegada.

Quanto ao movimento de dispersão, este pode ocorrer de duas formas: ativa e passiva. No movimento de dispersão ativa os organismos se movem por si mesmos e pela dispersão passiva, esta mais comum a maioria dos organismos, são carregados por agentes físicos – vento, água – ou por outros organismos (BROWN e LOMOLINO, 2006), como o homem.

A fragilidade ambiental frente às intervenções humanas é maior ou menor dependendo de suas características, a partir do momento em que as sociedades passaram a intervir cada vez mais nos ambientes naturais rompeu-se o equilíbrio dinâmico no qual se encontravam (ROSS, 2006). Dorst (2005) é enfático ao afirmar que o impacto dos homens nos equilíbrios biológicos data de sua aparição na Terra. E encara a história da humanidade como uma luta entre o homem e o meio em que vive.

A esse respeito (SANTOS, 2006) afirma que “A primeira presença do homem é um fator novo na diversificação da natureza”, isto se dá devido a atribuição de valor às coisas, num primeiro momento o homem é criador, porém subordinado a natureza. Com as invenções técnicas o seu poder de intervenção e de autonomia relativa aumenta essa diversificação que passa a ser socialmente construída. Essa tendência amplia-se ainda mais com a “marcha do capitalismo” para uma escala global.

Com escalas cada vez maiores do movimento humano, as espécies encontram mais oportunidades para também se movimentarem, resultando em muitas introduções de espécies em novas paisagens (NAS, 2002 *apud* PETERSON, 2003) esse aumento da oportunidade de colonização tem papel importante no aumento do número de invasões bem-sucedidas (PETERSON, 2003).

Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias, a aceleração da economia global que promove a intensa movimentação de pessoas e *commodities* no mundo todo tem facilitado

sobremaneira a dispersão de pragas que podem ser nocivas aos ambientes naturais e às áreas cultivadas. A distribuição de espécies no planeta, deste modo, tem passado por uma nova dinâmica biogeográfica na qual os seres humanos exercem o papel principal, transportando milhares de espécies para fora de suas regiões de ocorrência natural, auxiliando a transposição de barreiras naturais pelas pragas (ZALBA, 2005).

Animais e plantas são movidos intencionalmente, visando a diferentes atividades humanas, entre elas o melhoramento genético vegetal, projetos econômicos e algumas espécies “pegam carona” em carregamentos de sementes ou madeira, na água de lastro de navios e põem em risco valores culturais, econômicos e ambientais (ZALBA, 2005). As introduções antropogênicas de espécies sejam elas intencionais ou acidentais, afetaram e transformaram todos os tipos de ecossistemas (BROWN e LOMOLINO, 2006).

O valor das espécies e dos ecossistemas está longe de ser apenas o valor de matéria-prima para desenvolver produtos. A biodiversidade possui valores ecológicos, genéticos, sociais, econômicos, científicos, educacionais, culturais, recreativos e estéticos e, portanto, a perda de biodiversidade envolve todos esses aspectos. A principal causa da perda da biodiversidade é a fragmentação de *habitat* e a segunda é a introdução de espécies exóticas, substituindo as espécies nativas (BORÉM e GIÚDICE, 2007; BRITO, 2006).

A biodiversidade é definida pelo artigo 2º da Convenção sobre Diversidade biológica como:

a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas.

As espécies exóticas têm impacto direto nas espécies nativas - predando e competindo por alimento e espaço - e indireto alterando o *habitat* e modificando a hidrologia, os regimes de fogo, a ciclagem de nutrientes e outros processos do ecossistema. Os pinheiros são invasores na maioria dos países do hemisfério Sul, introduzidos para reflorestamento, a grande necessidade de água dessas espécies tem um efeito dramático na hidrologia dos ecossistemas abertos, além de substituir as espécies nativas, alterar a ciclagem de nutrientes e aumentar o risco de fogo. Outro exemplo é a formiga argentina, invasora na África do Sul que pelo seu comportamento agressivo interfere na polinização e na dispersão de sementes ao substituir as espécies de formigas nativas (GISP, 2006).

Muitos outros exemplos poderiam ser citados para demonstrar o quanto torna-se

fundamental entender melhor como ocorre a distribuição potencial das espécies, especialmente as exóticas, de modo que sejam utilizadas ferramentas que permitam prever a ameaça e assim medidas efetivas sejam tomadas visando evitar ou minimizar os danos antes mesmo que eles ocorram. A modelagem de distribuição, ou de nicho, tem sido utilizada como uma importante ferramenta com esse propósito.

1.2 A DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E OS MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Na base da biogeografia está a determinação da área ocupada por uma dada espécie em dado tempo sobre a superfície terrestre, esta área é chamada de distribuição geográfica (CERQUEIRA, 1995).

A distribuição geográfica das espécies e os fatores que a determinam tem sido objeto de numerosos estudos ecológicos. Arita e Rodríguez (2001), nos informam que os primeiros estudos nesse sentido geralmente eram aplicados no entendimento da distribuição de espécies de importância comercial ou no sentido de prevenir invasões de pragas ou espécies exóticas. Posteriormente, foram realizados estudos nos quais se analisava a distribuição das espécies sob um ponto de vista mais ecológico, partindo da idéia de que as áreas de distribuição das espécies podem ser preditas com base em dados climáticos, como explorado nos estudos ecológicos modernos.

Entre os estudos clássicos em ecologia estão os que tentaram compreender e prever as áreas de distribuição das espécies de importância comercial ou de espécies introduzidas, com base no clima ou na distribuição do habitat (ARITA e RODRÍGUEZ, 2001). Com a utilização da tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas é possível produzir modelos preditivos sobre os padrões de distribuição das espécies.

Para se determinar a distribuição deve-se partir do conhecimento dos pontos empíricos, ou seja, da distribuição geográfica conhecida da espécie, a partir desses pontos diversos são os métodos utilizados para estabelecer um mapa de distribuição (ou hipótese de distribuição) baseado nos parâmetros ambientais. A distribuição apoiada em fatores ambientais deve ser sempre uma distribuição potencial (CERQUEIRA, 1995).

Vários fatores ambientais podem determinar os limites de distribuição geográfica de

uma espécie, estes fatores são utilizados na construção de modelos preditivos que permitem o estudo das mudanças dessa distribuição em cenários pretéritos e futuros (GRELLE e CERQUEIRA, 2006). Portanto, para explicar a distribuição de qualquer espécie, necessita-se da investigação de vários fatores ao mesmo tempo e não somente um único fator e uma única análise. Para determinar a distribuição de uma espécie temos que descobrir quais são as variáveis do ambiente relacionadas com uma dada espécie e a distribuição geográfica dessas variáveis, a área comum dessas variáveis deve conter a distribuição potencial da espécie em estudo (CERQUEIRA, 1995).

As análises feitas dos fatores ambientais clima e vegetação, por exemplo, permitem que sejam elaborados mapas potenciais dos limites de distribuição geográfica que contenham informações úteis para a conservação e monitoramento de populações de várias espécies (GRELLE e CERQUEIRA, 2006).

A quantificação das relações espécie-meio ambiente é predita por modelos que em geral se baseiam em várias hipóteses de como os fatores ambientais controlam a distribuição de espécies ou comunidades (GUISAN e ZIMMERMANN, 2000).

A natureza, no entanto, é bastante complexa e heterogênea para ser predita com precisão nos seus aspectos de tempo e espaço por um único modelo, mesmo que complexo. No geral os modelos de distribuição potencial são classificados como empíricos ou estatísticos, no qual as formulações matemáticas são usadas para condensar fatos empíricos, destacando a precisão e a realidade (GUISAN e ZIMMERMANN, 2000).

O conjunto de métodos chamados de modelagem da distribuição de espécies, modelagem de habitat ou modelagem de nicho ecológico, embora não sejam sinônimos, tem todos o mesmo propósito que é identificar lugares favoráveis a sobrevivência de populações de uma espécie por meio da identificação das suas necessidades ambientais (SOBERÓN e NAKAMURA, 2009).

1.2.1 Modelagem do nicho ecológico

Pearson (2007) faz uma ressalva quanto a utilização do termo generalizado “modelagem da distribuição de espécies”, pois na realidade o que está sendo modelado é a distribuição dos ambientes apropriados para a ocorrência da espécie em questão. Elith e Leathwick (2009) por

sua vez sustentam que o uso da terminologia neutra modelos de distribuição de espécies é preferível em relação a modelagem de nicho ecológico, dada a ambigüidade na formulação do conceito de nicho. Enquanto Soberón e Peterson (2005) e Peterson (2006) tem procurado demonstrar a diferença entre as duas terminologias e formalizar a idéia de modelagem de nicho ecológico.

Nessa dissertação é utilizada a modelagem em concordância com a abordagem de modelagem de nicho ecológico, por essa razão será feito um breve detalhamento sobre alguns conceitos importantes para o seu entendimento, com ênfase para as espécies invasoras, dado o nosso objeto de estudo.

Soberón e Nakamura (2009) definem a modelagem de nicho ecológico como sendo uma técnica utilizada para estimar áreas de distribuição atuais ou potenciais, ou ainda um conjunto de habitats favoráveis para uma determinada espécie, com base na presença (e por vezes) e na ausência observada.

Soberón e Peterson (2005) afirmam que a área de distribuição de uma espécie nada mais é que uma complexa expressão da sua ecologia e história evolucionária, deste modo, diversos fatores atuam em diferentes intensidades e escalas. Os autores apresentam quatro classes de fatores que determinam as áreas nas quais uma espécie é encontrada:

(1) condições abióticas, incluindo aspectos de clima, ambiente físico, condições edáficas, etc., que impõem limites físicos na capacidade da espécie de persistir numa área;

(2) fatores bióticos, o conjunto de interações com outras espécies que modificam a capacidade da espécie de manter populações, podendo ocorrer interações positivas (mutualistas tais como dispersores de sementes, polinizadores, etc.) ou negativas (competidores, predadores, doenças);

(3) as regiões que são acessíveis a dispersão por espécies de alguma área original. “Esse fator é extremamente útil na distinção da distribuição atual de uma espécie da distribuição potencial, baseado na configuração da paisagem e na capacidade de dispersão da espécie”; e

(4) a capacidade evolucionária de populações de uma espécie para se adaptar a novas condições.

Peterson (2003) coloca ainda que ao menos quatro efeitos históricos colaboram para restringir a distribuição de uma espécie: capacidade de dispersão limitada; especiação; extinção; competição. Qualquer um desses fenômenos, e outros, podem levar a existência de

áreas de distribuição favoráveis, mas desabitadas. No entanto, geralmente duas características são claras:

- 1) “por razões como as citadas acima, a extensão espacial do nicho ecológico da espécie é invariavelmente maior que a extensão da sua atual distribuição geográfica”; e
- 2) “áreas de distribuição favoráveis, porém inabitadas estão concentradas em regiões disjuntas.”

Em se tratando de predição da invasão de espécies, é importante considerar que áreas habitadas quase sempre existem fora da distribuição geográfica atual de uma espécie (PETERSON, 2003). Essa colocação pode ser melhor compreendida analisando as Figuras 1.1 e 1.2, a seguir:

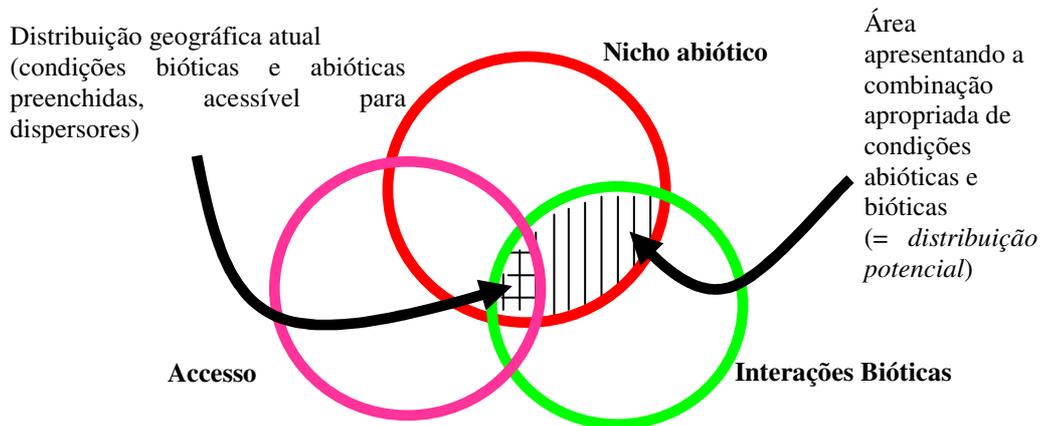


Figura 1.1 - Diagrama ilustrando a dimensão de nicho, como um conjunto de três círculos.
Fonte: modificado de Peterson (2005)

Na Figura 1.1, detalhada em Soberón e Peterson (2005) e Peterson (2006), observamos de forma simplificada pela representação do diagrama, a interseção de três círculos representando três classes de determinantes: as condições físicas (nicho abiótico – a combinação adequada de umidade e temperatura, por exemplo) e as condições bióticas (nicho biótico – ausência de predadores, presença de hospedeiros, etc.), ambas necessárias para a sobrevivência e reprodução das espécies e a acessibilidade, que não é uma dimensão do nicho, mas um fator não ecológico que condiciona as espécies a ocuparem um espaço inferior a sua distribuição potencial (ou seja, áreas onde a espécie, se introduzida, pode sobreviver) e pode não ser permanente, como observamos no caso das espécies invasoras, que com o tempo os limites de dispersão muitas vezes são superados (Figura 1.2).

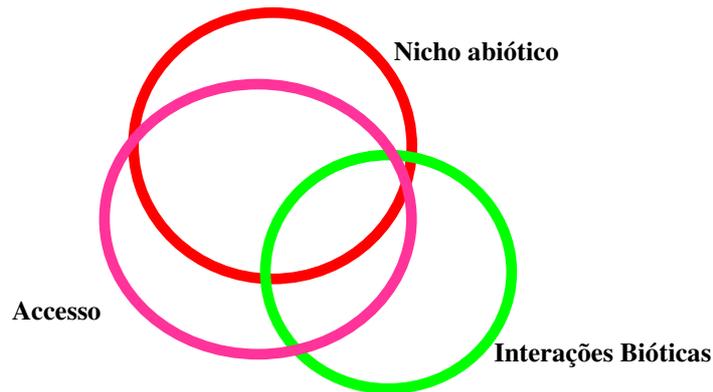


Figura 1.2 - Diagrama ilustrando a dimensão de nicho, no caso da invasão de espécies, com a ampliação da área de acesso.

Fonte: modificado de Peterson (2005)

Como pode ser observado na Figura 1.2, a acessibilidade da espécie aumenta e com isso a área de distribuição potencial, que apresentava condições favoráveis para o estabelecimento da espécie, passa a ser ocupada.

Peterson e Vieglas (2001) atribuem a capacidade impressionante das espécies em invadir áreas fora da sua distribuição natural às características evolutivas do nicho ecológico (que parecem ser estáveis ao longo do tempo evolutivo) e a relação com a distribuição geográfica atual. Segundo Peterson (2003) as invasões de espécies são consideradas como processos extremamente complexos, tão complexo como a predição dessas invasões, no entanto, fases desse processo são altamente previsíveis, como é o caso do potencial geográfico que pode ser previsto com alta precisão tendo por base as características do nicho ecológico da espécie na sua área de distribuição geográfica nativa.

Partindo da característica de estabilidade evolucionária no nicho da espécie Peterson e Vieglas (2001) inferem que os modelos de nicho definem as limitações ecológicas nas dimensões nas quais o modelo é desenvolvido, por consequência a distribuição geográfica atual de uma espécie pode ser projetada em dimensões geográficas para prever onde a espécie será capaz ou não de manter populações.

Pearson (2007) nos alerta que estamos acostumados a pensar a distribuição das espécies tal como vemos num mapa, ou seja, a sua ocorrência no espaço geográfico, porém é preciso considerar também a sua ocorrência no espaço ambiental (ecológico) que é um espaço conceitual que pode ser definido pelas variáveis ambientais as quais a espécie responde. Daí a necessidade da definição de nicho fundamental de Hutchinson, entendido como o conjunto de condições ambientais (variáveis físicas e biológicas) no qual uma espécie pode sobreviver e

persistir.

Peterson (2003) apresenta uma representação que ilustra o processo de modelagem de nicho ecológico para espécies invasoras, aqui reproduzido na Figura 1.3, onde é possível observar a caracterização da espécie no espaço geográfico (pelos pontos empíricos de sua ocorrência na distribuição nativa) em seguida sendo modelado o nicho ecológico no espaço ecológico e então, projetada de volta no espaço geográfico para predizer tanto a distribuição geográfica na área de ocorrência conhecida quanto para áreas de potencial invasão. Assim, os modelos preditivos são desenvolvidos a partir de um processo constituído de três etapas: **1)** modelagem do nicho no espaço ecológico; **2)** avaliação desse modelo de nicho com base na distribuição nativa, e; **3)** projeção do modelo para áreas que podem ser invadidas.

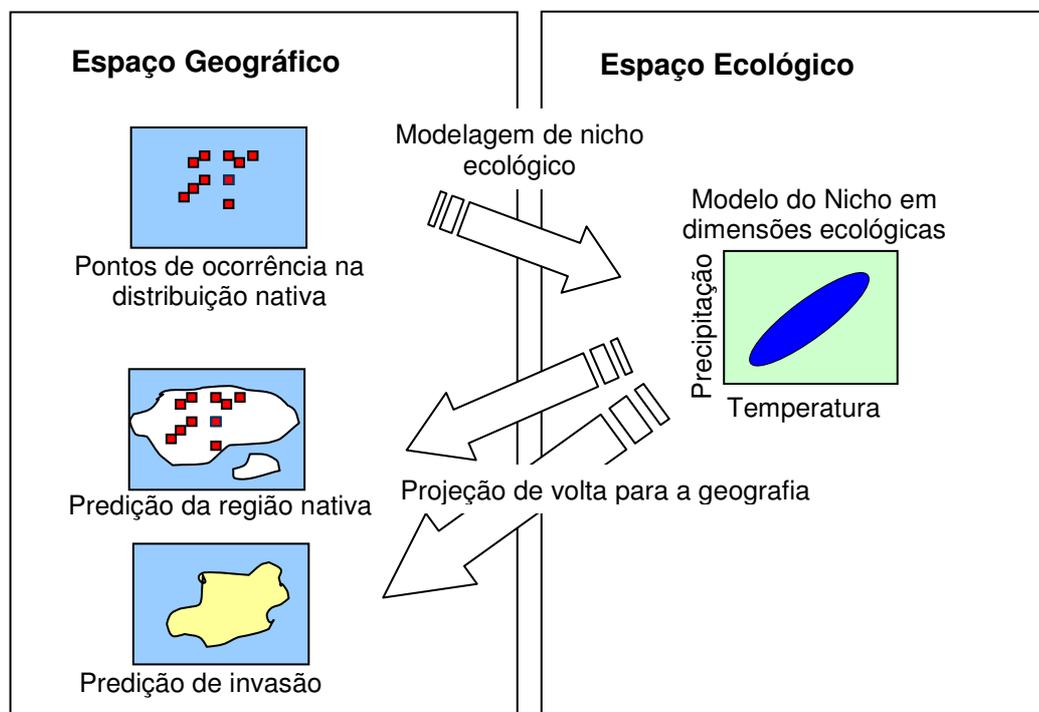


Figura 1.3 - Representação da modelagem de nicho ecológico na predição da geografia da invasão de espécies.

Fonte: modificado de Peterson (2003)

Deste modo, a modelagem de nicho ecológico pode ser projetada para "identificar regiões geográficas que apresentam condições semelhantes e divergentes quanto ao nicho da espécie, produzindo assim uma distribuição potencial para a espécie" (PETERSON, 2003). Ou seja, "a distribuição potencial de uma espécie em regiões fora da sua distribuição nativa pode ser predita por meio da detecção de condições que se encaixam no nicho ecológico da espécie nessas regiões".

Peterson (2003) considera que a modelagem de nicho ecológico é apenas um passo

quando se trata do complexo fenômeno que é a introdução e estabelecimento de populações não nativas e a dispersão e adequação à paisagem pelo invasor. Peterson (2006) afirma que o potencial geográfico de espécies invasoras é muitas vezes bastante previsível, baseado na distribuição geográfica e ecológica da área de distribuição nativa, embora a invasão de espécies envolva fatores mais complexos que apenas as considerações de nicho.

Pois, como citado por Peterson (2003) no intuito de prever o atual curso de uma invasão é necessário um entendimento detalhado de como e quando a espécie atual chegou à região não nativa, que por sua vez será determinado pelas oportunidades de dispersão por longa distância (geralmente intercontinental, relacionado com as atividades econômicas e transporte, correntes de vento e marítimas, além de outros vetores potenciais) e o estabelecimento dependerá do número inicial de indivíduos e de processos demográficos. E ainda, como e onde a espécie se dispersará pela nova área de distribuição dependerá em menor escala da capacidade de dispersão. No entanto, por diversas razões, considera o autor que a componente geográfica do processo de invasão, muitas vezes acaba sendo fundamental.

O processo de modelagem, como nos apresenta Siqueira (2005), “consiste em converter dados primários de ocorrência de espécies em mapas de distribuição geográfica, indicando a provável presença ou ausência da espécie”, conforme Figura 1.4.

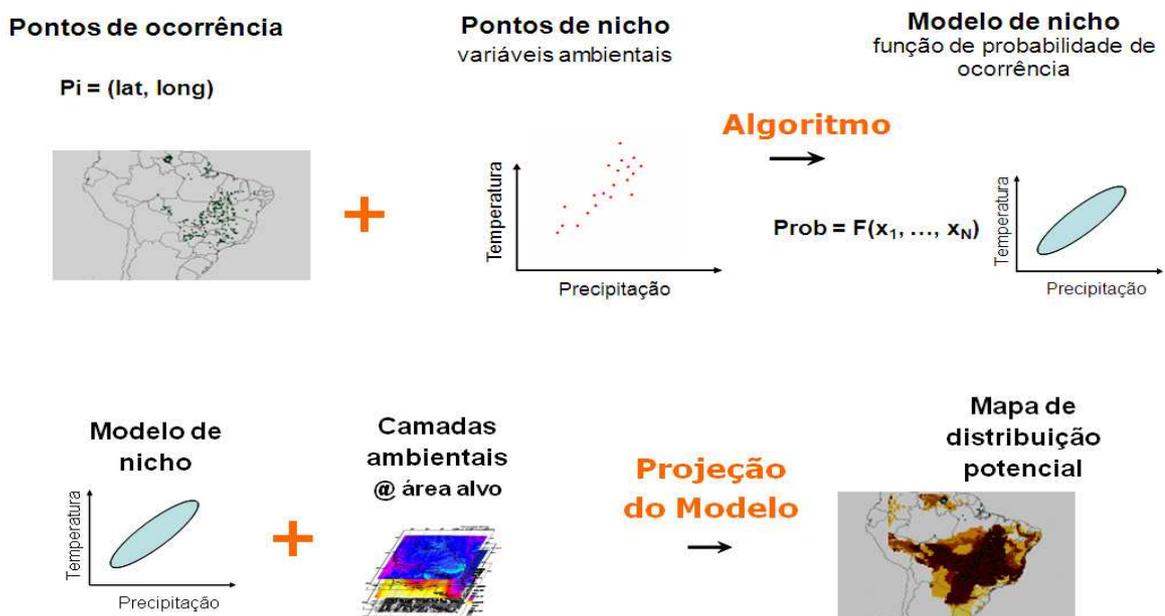


Figura 1.4 - Ilustração do ciclo da modelagem de nicho ecológico.

Fonte: retirado de Santana (2009)

A Figura 1.4, representando o ciclo de modelagem, pode ser descrita da seguinte forma, segundo Santana (2009): os pontos de ocorrência da espécie em estudo, na forma de dados

georreferenciados (latitude e longitude), são analisados em conjunto com as camadas (*layers*) de dados ambientais, como temperatura, precipitação, altitude, vegetação e etc. do espaço ecológico multidimensional - também na forma de dados georreferenciados - por algoritmos capazes de encontrar áreas ambientalmente similares àquelas onde a espécie de fato ocorre, produzindo assim um modelo de nicho ecológico que será projetado num mapa geográfico em escala de cores, gerando o mapa com a distribuição potencial da espécie na área de estudo.

Pereira e Peterson (2001) nos informam que os dados primários são obtidos por meio de coletas de espécimes, observações e estudos diretos de espécies que são armazenadas em museus de história natural e herbários por todo o mundo, e ainda na literatura científica, na forma de pesquisas e publicações. Enquanto que os dados secundários são constituídos por resumos baseados nos dados primários que se tornaram mapas regionalizados, guias de campo e registros municipais. A utilização das informações primárias, principalmente dos pontos de ocorrência das espécies, é preferível em relação ao uso de fontes de dados secundários.

No entanto, Pereira e Peterson (2001) expõem a dificuldade de acesso aos dados primários fazendo com que os estudos não aproveitem completamente as informações já existentes, que em sua grande parte não se encontra informatizada e é considerada propriedade de instituições individuais, conferindo aos estudos maior carência quanto ao poder analítico e aos seus resultados que freqüentemente refletem tal falha.

Atualmente, várias iniciativas têm tentado superar as barreiras de acesso a tais dados (PEREIRA e PETERSON, 2001), como, por exemplo: *The Species Analyst*; *Global Biodiversity Information Facility* – GBIF; speciesLink, que por meio da Internet integram informação de diversos bancos de dados e plataformas computacionais heterogêneos, e essa informação integrada é então retornada aos usuários através Internet ou através de extensões a aplicações desktop, que permitem consulta, visualização e recuperação de dados em vários formatos.

Diversos são os algoritmos existentes que permitem a associação da ocorrência da espécie com as variáveis ambientais (ELITH et al., 2006) cada qual mais apropriado, ou indicado, para determinada finalidade. Pois, com o desenvolvimento de novas técnicas e o acesso mais fácil aos dados ambientais é possível utilizar essa abordagem com os mais diferentes objetivos: definir áreas prioritárias para conservação (CHEN e PETERSON, 2002; GARCIA, 2006), analisar o potencial de invasão de uma espécie não-nativa (PETERSON e VIEGLAIS, 2001; NYARI et al., 2006; FICETOLA et al. 2007; GIOVANELLI et al., 2008a;

De MEYER et al., 2009); prever a distribuição de espécies raras e ameaçadas (GIOVANELLI et al., 2008b; SIQUEIRA et al., 2009) determinar a distribuição geográfica de uma espécie no passado (HUGALL et al., 2002; CARNAVAL e MORITZ, 2007) e; fazer previsões relacionadas aos efeitos do aquecimento global (SIQUEIRA e PETERSON, 2003; HADDAD et al., 2008), entre outros.

Os diferentes métodos de modelagem se diferem quanto a sua formulação matemática e análise estatística, além de possuírem fundamentação ecológica distinta. Santana et al., (2009) apresenta três soluções computacionais disponíveis para a modelagem de nicho ecológico: o openModeller [<http://openmodeller.sourceforge.net/>], o DesktopGarp [<http://nhm.ku.edu/desktopgarp>] e o MaxEnt [<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>].

O openModeller (CANHOS et al., 2005; SANTANA et al., 2006 apud SANTANA, 2009) destaca-se por ser o mais completo, com ferramentas para analisar, visualizar e construir cenários ambientais, considerando eventos no presente, no passado ou no futuro, por possuir diversas opções de algoritmos de modelagem, possibilitando a comparação de modelos gerados através de diferentes algoritmos, por seus recursos para entrada de dados ambientais e dados de espécies em formatos heterogêneos, sem preparação prévia, e por sua integração com SIG. O DesktopGarp oferece a possibilidade de realizar múltiplas projeções a partir de um mesmo modelo, porém tem apenas um único algoritmo para modelagem, que é o Garp (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), os conceitos em que os algoritmos genéticos se baseiam estão relacionados com os conceitos biológicos de evolução das espécies e de seleção natural, convém ressaltar que testes realizados com o GARP demonstram uma excelente habilidade de previsão para um número relativamente baixo de pontos de ocorrência (10 a 20 pontos), o que evita muitos dos problemas que atrapalham os outras técnicas. (PEREIRA e PETERSON, 2001; PEREIRA e SIQUEIRA, 2007; STOCKWELL et al., 2006; STOCKWELL; PETERS, 1999; STOCKWELL e NOBLE, 1992; 2006 apud SANTANA, 2009). O MaxEnt não oferece muitas facilidades adicionais, porém o seu único algoritmo, também chamado de MaxEnt (Maximum Entropy) (PHILIPS et al., 2006), é um dos mais utilizados atualmente, em função de sua reconhecida acurácia.

A versão atual do programa openmodeller (1.1.0), traz disponível a possibilidade de utilizar vários algoritmos para a modelagem, entre eles o GARP (inclusive com algumas variações e adaptações) e o MaxEnt, ou seja, uma única ferramenta que ofereça muitas possibilidades de análise, diversos algoritmos estão implementados: Bioclim, Artificial Neural Network, SVM (Suport Vector Machine), Envelope score, Niche mosaic, e outros.

Mais um ponto que merece destaque é a facilidade de utilização do programa.

Segundo Pereira e Peterson (2001), o Bioclim (Bioclimatic Envelope) foi um dos primeiros métodos nessa área, desenvolvido nos anos 80, e consiste em sobrepor os pontos de dados de ocorrência de espécies a um conjunto de coberturas climáticas, como temperatura, precipitação, radiação solar e neve. A partir daí o algoritmo define como o nicho fundamental da espécie o conjunto de categorias que abrange 95% dos pontos de ocorrência, que são então destacadas no mapa que mostra a distribuição geográfica potencial da espécie. É um método que tem como vantagem a sua simplicidade, no entanto, tende a mostrar grandes erros de sobreprevisão e é susceptível à qualidade dos pontos de ocorrência da espécie.

A escolha do algoritmo mais apropriado pode minimizar, simultaneamente, os dois tipos de erros possíveis na modelagem, a omissão e a sobreprevisão, representados na Figura 1.5, como explicam Pereira e Peterson (2001). Enquanto a omissão acontece quando uma área ocupada pela espécie não é considerada na previsão, a sobreprevisão consiste em incluir na previsão uma área não ocupada pela espécie.

A omissão ocorre, quase sempre, por erro no modelo ou no registro de ocorrência, ou seja, por uma identificação incorreta da espécie ou mesmo erro no georreferenciamento. Já a sobreprevisão, que é muito mais difícil para identificar a natureza do erro, pode ocorrer tanto em decorrência de um problema no modelo quanto devido a deficiência na amostragem de dados, ou seja, não é possível saber se a espécie realmente está ausente daquela área ou simplesmente não foi registrada. Além da escolha correta do algoritmo, algumas soluções simples podem minimizar esses erros: incluir o mapa inteiro como presença da espécie reduz a zero o erro de omissão; e incluir apenas os pontos de ocorrência conhecidos reduz a zero o erro de sobreprevisão (PEREIRA e PETERSON, 2001; SIQUEIRA, 2002).

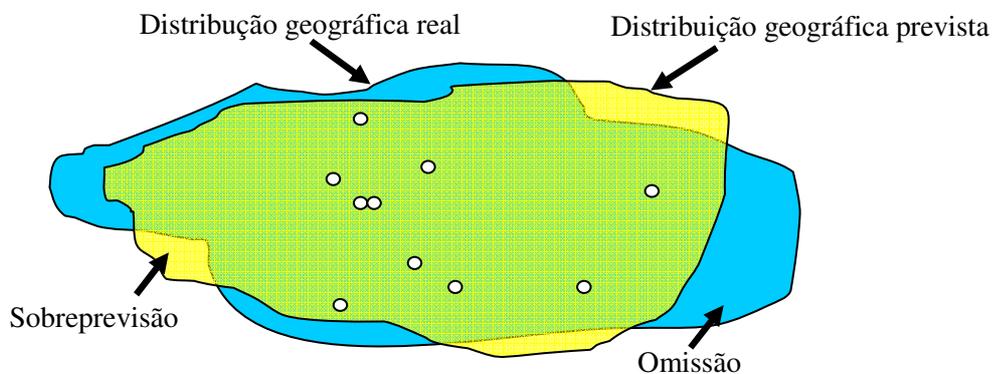


Figura 1.5 - Ilustração dos dois tipos de erros possíveis na previsão de distribuição: omissão e sobreprevisão.

Fonte: retirado de Siqueira (2005)

Em Santana (2009), é apresentada uma seqüência de passos, ou etapas, utilizada para se realizar a modelagem de nicho ecológico, bem como as tarefas, ferramentas e alguns comentários adicionais, que pode ser observada na Figura 1.6.

| Etapas | Tarefas | Ferramentas e Dados | Comentários |
|--------------------------------------|--|--|---|
| 1. Definição do Problema | Definir o experimento de modelagem: questões a serem respondidas, seleção de espécies, área de estudo, camadas ambientais e resolução geográfica. | | |
| 2. Tratamento dos Pontos de Espécies | Obter e preparar os pontos de ocorrência e ausência (quando disponíveis) de espécies, realizar o tratamento de dados (e.g.: <i>data cleaning</i>) e o posicionamento das coordenadas geográficas. | Portais: GBIF e specieslink. Ferramentas: MS Office™ (Excel), OpenOffice.org Calc, etc. | Informações sobre os dados de espécies: formato dos dados e classificação em coordenadas georeferenciais (city, location, GPS). |
| 3. Tratamento dos Dados Ambientais | Identificar, obter e, se preciso, converter os dados ambientais necessários para gerar um modelo, normalmente formatados como camadas ambientais. | Portais: NASA, CPTEC-INPE, Worldclim, etc. SIG. Arquivos em: ascii, tiff, orimg. | Dados ambientais devem ser acompanhados de seus metadados: resolução, método e data de aquisição. |
| 4. Análise de Viabilidade dos Dados | Analisar as questões, os pontos de presença e de ausência e os dados ambientais, para verificar se estão atendidas as condições para a geração do modelo. | Microsoft Excel™, Word™ e Access™ Arquivos: .txt, maps, etc. | |
| 5. Escolha do(s) Algoritmo(s) | Definir o algoritmo que será aplicado para a geração do modelo. | openModeller | Algoritmos disponíveis: GARP, Bioclim, ClimateSpaceModel, Environmental Distance etc. |
| 6. Definição dos Parâmetros | Definir os valores numéricos para os parâmetros passados aos algoritmos, para controlar alguns aspectos do seu comportamento. Cada algoritmo tem seus próprios parâmetros. | openModeller, Desktop Garp, MaxEnt | A escolha incorreta de parâmetros pode comprometer o modelo, portanto é importante entender bem o significado de cada um. |
| 7. Geração do(s) Modelo(s) | Executar o algoritmo escolhido com os parâmetros selecionados. | openModeller, Desktop Garp, MaxEnt | openModeller: pode gerar vários modelos no mesmo experimento; Desktop Garp: múltiplas projeções. |
| 8. Pós-Análise Automática | Realizar comparações com outros dados de distribuição das espécies; obter medidas estatísticas de validação de modelos. | Pacotes estatísticos, Microsoft Excel™, OpenOffice.org Calc. | Análise feita pelo openModeller: AUC (Area Under Curve). |
| 9. Validação do Pesquisador | Baseado em seu conhecimento, o pesquisador decide aceitar o modelo, abandoná-lo ou retomar para alguma das etapas anteriores. | Bases de dados disponíveis: Internet, GIS, etc. | |

□ + ■ Processo completo ■ Parte do processo que poderia ser automatizada (visão ideal)

Figura 1.6 - Processo de referência para a modelagem de nicho ecológico, onde é possível identificar as etapas da modelagem de nicho.

Fonte: retirado de Santana (2009)

CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA: AS MOSCAS-DAS-FRUTAS E O COMPLEXO *Bactrocera dorsalis*

Harris et al. (2003), citam Harris e Lee (1992) e Vargas (1994), ao afirmam que as moscas-das-frutas são pragas resilientes, com adaptação ecológica, pois podem sobreviver com certo grau de flexibilidade, numa ampla variedade de *habitats* com diferentes condições ambientais. E ainda, que podem se deslocar por curtas distâncias em busca de alimento de locais para reproduzirem e mesmo se dispersar passivamente por longas distâncias com a ajuda de correntes de vento, por exemplo, para novas áreas onde podem colonizar e, por vezes, o movimento ou migração é dificultado pela presença de barreiras físicas e ecológicas. Essas colocações nos instigam a conhecer um pouco mais sobre esses insetos.

As moscas-das-frutas pertencem à Ordem Diptera, Família Tephritidae, com 500 gêneros e, aproximadamente, 4.000 espécies já descritas (OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006). A sua distribuição geográfica é observada nas regiões tropicais e temperadas do mundo todo (ZUCCHI, 2001). A maior diversidade de espécies de moscas-das-frutas, no continente americano, se encontra no Brasil, e as espécies consideradas de importância econômica pertencem aos gêneros *Anastrepha*, *Ceratitis*, *Rhagoletis* e *Bactrocera* (ZUCCHI, 2000).

O gênero *Anastrepha* é representado por cerca de 200 espécies, das quais 94 ocorrem no Brasil (ZUCCHI, 2000). *Ceratitis capitata* é a espécie mais polífaga (se alimenta em cerca de 374 espécies de plantas) e invasora dentre os tefritídeos. Foi introduzida no Brasil há mais de 100 anos e é um dos mais antigos registros de espécie exótica no país e é a única espécie de moscas-das-frutas que ocorre em todas as zonas biogeográficas do mundo (MALAVASI et al., 2000 apud ZUCCHI, 2001). Enquanto o gênero *Rhagoletis* tem distribuição restrita e baixa capacidade de se adaptar a novos ambientes (MALAVASI, 2001).

No gênero *Bactrocera* aproximadamente 400 espécies são pragas de relevância econômica em frutas, verduras e legumes (DREW, 1994 apud SINGH, 2003). O complexo *B. dorsalis* inclui aproximadamente 75 espécies descritas, dentre as quais um pequeno número de pragas que atacam várias plantas hospedeiras tem expressão econômica internacional: *B. dorsalis sensu stricto*, *B. papayae*, *B. carambolae* e *B. philippinensis* (CLARKE et al., 2005). No Brasil a única espécie do gênero é *B. carambolae*, a mosca-da-carambola, uma espécie exótica que foi introduzida no estado do Amapá (OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006).

2.1 BIOLOGIA E BIOGEOGRAFIA DA SUBFAMÍLIA DACINAE

Dentre as maiores famílias pertencentes a ordem Diptera, a família Tephritidae é uma das mais importantes do ponto de vista econômico, é formada por cerca de 4.000 espécies distribuídas por 500 gêneros em 4 sub-famílias: Dacinae (*Bactrocera* e *Dacus*), Trypetinae (*Anastrepha*, *Ceratitis*, *Phylophila* e *Rhagoletis*), Tephritinae (*Acanthiophilus*, *Cerellia*, *Chaetorellia*, *Noeëta*, *Tephritis*, *Tomoplagia*, *Trupanea*, *Trypanea* e *Xanthaciura*) e Urophorinae (*Ensina* e *Urophora*) (citado em MORETTI, 1998).

As espécies das subfamílias Dacinae e Tephritinae são associadas principalmente a frutos carnosos, essas espécies que infestam frutos são altamente destrutivas e responsáveis por grandes prejuízos econômicos (MORETTI, 1998).

O detalhamento da biologia das espécies pertencentes à subfamília Dacinae, da qual faz parte a mosca-da-carambola, que apresento a seguir é todo ele referenciado em Fletcher (1987), e se faz necessário em virtude das poucas informações disponíveis na literatura nacional e internacional a respeito da biologia de *B. carambolae*, informações essenciais para o desenvolvimento desse estudo. Devido às espécies pertencentes ao complexo *B. dorsalis* e, portanto a subfamília Dacinae, apresentarem comportamento semelhante é possível, se necessário, utilizar as informações disponíveis para as suas espécies-irmãs.

Quase todas as espécies conhecidas da subfamília Dacinae têm ciclo de vida semelhante, como podemos observar na Figura 2.1, que ilustra o ciclo de vida de *B. dorsalis*, a mosca-das-frutas oriental.

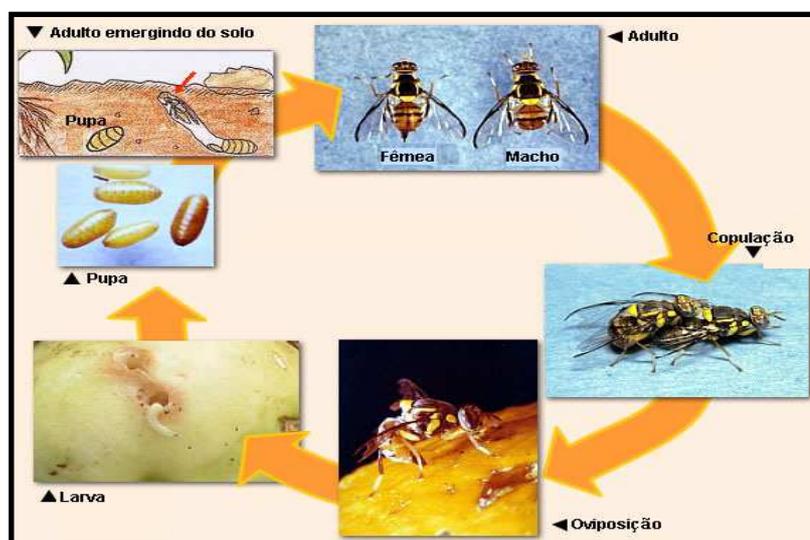


Figura 2.1 - Ciclo de vida da mosca-das-frutas oriental.

Fonte: modificado de www.pref.okinawa.jp

As fêmeas depositam seus ovos no interior de frutos em maturação, as larvas passam por três instares antes de se formarem pupas, o que normalmente ocorre no solo, embora em poucas espécies possa ocorrer dentro do fruto. Durante seu desenvolvimento as larvas criam galerias no fruto, maceram os tecidos e bactérias associadas. Nos frutos maiores tendem a se mover para o centro do fruto, onde encontram proteção contra parasitas e certos predadores. Quando maduras, as larvas da maioria das espécies deixam o fruto e escavam vários centímetros no solo onde se tornarão pupas. Após emergirem, os adultos passam por um período de maturação por vários dias antes de se tornarem sexualmente ativos.

Em geral, as moscas-das-frutas da subfamília Dacinae são insetos diurnos e à noite se abrigam sob as folhas das plantas hospedeiras ou em árvores próximas. Suas atividades diurnas se encaixam em cinco categorias funcionais: alimentação, acasalamento, oviposição, dispersão e de repouso ou abrigo. O tempo dedicado a cada uma dessas atividades depende de vários fatores, tais como: idade, sexo, disponibilidade de indivíduos, de plantas hospedeiras e num curto e longo prazo das condições climáticas.

Os adultos precisam se alimentar regularmente de uma dieta rica em aminoácidos, vitaminas, minerais, carboidratos e água para sobreviverem e reproduzirem, e as fêmeas necessitam de proteínas para a maturação dos ovócitos. Os adultos recém emergidos carregam reservas do seu estágio larval que permitem a sua sobrevivência por 1 ou 2 dias se não encontrarem alimento disponível.

As espécies polífagas e multivoltinas tropicais e subtropicais a exemplo de *B. dorsalis* são fortes voadores e altamente móveis. Alguns indivíduos podem se mover por grandes distâncias em poucas semanas. A distância máxima registrada por indivíduos foi de 200 km para *B. cucurbitae*, 65 km para *B. dorsalis*, 90 km para *B. tryoni* e *B. zonatus*.

Quando as plantas hospedeiras são abundantes em uma área, as moscas adultas tendem a restringir seus movimentos de vôo em busca de alimento, água e áreas para oviposição, nesse caso os movimentos são não dispersivos.

Muitos fatores, bióticos e abióticos podem influenciar na distribuição endêmica e na demografia das populações de moscas-das-frutas, afetando direta ou indiretamente a sobrevivência e as taxas de desenvolvimento nos diferentes estádios e na fecundidade das fêmeas. O fator mais importante parece ser temperatura, umidade e disponibilidade de hospedeiros, os inimigos naturais e a competição também podem ser importantes em determinadas circunstâncias.

A temperatura e a umidade são dois fatores climáticos que não só afetam diretamente a demografia de uma espécie, mas também indiretamente por sua influência nos hospedeiros e inimigos naturais. A maior influência da temperatura nas espécies multivoltinas está na determinação do tempo de desenvolvimento e ainda no número de gerações por ano. Em espécies altamente polífagas como *B. tryoni* e *B. dorsalis*, o número de gerações por ano pode variar de 3 a 8 em diferentes partes de sua faixa de distribuição.

O tempo de desenvolvimento é semelhante para todas as espécies, a fase de ovo leva de 1-2 dias, larva de 7-8 dias, e pupa 10-11 dias para completar o desenvolvimento sob 25°C. A temperatura pode atuar também como um importante fator de mortalidade, fora da faixa de temperatura ótima, aproximadamente 18-27°C, a mortalidade aumenta. Em temperaturas oscilantes a relação entre temperatura e mortalidade é complexa e influenciada pelos níveis de umidade e a capacidade de aclimação em alguns estágios de vida.

A abundância de larvas hospedeiras é um dos principais fatores regulando a população de moscas da subfamília Dacinae. Em espécies polífagas populações atingem seu nível mais baixo ao final do inverno e pode levar várias gerações para alcançar níveis máximos. Nas espécies mais especializadas que utilizam hospedeiros que frutificam por períodos limitados no ano, níveis mínimos de população geralmente ocorrem somente até a infestação de uma nova cultura.

As larvas da maioria das moscas Dacinae são atacadas por parasitas Himenópteros, principalmente da família Braconidae. Outros insetos atuam como predadores, os mais importantes são as formigas que removem as larvas e pupas dos frutos e do solo, outros predadores são besouros, pássaros frugívoros, patógenos (fungos e bactérias).

Existem evidências que a competição intraespecífica pode limitar níveis populacionais quando espécies se tornam abundantes em relação aos recursos. A mais explícita interação competitiva em Dacinae ocorre entre fêmeas nos frutos quando o nível populacional é muito alto, no entanto, a competição entre as larvas nos frutos parece ser mais freqüente e importante.

Baseado em dados disponíveis, Drew (2004), afirma que 880 espécies são descritas para Dacinae, sendo 629 pertencentes ao gênero *Bactrocera* e 248 ao gênero *Dacus*, cuja distribuição endêmica – ou seja, que ocorrem somente dentro de uma região específica – está demonstrado na Figura 2.2. *Bactrocera* está endemicamente distribuída na Índia, do sudeste asiático às ilhas do Pacífico e as espécies de *Dacus* encontram-se em sua maioria pelo

continente africano.

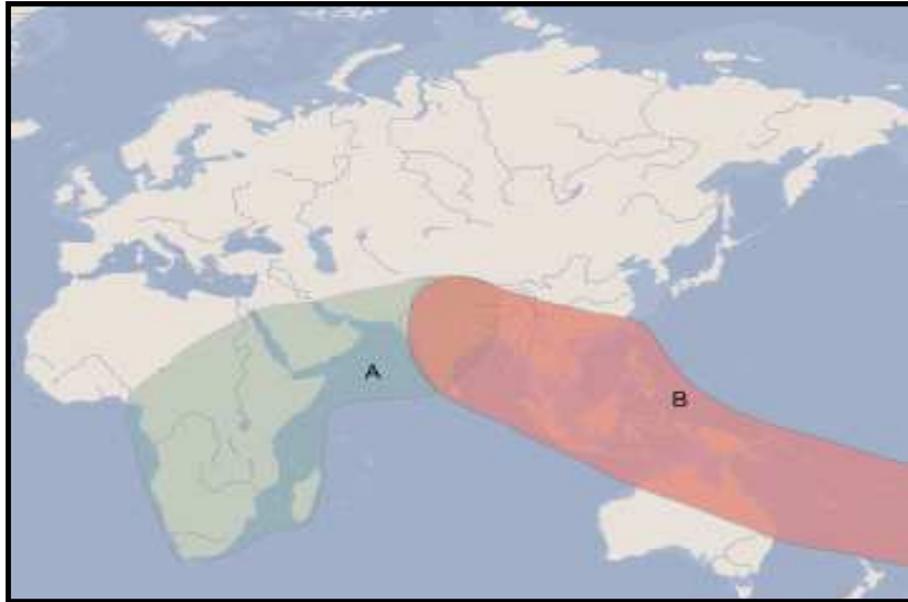


Figura 2.2 - Distribuição endêmica do gênero *Dacus* Fabricius (A) e do gênero *Bactrocera* Macquart (B).

Fonte: retirado de Drew (2004)

O alto nível de endemismo em cada área é apontado por Drew (2004) como um indício de que a especiação ocorreu por uma relativa isolamento durante um considerável período de tempo. Utilizando o complexo *B. dorsalis* como indicador, o autor conclui que o “hot spot” da especiação em Dacinae foi a área continental ao redor da Tailândia, Vietnã e Malásia e as áreas isoladas das Filipinas, Indonésia, Borneo e Papua Nova Guiné.

Os estudos envolvendo alimentação, corte e acasalamento das moscas adultas realizados nas últimas duas décadas mostram que estes ocorrem na planta hospedeira, demonstrando a forte relação ecológica entre as espécies de Dacinae e seus hospedeiros, o que acaba resultando no processo de especiação da mosca que é diretamente influenciado pela especiação da planta.

O autor recorre a Teoria da Deriva Continental ao descrever que o rompimento de Gondwana levou à colisão da Índia com a Ásia, resultando num influxo da flora na Ásia e também é o fato que explica as fortes relações botânicas na vegetação da Austrália, Papua Nova Guiné, parte do sudeste asiático e da Índia. Na região australiana, os registros fósseis indicam estabelecimento da ordem Diptera e especiação ativa durante o Quaternário há 150.000 anos. E conclui observando que o rompimento de Gondwana forneceu os alicerces dos *habitats* nos quais foi possível ocorrer a especiação do gênero *Bactrocera*.

2.2 *Bactrocera carambolae* (DREW & HANCOCK, 1994)

Posição Taxonômica

Classe: Insecta

Ordem: Diptera

Família: Tephritidae

Sub-família: Dacinae

Tribo: Dacini

Gênero: *Bactrocera*

Espécie: *Bactrocera carambolae*

Nome do autor da espécie: Drew & Hancock, 1994

Sinonímia

Bactrocera sp. A

Nomes Vulgares

Inglês: Carambola fruit fly (CFF)

Português: mosca-da-carambola

Lugar de Origem

Nativa da Indonésia, Malásia e Tailândia (MALAVASI, 2001) e ainda segundo Clarke et al. (2005), Brunei, Índia, Cingapura e Vietnã também fazem parte da distribuição natural da espécie.

Plantas Hospedeiras

Apesar de ser conhecida como a mosca-da-carambola, a praga pode atacar potencialmente cerca de 100 espécies de fruteiras, preferindo, além da carambola, a manga, o sapoti, a goiaba e o jambo branco. Levantamentos no Brasil mostram que a praga infesta goiaba, carambola, caju, biribá entre outras frutíferas e não frutíferas (SILVA et al., 2004; 2005; OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006). As plantas hospedeiras citadas na literatura consultada estão listadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Lista de plantas hospedeiras de *B. carambolae*.

| Nome científico | Nome vulgar | Família | Referências bibliográficas |
|---|--------------------------------------|------------------|--|
| <i>Anacardium occidentale</i> L. | caju | Anacardiaceae | Baimai et al., 1999; Sauers-Muller, 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Annona muricata</i> L. | graviola | Annonaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Artocarpus gomeziana</i> Wall | - | Moraceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Artocarpus sp.</i> | - | Moraceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Aguilar e Santos, 2007; Chua e Khoo, 1995; Clarke et al., 2001; Iwaizumi, 2004; Silva et al., 2004, 2005; Sauers-Muller, 2005; Vayssières et al., 2007 |
| <i>Carica papaya</i> L. | mamão | Caricaceae | Ranganath et al., 1997 |
| <i>Capparis micracantha</i> Candolle | - | Capparaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Capsicum annum</i> L. | pimenta picante da cor amarela | Solanaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Chrysobalanus icaro</i> L. | ajuru | Chrysobalanaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Chrysophyllum cainito</i> L. | abiu-roxo | Sapotaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Citrus limonia</i> (L.) Osbeck | limão-cravo | Rutaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Citrus paradisi</i> Macf. | pomelo | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Citrus reticulata</i> Blanco | tangerina | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck | laranja | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Diospyros wallichii</i> King & Gamble | - | Ebenaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Dryptis longifolia</i> (B.) Pax & Hoffm. | - | Euphorbiaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Elaeocarpus sp.</i> | - | Elaeocarpaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Eugenia cf patrisii</i> Vahl | - | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Eugenia uniflora</i> L. | pitanga | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Fagraea ceilanica</i> | - | Loganiaceae | Clarke et al., 2001 |
| <i>Garcinia dulcis</i> (Roxb.) Kurz | mangostão, bacupari | Guttiferae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Garcinia sp.</i> | - | Guttiferae | Clarke et al., 2001 |
| <i>Genipa americana</i> L. | jenipapo | Rubiaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Gnetum macrostachyum</i> H. Markgraf | - | Gnetaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Gnetum montanum</i> Markgraf | - | Gnetaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Malpighia puniceifolia</i> L. | acerola | Malpighiaceae | Sauers-Muller, 2005; Vayssières et al., 2007 |
| <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007; Iwaizumi, 2004; Ranganath e Veenakumari, 1995; Sauers-Muller, 2005; Vayssières et al., 2007 |
| <i>Manilkara achras</i> (Mill.) Fosberg | sapoti | Sapotaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Manilkara littoralis</i> (Kurz) | - | Sapotaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |

| | | | |
|---|---------------|---------------|---|
| <i>Manilkara</i> sp. | - | Sapotaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Manilkara zapota</i> L. | sapoti | Sapotaceae | Clarke et al., 2001; Iwaizumi, 2004 |
| <i>Melientha suavis</i> Pierre | - | Opiliaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Mimusops elengi</i> L. | abricó | Sapotaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Paramignya andamanica</i> (King) Tanaka | - | Rutaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Payena</i> sp. | - | Sapotaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Planchonella longipetiolatum</i> (King & Prail) | - | Sapotaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Platea</i> sp. | - | Icacenaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Polyalthia</i> sp. | - | Annonaceae | Baimai et al., 1999 |
| <i>Prunus persica</i> L. | pêssego | Rosaceae | Khanh et al., 2008 |
| <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Aguilar e Santos, 2007; Baimai et al., 1999; Clarke et al., 2001; Iwaizumi, 2004; Silva et al., 2004, 2005; Sauers-Muller, 2005; Ranganath e Veenakumari, 1995; Vayssières et al., 2007 |
| <i>Rollinia mucosa</i> (Jacq) | biriba | Annonaceae | Silva et al., 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Spondia dulci</i> P. | teperebá | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Spondia dulcis</i> Foster | - | Anacardiaceae | Vayssières et al., 2007 |
| <i>Spondias cytherea</i> Sonn. | cajá-manga | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Spondias mombin</i> L. [<i>Spondia lutea</i> L.] | cajá | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| <i>Syzygium aqueum</i> (Burman.) [<i>Eugenia aqueum</i> (Burm f.)] | jambo branco | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | jambo branco | Myrtaceae | Aguilar e Santos, 2007; Ranganath e Veenakumari, 1995; Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Clarke et al., 2001; Iwaizumi, 2004; Ranganath e Veenakumari, 1995; Sauers-Muller, 2005; Vayssières et al., 2007 |
| <i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & Perry | jambo-rosa | Myrtaceae | Clarke et al., 2001; Ranganath e Veenakumari, 1995; Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Syzygium</i> sp. | - | Myrtaceae | Baimai et al., 1999; Iwaizumi, 2004 |
| <i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb. | - | Combretaceae | Khanh et al., 2008 |
| <i>Terminalia catappa</i> L. | Chapéu-de-sol | Combretaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| <i>Terminalia manii</i> King | | Combretaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Terminalia procera</i> Roxb. | | Combretaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| <i>Zizyphus jujuba</i> Mill. | jujuba | Rhamnaceae | Sauers-Muller, 2005; Khanh et al., 2008 |
| <i>Zizyphus</i> sp. | - | Rhamnaceae | Baimai et al., 1999 |

Distribuição Geográfica

Nativa da Indonésia, Malásia e Tailândia (e ainda Brunei, Índia, Cingapura e Vietnã, também citados por Clarke et al. (2005) como parte da distribuição natural da espécie) foi coletada pela primeira vez na América do Sul em 1975, no Suriname, onde foi mantida numa coleção de insetos sem ter ainda identificação, somente anos depois, após novas detecções em diferentes espécies de plantas é que amostras da espécie foram enviadas para identificação, sendo então identificada como mosca-da-carambola. A detecção na Guiana Francesa se deu em 1989, e em 1996, a mosca chegou ao Brasil no município de Oiapoque, Amapá, é a única espécie do gênero *Bactrocera* presente no Brasil, a partir desse ano o MAPA iniciou as atividades de controle da praga com o Programa de Erradicação da Mosca-da-carambola – PEMC (MALAVASI, 2001).

Estima-se que a chegada da mosca-da-carambola na América ocorreu em conseqüência do trânsito mundial intenso de pessoas nas décadas de 60 e 70, devido boa parte da população do Suriname ser proveniente de países asiáticos, como a China, Índia e Indonésia, este último um dos lugares onde a praga é endêmica. Por isso o comércio de frutas em pequena escala e a visita de familiares é apontada como a hipótese mais provável da introdução da praga na região (SAUERS-MULLER, 1991; MALAVASI, 2001).

Na Tabela 2.2, estão listados os países onde é registrada a presença de *B. carambolae*, disponíveis na literatura consultada.

Tabela 2.2 - Distribuição geográfica de *B. carambolae*.

| Região | País: estado (município) | Referências bibliográficas |
|----------------|--|--|
| América do Sul | Brasil: Amapá (Mazagão; Oiapoque - aldeia Galibi - Clevelândia do Norte - BR 156; Santana (inclusive ilha de Santana); Macapá - distrito da Fazendinha). | Silva et al., 2004, 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| | Guiana Francesa: em toda a área costeira e algumas vilas isoladas no interior do país (Saint Georges; Regina; Cacao; Roura) | Sauers-Müller e Vokaty, 1996; Sauers-Müller e Midgarden, 1997; Vayssières et al., 2007 |
| | Suriname: Apura (Sipaliwini); Commewijne; Coronie; Para (principalmente em comunidades indígenas); Paramaribo, Saramacca; Washabo | Sauers-Müller e Vokaty, 1996; Sauers-müller e Midgarden, 1997; Sauers-Muller, 2005 |
| Ásia | Cingapura | Iwaizumi, 2004 |
| | Índia (Ilhas Andaman) | Ranganath e Veenakumari, 1995; Ranganath et al., 1997 |

| | |
|--|--|
| Indonésia: Java; Lombok; Nusa Tenggara Barat/ Sumbawa | Iwaizumi, 2004; EPPO, 2006; Sauers-Muller, 2010 |
| Malásia: Selangor (Balakong); Sabah | Chua e Khoo, 1995; Iwaizumi, 2004; EPPO, 2006 |
| Tailândia: Ranong; Ubon Ratchathani; Songhkla | Baimai et al., 1999; Clarke et al., 2001 |
| Vietnã | Khanh et al., 2008 |

A partir dos dados obtidos na literatura e apresentados na Tabela 2.2, foi elaborado, com o DIVA-GIS (versão 7.1.7), o mapa da distribuição atual de *B. carambolae*, Figura 2.3, onde podemos visualizar a área de ocorrência nativa e onde a espécie é considerada invasora.

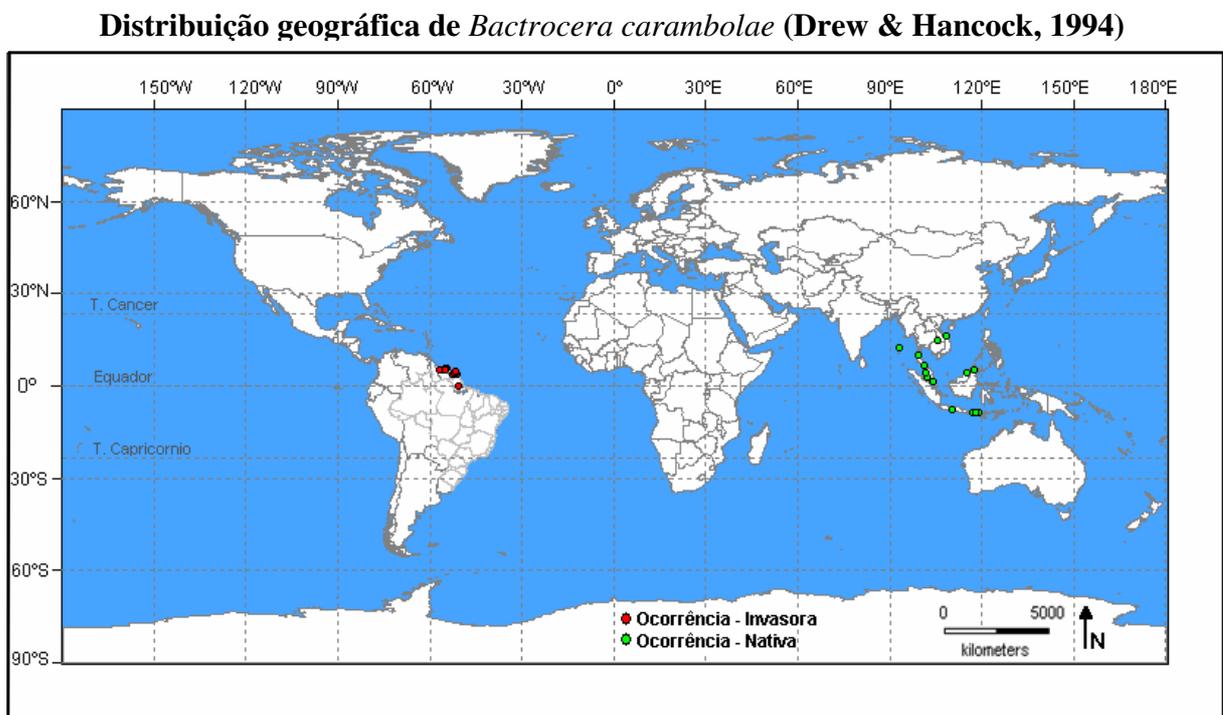


Figura 2.3 - Mapa da distribuição geográfica atual da mosca-da-carambola, contendo os pontos de ocorrência nativa e na região invadida (nos países onde a espécie é invasora são adotadas medidas de erradicação).

Fonte: elaborado pela autora

Distribuição Geográfica x plantas hospedeiras

A Tabela 2.3, a seguir, relaciona a distribuição geográfica de *B. carambolae* encontrada na literatura e as plantas hospedeiras as quais a mesma estava associada em cada país.

Tabela 2. 3 - Plantas hospedeiras de *B. carambolae* e sua distribuição geográfica.

| País: estado (município) | Nome científico | Nome vulgar | Família | Referências bibliográficas | |
|--|--|----------------------------------|------------------|--|-------------------------------|
| Brasil: Amapá (Mazagão; Oiapoque - aldeia Galibi - Clevelândia do Norte - BR 156; Santana) | <i>Annona muricata</i> L. | graviola | Annonaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Anacardium occidentale</i> L. | cajú | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Silva et al., 2004, 2005; Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Capsicum annum</i> L. | pimenta picante da cor amarela | Solanaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Chrysobalanus icaro</i> L. | ajuru | Chrysobalanaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Citrus limonia</i> (L.) Osbeck | limão-cravo | Rutaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Genipa americana</i> L. | jenipapo | Rubiaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Silva et al., 2004, 2005; Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Rollinia mucosa</i> (Jacq) | biriba | Annonaceae | Silva et al., 2005; Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Spondia dulci</i> P. | teperebá | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Spondias mombin</i> L. [<i>Spondia lutea</i> L.] | cajá | Anacardiaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | jambo branco | Myrtaceae | Aguilar e Santos, 2007 | |
| | Cingapura | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Iwaizumi, 2004 |
| Guiana | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| Francesa | <i>Malpighia puniceifolia</i> L. | acerola | Malpighiaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| | <i>Spondia dulcis</i> Foster | - | Anacardiaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| | <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Vayssières et al., 2007 | |
| | Índia (Ilhas Andaman) | <i>Artocarpus gomeziana</i> Wall | - | Moraceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | | <i>Artocarpus</i> sp. | - | Moraceae | Ranganath e |

| | | | | |
|-----------------------------------|---|--------------|---------------|-----------------------------------|
| | <i>Carica papaya</i> L. | mamão | Caricaceae | Veenakumari, 1995 |
| | <i>Dryptis longifolia</i> (B.) Pax & Hoffm. | - | Euphorbiaceae | Ranganath et al., 1997 |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Manilkara littoralis</i> (Kurz) | - | Sapotaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Paramignya andamanica</i> (King) Tanaka | - | Rutaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Planchonella longipetiolatum</i> (King & Prail) | - | Sapotaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Syzygium aqueum</i> (Burman.) [<i>Eugenia aqueum</i> (Burm f.)] | jambo branco | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | jambo branco | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & Perry | jambo-rosa | Myrtaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Terminalia manii</i> King | | Combretaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| | <i>Terminalia procera</i> Roxb. | | Combretaceae | Ranganath e Veenakumari, 1995 |
| Indonésia | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Iwaizumi, 2004 |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Iwaizumi, 2004 |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Iwaizumi, 2004 |
| | <i>Syzygium</i> sp. | - | Myrtaceae | Iwaizumi, 2004 |
| | <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Iwaizumi, 2004 |
| Malásia: Selangor; Balakong | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Chua e Khoo, 1995; Iwaizumi, 2004 |
| | <i>Manilkara zapota</i> L. | sapoti | Sapotaceae | Iwaizumi, 2004 |
| Suriname | <i>Anacardium occidentale</i> L. | cajú | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Sauers-Muller, |

2005

| | | | | |
|---|--|---------------------|----------------|---------------------|
| | <i>Chrysophyllum cainito</i> L. | abiu-roxo | Sapotaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Citrus paradisi</i> Macf. | melão | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Citrus reticulata</i> Blanco | tangerina | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck | laranja | Rutaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Eugenia cf patrisii</i> Vahl | - | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Eugenia uniflora</i> L. | pitanga | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Garcinia dulcis</i> (Roxb.) Kurz | mangostão, bacupari | Guttiferae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Malpighia puniceifolia</i> L. | acerola | Malpighiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | manga | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Manilkara achras</i> (Mill.) Fosberg | sapoti | Sapotaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Spondias cytherea</i> Sonn. | cajá-manga | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Spondias mombin</i> L. [<i>Spondia lutea</i> L.] | cajá | Anacardiaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | jambo branco | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & Perry | jambo-rosa | Myrtaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Terminalia catappa</i> L. | Chapéu-de-sol | Combretaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| | <i>Zizyphus jujuba</i> Mill. | jujuba | Rhamnaceae | Sauers-Muller, 2005 |
| Tailândia: Ranong – Ubon; Ratchathani; Songhkla | <i>Anacardium occidentale</i> L. | cajú | Anacardiaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Averrhoa carambola</i> L. | carambola | Oxalidaceae | Clarke et al., 2001 |
| | <i>Capparis micracantha</i> Candolle | - | Capparaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Diospyros wallichii</i> King & Gamble | - | Ebenaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Elaeocarpus</i> sp. | - | Elaeocarpaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Fagraea ceilanica</i> | - | Loganiaceae | Clarke et al., 2001 |
| | <i>Garcinia</i> sp. | - | Guttiferae | Clarke et al., 2001 |

| | | | | |
|--------|---|------------|--------------|--|
| | <i>Gnetum macrostachyum</i> Hook | - | Gnetaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Gnetum montanum</i> Markgraf | - | Gnetaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Manilkara</i> sp. | - | Sapotaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Manilkara zapota</i> L. | sapoti | Sapotaceae | Clarke et al., 2001 |
| | <i>Melientha suavis</i> Pierre | - | Opiliaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Payena</i> sp. | - | Sapotaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Platea</i> sp. | - | Icacenaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Polyalthia</i> sp. | - | Annonaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | goiaba | Myrtaceae | Baimai et al., 1999; Clarke et al., 2001 |
| | <i>Syzygium malaccensis</i> (L.) Merr. & Perry | jambo | Myrtaceae | Clarke et al., 2001 |
| | <i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & Perry | jambo-rosa | Myrtaceae | Clarke et al., 2001 |
| | <i>Syzygium</i> sp. | - | Myrtaceae | Baimai et al., 1999 |
| | <i>Zizyphus</i> sp. | - | Rhamnaceae | Baimai et al., 1999 |
| Vietnã | <i>Prunus persica</i> L. | pêssego | Rosaceae | Khanh et al., 2008 |
| | <i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb. | - | Combretaceae | Khanh et al., 2008 |
| | <i>Zizyphus jujuba</i> Mill. | jujuba | Rhamnaceae | Khanh et al., 2008 |

Biologia

Os adultos têm longevidade de 30 a 60 dias, atingem a maturidade sexual por volta de 8 a 10 dias após a emergência e copulam após um comportamento de corte por parte do macho. As fêmeas fazem puncturas nos frutos verdes ou próximos da maturação e depositam de 3 a 5 ovos abaixo do pericarpo, ao longo da vida as fêmeas podem produzir mais de 1000 ovos. As larvas passam por três ínstaes dentro do fruto, onde se alimentam da polpa e fazem galerias, ao final do 3º estágio deixam o fruto que já se encontra caído no solo. Ao saírem do fruto passam para a fase de pupação que ocorre no solo a profundidade de 2 a 7 cm, a duração desta fase (geralmente, 8-10 dias SAUERS-MÜLLER, 2010) está condicionada a temperatura e umidade do solo. Após a fase de pupa os adultos emergem (pela manhã entre 9-12 horas SAUERS-MÜLLER, 2010) e iniciam a atividade de vôo com a expansão de suas asas e buscam ativamente por alimentação nos frutos em decomposição, néctar das plantas, excrementos de aves, secreções de pulgões e outras substâncias (MALAVASI, 2001 apud

SILVA et al., 2004)

A 26° C o período embrionário dura de 1 a 2 dias, a fase larval de 6 a 9 dias e a fase de pupa de 8 a 9 dias (MALAVASI, 2001 apud SILVA et al., 2004). Segundo Wee e Tan (2000), sob condições de 25-29°C e com umidade relativa de 83-90% a longevidade de *B. carambolae* é de 3 a 4 meses. Os experimentos realizados pelos autores revelaram que adultos machos e fêmeas começam a acasalar entre 22 e 28 dias após a emergência. Observando o comportamento de machos e fêmeas adultos durante um período de 60 dias, constataram que a maioria dos machos acasalou mais de uma vez, mas somente 7% deles acasalaram 20 ou mais vezes, sendo 21 vezes o maior registro no período. Quanto às fêmeas os acasalamentos múltiplos ocorreram em apenas 10% das fêmeas, que necessitam de um período de no mínimo 8 dias para se tornar receptiva novamente.

Dispersão

Os adultos de moscas-das-frutas apresentam grande capacidade de vôo e podem voar por longas distâncias caso ocorra falta de hospedeiro ou alimento (MALAVASI, 2001 apud SILVA et al., 2004). O vôo dos adultos e o transporte de frutos infestados, pelo ser humano, são os principais meios de movimento e dispersão para áreas ainda não infestadas (EPPO, 2009; Sauers-Muller, 2010).

Vijaysegaran et al. (1991) apud Sauers-Muller (2010) afirma que a mosca-da-carambola tende a predominar em pomares e áreas urbanas, sendo raramente encontrada em florestas tropicais que não foram perturbadas, Sauers-Muller (2010) reitera essa afirmação ao constatar padrão similar nas pesquisas realizadas no Suriname.

Como já foi apresentado anteriormente, Fletcher (1987) cita dados em que as espécies de *Bactrocera* podem se dispersar por distâncias de até 200km. Chen e Ye (2008) citam vários estudos que demonstram a capacidade de dispersão de *B. dorsalis*, espécie pertencente ao complexo *B. dorsalis*, assim como a mosca-da-carambola, nesses estudos a distância de dispersão alcançada foi de 110km e com a ajuda do vento 250km.

A dispersão da mosca-da-carambola para as regiões produtoras de frutas pode ocasionar perdas de grandes proporções no país, caso a mesma fique fora de controle. O prejuízo potencial é estimado em US\$ 30,8 milhões no ano inicial e de cerca de US\$ 92,4 milhões no

terceiro ano de infestação (OLIVEIRA et al., 2002).

Expressão Econômica

Das 64 espécies de Tephritidae registradas na Malásia peninsular sete são de expressão econômica, todas pertencentes ao gênero *Bactrocera* (*B. albistrigata*, *B. carambolae*, *B. cucurbitae*, *B. latifrons*, *B. papayae*, *B. tau* e *B. umbrosa*). As técnicas de controle empregadas (pulverização de inseticidas, higienização do pomar e acondicionamento dos frutos) permitem a comercialização dos frutos no mercado interno e para o mercado de exportação de Cingapura, Hong Kong e Europa onde as moscas-das-frutas não são de expressão quarentenária. A exportação para grandes e lucrativos mercados com os Estados Unidos e o Japão, no entanto, é restrita uma vez que as moscas-das-frutas nesses países são relatadas como as principais pragas quarentenárias (VIJAYSEGARAN e LOKE-WAIHONG, 2000).

Interceptação em outros países

Sete espécies do complexo *Bactrocera dorsalis*, *B. dorsalis*, *B. papayae*, *B. carambolae*, *B. philippinensis*, *B. occipitalis*, *B. caryeae* e *B. kandiensis*, foram identificadas num total de 1.093 espécimes coletados de 136 amostras de frutos transportados por passageiros de países asiáticos e interceptados pela quarentena vegetal do aeroporto de Narita no Japão, de 1979 a 1998. Uma comparação realizada sugere que as espécies simpátricas *B. papayae* e *B. carambolae* têm diferentes preferências por planta hospedeira, enquanto *B. philippinensis* e *B. occipitalis* não se diferenciam quanto a preferência por hospedeiro (IWAIZUMI, 2004).

Descrição da área infestada no Brasil

A coleta de frutos exóticos e nativos infestados pela mosca-da-carambola em Oiapoque, Amapá ocorreu na área urbana, na rural e no entorno de aldeias indígenas. A disponibilidade

de frutos maduros foi apontada como sendo o fator responsável pelo tamanho da população da praga e da conseqüente maior infestação (AGUILAR e SANTOS, 2007)

As detecções simples ou de focos da mosca-da-carambola no estado do Amapá foram constatadas em vários municípios, a característica das infestações é ser oscilante e mais elevada no primeiro semestre do ano, que corresponde ao inverso amazônico, quando as chuvas são mais intensas e encontra-se uma maior diversidade de plantas em frutificação (SILVA et al., 2005).

Os focos de mosca-da-carambola no município de Santana, que juntamente com a capital Macapá abrigam mais de 75% da população do estado do Amapá, causam preocupação pelo fato do município ser uma zona portuária onde ocorre intenso tráfego de embarcações com diversas origens e destinos, sendo os mais frequentes destinos Belém e ilhas vizinhas no estado do Pará. O município de Oiapoque, Amapá, que é considerado foco permanente da praga, também responde por intenso tráfego de embarcações entre sua sede e Saint Georges na Guiana Francesa (SILVA et al., 2005).

CAPÍTULO III - MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DA MOSCA-DA-CARAMBOLA NO BRASIL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* (Drew & Hancock, 1994), pertence a um pequeno grupo de espécies consideradas pragas polífagas de expressão econômica e quarentenária - difíceis de distinguir apenas morfológicamente – do complexo *Bactrocera dorsalis* que contém cerca de 75 espécies descritas e são endêmicas do sudeste asiático. A área de ocorrência natural de *B. carambolae*, sua distribuição nativa, compreende a Indonésia, Malásia, Tailândia, Brunei, Índia (Ilhas Andaman), Cingapura e Vietnã (MALAVASI, 2001; CLARKE et al., 2005). Atualmente, a sua distribuição geográfica se estende para alguns países da América do Sul, onde é classificada como espécie invasora.

A hipótese mais provável da introdução dessa espécie no continente americano é atribuída ao intenso trânsito mundial de pessoas nas décadas de 60 e 70, o comércio de frutas em pequena escala e a visita de familiares de origem asiática pode ter contribuído para a entrada da praga no Suriname, onde foi coletada pela primeira vez em 1975 (SAUERS-MULLER, 1991; MALAVASI, 2001) sendo identificada anos depois como mosca-da-carambola. Em 1989, foi detectada na Guiana Francesa e em 1996, a mosca chegou ao Brasil no município de Oiapoque, Amapá, onde se encontra restrita e sob controle oficial e é a única espécie do gênero *Bactrocera* presente no Brasil (MALAVASI, 2001).

Apesar do nome, a mosca-da-carambola pode atacar potencialmente cerca de 100 espécies de fruteiras, preferindo, além da carambola, a manga, o sapoti, a goiaba e o jambo branco. Levantamentos no Brasil mostram que a praga infesta goiaba, carambola, cajú, biribá entre outras frutíferas e não frutíferas (SILVA et al., 2004; 2005; OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006). Essa característica desperta a atenção para a ameaça potencial à produção do agronegócio brasileiro por sua importante participação na economia brasileira, atingindo em 2008 a marca histórica de 71,8 bilhões de dólares, 23% a mais que o ano anterior e colaborando para o superávit da balança comercial que alcançou o recorde de 60 bilhões de dólares (BRASIL, 2009a).

Se considerarmos apenas a fruticultura, os números também são expressivos, com a

produção anual de, aproximadamente 42 milhões de toneladas de frutas em 2,2 milhões de hectares, sendo o terceiro maior produtor mundial, com cerca de 30% da produção destinada a exportação, e somente com a exportação das frutas frescas, em 2008, o valor obtido foi de US\$ 726 milhões (BRASIL, 2006; 2009b). Vale ressaltar, que a fruticultura além de contribuir para o crescimento da economia brasileira é ainda uma questão de segurança nacional, por ser fonte de alimentação, é geradora de empregos diretos e indiretos, e de divisas (ALMEIDA, 2008). Dados da mais recente publicação da pesquisa Produção Agrícola Municipal (2008) realizada pelo IBGE, apresentam vinte e duas culturas frutíferas que somadas foram cultivadas em 3.016.858 hectares, gerando uma receita de 17,4 bilhões de reais (4,8% a mais que em 2007) que representa 11,7% do valor total alcançado pela agricultura em 2008.

Vários exemplos de invasões de moscas-das-frutas do complexo *Bactrocera dorsalis* em diversos países, tem demonstrado o quanto é dispendioso a erradicação dessas pragas uma vez que as mesmas sejam introduzidas e estabelecidas. Assim como as perdas que podem chegar a 100%, em se tratando de frutos desprotegidos (OLIVEIRA e PAULA-MORAES, 2006), o custo de erradicação é alto. White e Elson-Harris (1992) e Singh (2003), citam autores que afirmam que a erradicação de *B. dorsalis* no Japão foi de ¥5 bilhões (cerca de 32 milhões de dólares) e 200.000 homens/dia de trabalho, enquanto a não erradicação gera perdas como a da Califórnia, onde variou de 44 a 176 milhões de dólares em perda de safra, uso adicional de pesticidas e exigências quarentenárias. Drew (1997), afirma que o surto de *B. papayae* em Queensland, Austrália foi um desastre social e econômico para o país, que só foi superado após a erradicação, ao custo de 32,5 milhões de dólares, e o restabelecimento das exportações comerciais, conforme Cantrell et al. (2002) *apud* De Meyer et al. (2009).

Desta forma, ressalta-se a importância da elaboração de medidas visando fornecer subsídios à tomada de decisões e políticas públicas voltadas à prevenção da dispersão de *B. carambolae*, de modo que sejam eliminadas as ameaças que esta praga pode representar nos setores econômicos, sociais e ambientais do país. A modelagem do nicho ecológico é uma das alternativas que podem ser utilizadas com o intuito de identificar antecipadamente novas áreas que sejam favoráveis à sobrevivência de populações de uma espécie, ou seja, é possível fazer previsões antes que a espécie realmente ocorra, por meio da identificação das suas necessidades ambientais, produzindo uma distribuição potencial para a espécie, o que é um passo no entendimento do fenômeno complexo que é a introdução e estabelecimento de populações não nativas e a dispersão e adequação à paisagem pelo invasor (PETERSON,

2003; SOBERÓN e NAKAMURA, 2009).

Assim, por meio da modelagem de nicho ecológico foram elaboradas hipóteses de distribuição potencial para a mosca-da-carambola no Brasil, com mapas temáticos indicando as áreas mais favoráveis ao estabelecimento da praga no país de acordo com as condições observadas na região de sua ocorrência nativa.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dados de ocorrência

Foi realizado um levantamento na literatura a fim de identificar os pontos de ocorrência conhecidos da mosca-da-carambola na região nativa e nos países onde a mesma está presente como invasora. Foram selecionados apenas os registros referentes a espécie identificada como *Bactrocera carambolae*, ou pelo sinônimo *Bactrocera* sp. A, as informações disponíveis na literatura são escassas (tanto é que a espécie não consta em bases de dados que atualmente são de fácil acesso via Internet, tais como: *Global Biodiversity Information Facility* – GBIF e *SpeciesLink*), e os pontos de ocorrência, em sua grande maioria não estão georreferenciados, por isso foi necessário fazer o georreferenciamento extraíndo as coordenadas geográficas do site NGA GEONet Names Server (GNS) [<http://geonames.nga.mil/ggmaviewer/MainFrameSet.asp>], todos os vinte e nove pontos encontrados (somente de presença), sendo 15 na distribuição nativa e 14 na área invadida (Tabela 3.1), foram inseridos no aplicativo DIVA-GIS para verificação de possíveis erros de posicionamento. Para a construção do modelo foram utilizados apenas os dados da distribuição nativa da espécie, enquanto os demais foram utilizados para a posterior validação do modelo.

Tabela 3.1 - Pontos de ocorrência para *B. carambolae*, em graus decimais, a partir da literatura.

| Nativa (N) ou Invasora (I) | Localidade | Longitude | Latitude | Referência |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|---|
| N | Brunei Darussalam | 114.667 | 4.500 | EPPO, 2006 |
| N | Cingapura | 103.800 | 1.367 | Iwaizumi, 2004 |
| N | Índia - Ilhas Andaman | 92.750 | 12.500 | Ranganath e Veenakumari, 1995; Ranganath et al., 1997 |
| N | Indonésia (Java) | 110.004 | -7.492 | EPPO, 2006 |

| | | | | |
|---|--|---------|--------|--|
| N | Indonésia (Lombok) | 116.667 | -8.500 | Sauers-Muller, 2010 |
| N | Indonésia (Nusa Tenggara Barat/ Sumbawa) | 118.648 | -8.511 | Sauers-Muller, 2010 |
| N | Indonésia (Nusa Tenggara) | 117.533 | -8.740 | EPPO, 2006 |
| N | Malásia: Selangor - Balakong | 101.750 | 3.030 | Chua e Khoo, 1995 |
| N | Malásia (Sabah) | 117.000 | 5.500 | EPPO, 2006 |
| N | Malásia (Pantai Hillpark) | 101.661 | 3.104 | Chua et al., 2009 |
| N | Malásia, Perak (Ipoh) | 101.083 | 4.583 | Wee e Tan, 2000 |
| N | Tailândia (Songhkla) | 100.667 | 6.833 | Clarke et al., 2001 |
| N | Tailândia (Ubon Ratchathani) | 105.167 | 15.167 | Baimai et al., 1999 |
| N | Tailândia (Ranong) | 98.750 | 10.100 | Baimai et al., 1999 |
| N | Vietnã | 107.833 | 16.167 | Khanh et al., 2008 |
| I | Brasil: Amapá - Oiapoque / Clevelândia do Norte | -51.866 | 3.817 | Aguilar e Santos, 2007 |
| I | Brasil: Amapá - Mazagão | -51.283 | 0 | Silva et al., 2004, 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| I | Brasil: Amapá - Santana | -51.167 | 0 | Silva et al., 2004, 2005; Aguilar e Santos, 2007 |
| I | Guiana Francesa (em toda a área costeira e algumas vilas isoladas no interior do país) | -53.250 | 4.000 | Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Guiana Francesa (Saint Georges) | -51.833 | 3.883 | Sauers-Müller e Midgarden, 1997 |
| I | Guiana Francesa (Regina) | -52.133 | 4.317 | Sauers-Müller e Midgarden, 1997 |
| I | Guiana Francesa (Cacao) | -52.467 | 4.583 | Sauers-Müller e Midgarden, 1997 |
| I | Guiana Francesa (Roura) | -52.333 | 4.733 | Sauers-Müller e Midgarden, 1997 |
| I | Suriname (Paramaribo) | -55.167 | 5.867 | Sauers-Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Suriname (Saramacca) | -55.583 | 5.667 | Sauers-Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Suriname (Coronie district) | -56.250 | 5.583 | Sauers-Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Suriname (Apura) | -57.167 | 5.200 | Sauers-Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Suriname (Washabo) | -57.183 | 5.217 | Sauers-Müller e Vokaty, 1996 |
| I | Suriname (Para) | -55.333 | 5.417 | Sauers-Muller, 2005 |

Variáveis ambientais

Foram utilizadas sete das dezenove variáveis bioclimáticas, com a resolução espacial de

aproximadamente 1 Km², que podem ser encontradas e gratuitamente obtidas pelo site Worldclim [www.worldclim.org], tais variáveis são derivadas de dados de temperatura e pluviosidade e resultam da interpolação de dados climáticos relativos ao período de 1950 a 2000, obtidos por meio de estações meteorológicas localizadas por todo o mundo, mais detalhes podem ser encontrados em Hijmans et al. (2005).

A escolha de tais variáveis está apoiada na proposta de De Meyer et al. (2009), as sete variáveis utilizadas foram:

BIO1 – Temperatura anual média;

BIO2 – Variação diurna média de temperatura (média mensal (temp. máx – temp. mínima));

BIO5 – Temperatura máxima do mês mais quente;

BIO6 - Temperatura mínima do mês mais frio;

BIO12 – Precipitação anual;

BIO13 – Precipitação do mês mais úmido; e

BIO14 – Precipitação do mês mais seco.

De acordo com De Meyer et al. (2009), essas dimensões climáticas em particular são as que melhor representam as dimensões ambientais relevantes para a distribuição e sobrevivência das moscas-das-frutas. O uso de outras possíveis variáveis relacionadas a vegetação ou uso do solo não são consideradas sob a justificativa da natureza heterogênea de habitats, inclusive os ambientes cultivados, agrícolas, que podem ser potencialmente ocupados. Devido a proposta de De Meyer et al. (2009) ir de encontro ao levantamento realizado no Capítulo II, optou-se por utilizar as mesmas variáveis bioclimáticas.

Desenvolvimento do modelo

A modelagem de nicho ecológico foi desenvolvida como “Experimento” no programa openModeller Desktop, versão 1.1.0, uma ferramenta para modelagem de nicho fundamental desenvolvido pelo Centro de Referência em Informação Ambiental – CRIA, em parceria com outras renomadas Instituições de ensino e pesquisa, de uso livre e gratuito, pode ser encontrado no site [openmodeller.sourceforge.net/].

Para tanto, foram utilizados os pontos de ocorrência com a correspondente coordenada

geográfica em graus decimais levantados em literatura e salvos com o acessório Bloco de Notas do Windows (em formato .txt), separados por tabulação. As camadas (*layers*) com as variáveis ambientais retiradas do Worldclim foram inseridas ao modelo, bem como o algoritmo escolhido, dentre os 14 disponíveis foi utilizado o GARP, com seus parâmetros padrão, na versão *GARP with Best Subsets – new openmodeller implementation* (3.0.4).

Segundo a própria descrição, trata-se de um algoritmo genético que cria modelos de nicho ecológico para espécies, descrevendo as condições ambientais sob as quais a espécie pode manter populações, necessitando como dados de entrada o conjunto de pontos de ocorrência conhecidos e as camadas geográficas que representam os parâmetros ambientais que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie. Nessa versão são usados os melhores resultados obtidos pelo algoritmo para produzir a modelagem, com base na publicação de Anderson et al. (2003), referente aos critérios para seleção de modelos ideais. Mais detalhes sobre o funcionamento do algoritmo GARP podem ser encontrados também em Pereira e Siqueira (2007).

A escolha do algoritmo GARP deve-se a sua característica de excelente capacidade de previsão com amostras pequenas, de 10 a 20 pontos e para conjunto de camadas de 4 a 8 variáveis, conforme indica Peterson e Vieglas (2001).

A atual versão do openmodeller permite ainda que seja realizada a pré-análise dos dados, assim, o conjunto dados de ocorrência, camadas ambientais e algoritmo foi analisado quanto a sua acurácia, com o auxílio da técnica estatística Jackknife. De acordo com Giovanni e Rodrigues (2008) trata-se de um método para estimar erro e variância com a finalidade de reduzir o erro, aproximando o parâmetro calculado à realidade, é conhecido como uma técnica de reamostragem, pois constrói subamostras de dados a partir de uma amostra original, permitindo usa-lo para determinar a importância de cada variável ambiental no processo de modelagem.

Após realizar a modelagem é possível fazer também uma pós-análise, com o teste externo, foram usados nessa etapa, os 14 pontos de ocorrência na área invadida, como uma forma de validação do modelo gerado, uma vez que a forma mais comum de avaliação, a área sob a curva (AUC) por meio da análise ROC (*receiver operating characteristic*) (que também é gerada no relatório da modelagem do openmodeller) é contestada por De Meyer et al. (2009) por requerer dados de ausência, que não são utilizadas no estudo e por atribuir o mesmo peso para os erros de omissão e sobreprevisão, e quando se trata de potencial de

invasão a omissão deve ser mais considerada que a sobreprevisão, mesmo assim, serão apresentadas essas análises geradas pelo modelo.

Os dois tipos de erros, omissão e sobreprevisão, são considerados na modelagem, tanto no teste interno quanto no teste externo e são calculados pela matriz de confusão gerada a partir dos pontos de ocorrência, seguindo a metodologia apresentada por Fielding e Bell (1997)², a versão do algoritmo GARP utilizada usa esses dois tipos de erros para selecionar um subconjunto dos melhores modelos gerados, assim com um limiar padrão de 50% de erro de sobreprevisão, 20 modelos são gerados e os 10 melhores são utilizados para gerar a modelagem final. A acurácia do modelo e a área sob a curva a área sob a curva (AUC) por meio da análise ROC, que vai de 0 a 1, também são calculadas a partir da matriz de confusão, segundo Elith et al. (2006) valores acima de 0.75 são considerados bons e, portanto, aceitáveis como indicadores do desempenho do modelo.

A modelagem gerada foi então importada para software de SIG a fim de fazer a análise e direcionamento para os objetivos estabelecidos nesse estudo, foi utilizado o TerraView 3.4.0. Todo o processo utilizado para o desenvolvimento do modelo pode ser visualizado na Figura 3.1.

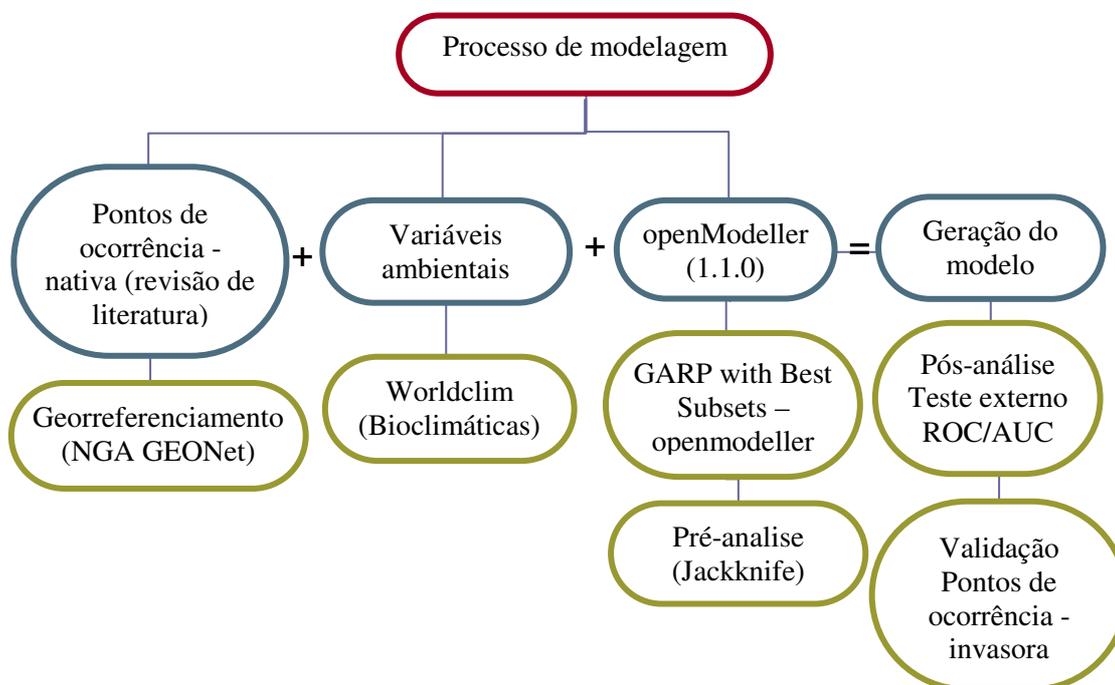


Figura 3.1 - Organograma com as etapas seguidas para o desenvolvimento do modelo.

Fonte: elaborado pela autora

² Referência indicada no relatório de modelagem gerado pelo openmodeller: FIELDING, A. H.; BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, n. 24, p.38-49, 1997.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam, respectivamente, a distribuição geográfica conhecida de *Bactrocera carambolae* em sua região nativa e nos países da América do Sul onde é invasora, a partir dos 29 pontos de ocorrência encontrados na literatura (somente de presença), 15 na distribuição nativa e 14 na área invadida apresentados anteriormente na Tabela 3.1, elaborados com o aplicativo DIVA-GIS.

A modelagem de nicho realizada para a região nativa indicou todos os países onde há ocorrência nativa da mosca-da-carambola como altamente favoráveis, em quase toda extensão territorial, como pode ser observado na Figura 3.4, incluindo os demais países do sudeste asiático e a área costeira de alguns países asiáticos, para os quais não há relatos de ocorrência da praga na literatura consultada.



Figura 3.2 - Mapa contendo os registros de ocorrência de *B. carambolae* na região nativa, utilizados para a construção do modelo.
Fonte: elaborado pela autora



Figura 3.3 - Mapa contendo os registros de ocorrência como invasora, de *B. carambolae*, utilizados para a validação do modelo.
 Fonte: elaborado pela autora

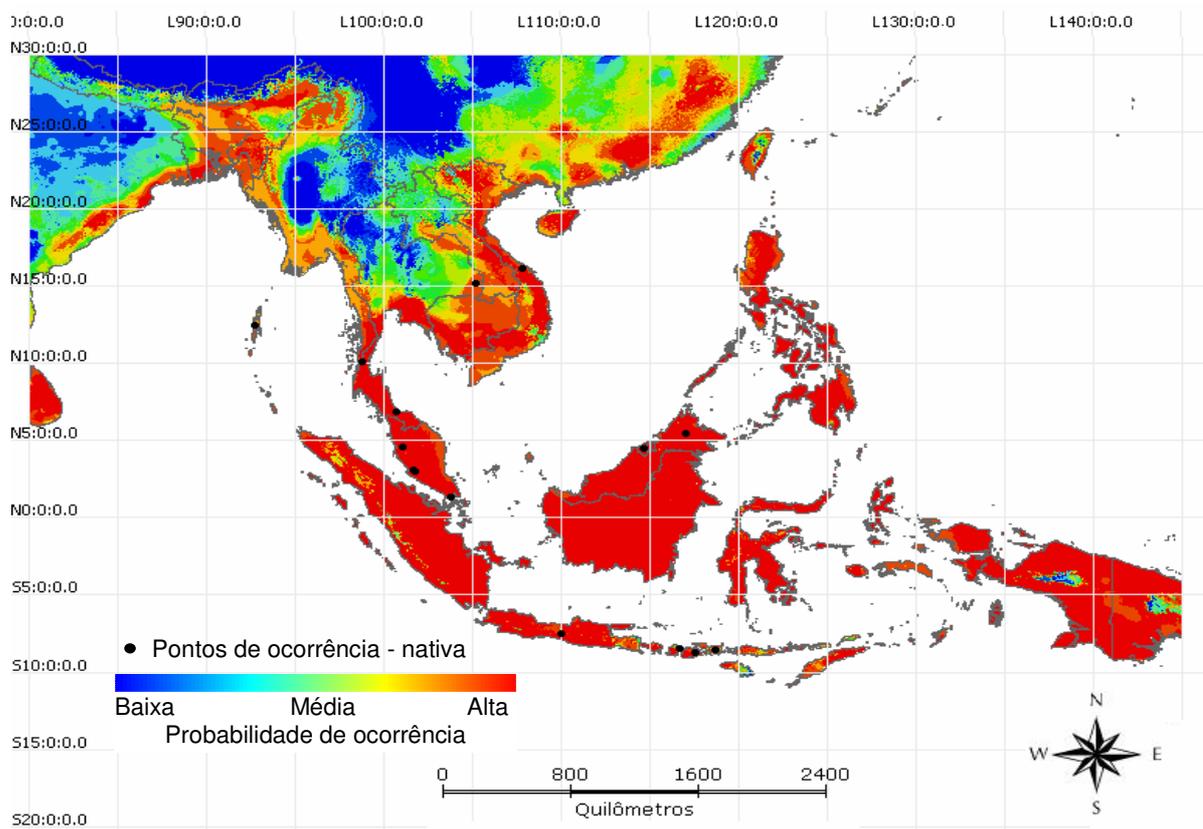


Figura 3.4 - Modelagem do nicho de *B. carambolae* na região nativa

A pré-análise do conjunto de pontos de ocorrência na região nativa, o conjunto de variáveis bioclimáticas e o algoritmo utilizado, realizada com a ajuda da técnica jackknife, gera um relatório no qual é possível verificar a acurácia do modelo sem cada uma das variáveis, que resultou em: BIO1 e BIO13: 80% e 60% para: BIO2, BIO3, BIO5, BIO6 e BIO14.

Do relatório gerado pela modelagem no openModeller é possível resumir, na Tabela 3.2, os seguintes resultados estatísticos:

Tabela 3.2 - Resultados estatísticos obtidos na modelagem realizada pelo openModeller.

| Teste | Estatística | Acurácia (%) | ROC /AUC | Erro de omissão (%)* | Erro de sobreprevisão (%)# |
|----------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Interno | | 100 | 0.95 | 0 | - |
| Externo | | 100 | 0.96 | 0 | - |

*Erro de omissão calculado, no entanto não foram fornecidos dados de ausência.

Erro de sobreprevisão não foi calculado devido à falta de dados de ausência.

A projeção da distribuição potencial de *B. carambolae* no Brasil mostrou que a ocorrência predita inclui a distribuição atual no estado do Amapá, onde a praga encontra-se restrita e sob controle oficial e sugere que grande parte do país apresenta de média a alta probabilidade de ocorrência (Figura 3.5).

A região norte do país mostra-se altamente favorável em quase toda a sua totalidade, isso explica a ocorrência do foco da praga no estado do Pará (onde foi identificada e prontamente erradicada), pois se constata que a praga encontrou condições ambientais favoráveis a sua sobrevivência. Cabe ressaltar a necessidade da manutenção do monitoramento na região, uma vez que caso ocorra o estabelecimento da mosca-da-carambola, a possibilidade de sua dispersão para as demais regiões do país aumentaria consideravelmente, o que poderia mudar o seu status de restrita para amplamente distribuída.

Analisando o mapa da distribuição potencial da mosca-da-carambola no Brasil, por meio da modelagem do nicho, vários questionamentos incluindo os que motivaram esse estudo e os já levantados na literatura (por pesquisadores envolvidos com a temática aqui estudada e preocupados com os desdobramentos do possível estabelecimento da mesma em áreas de expressiva produção de fruteiras no país) nos intrigam na busca por essas respostas e embasam a discussão que se segue.

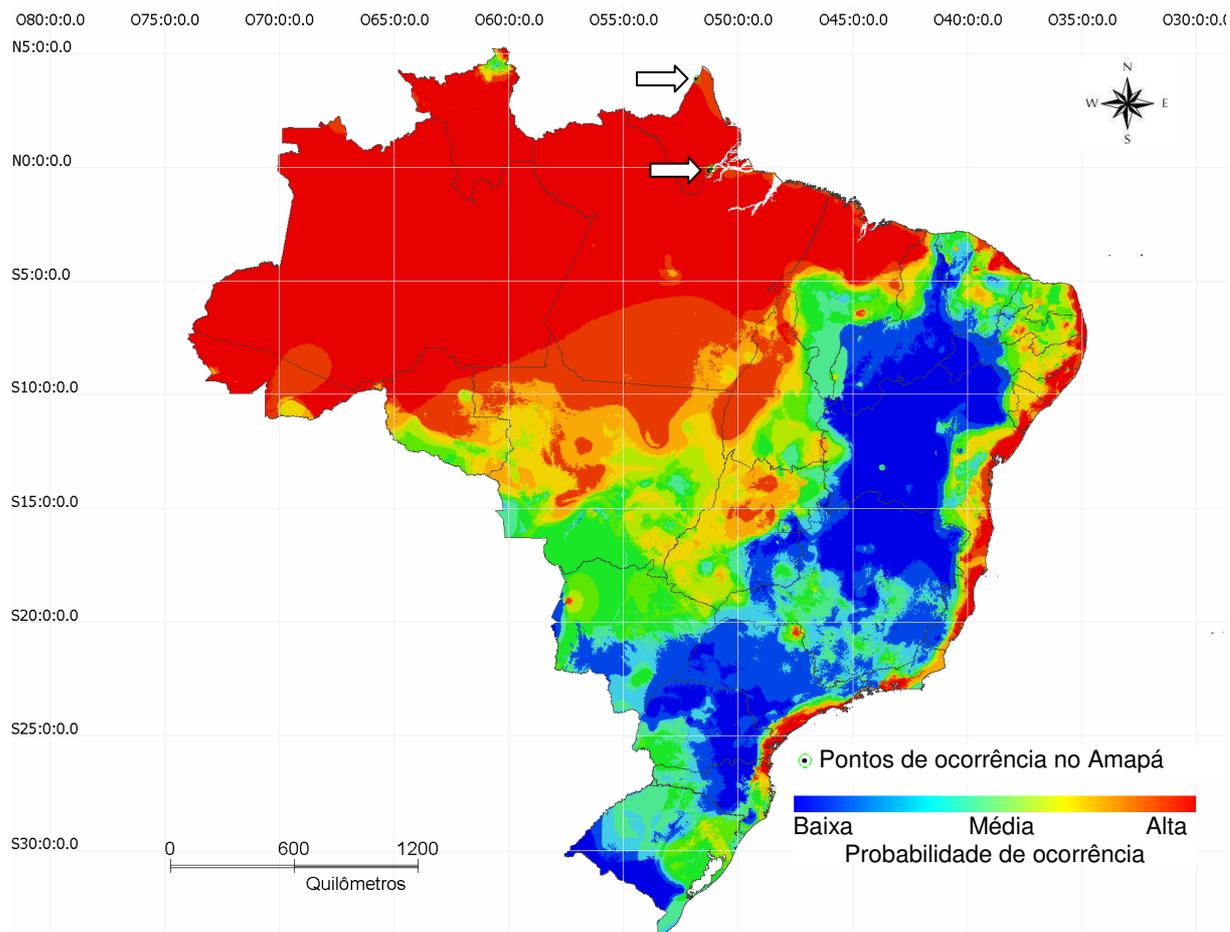


Figura 3.5 - Modelagem indicando o potencial de ocorrência de *B. carambolae* no Brasil.

Raga (2005) demonstrou sua preocupação quanto a possível introdução e estabelecimento da praga no estado de São Paulo, que apresenta elevada produção de citros em extensas e contínuas áreas o ano todo, além de grande diversidade de plantas hospedeiras. O autor acrescenta ainda que a invasão de *B. carambolae* traria ainda dificuldades adicionais para a cadeia produtiva de citros devido à necessidade de utilizar sistemas de monitoramento e controle diferentes dos já utilizados para as espécies de mosca-das-frutas já existentes, o que provocaria aumento de custos. O que observamos na Figura 3.6, no entanto é que a probabilidade de ocorrência da praga no estado de São Paulo é maior na mesorregião de Ribeirão Preto, e na costa litorânea que inclui as mesorregiões do Vale do Paraíba Paulista, Metropolitana de São Paulo, Macro Metropolitana Paulista e Litoral Sul-Paulista.

No entanto, cabe ressaltar, e citar o estudo de Criscuolo (2006), uma comparação entre os anos de 1988 e 2002/2003, que observa para a área correspondente a região nordeste do estado de São Paulo, que engloba a mesorregião de Ribeirão Preto, a diminuição da área de fruticultura (essencialmente citricultura) na região, principalmente devido à expansão da cana-de-açúcar. Essa constatação reduz a ameaça potencial da praga para região, pois a ausência de

plantas hospedeiras pode limitar o seu potencial de estabelecimento.

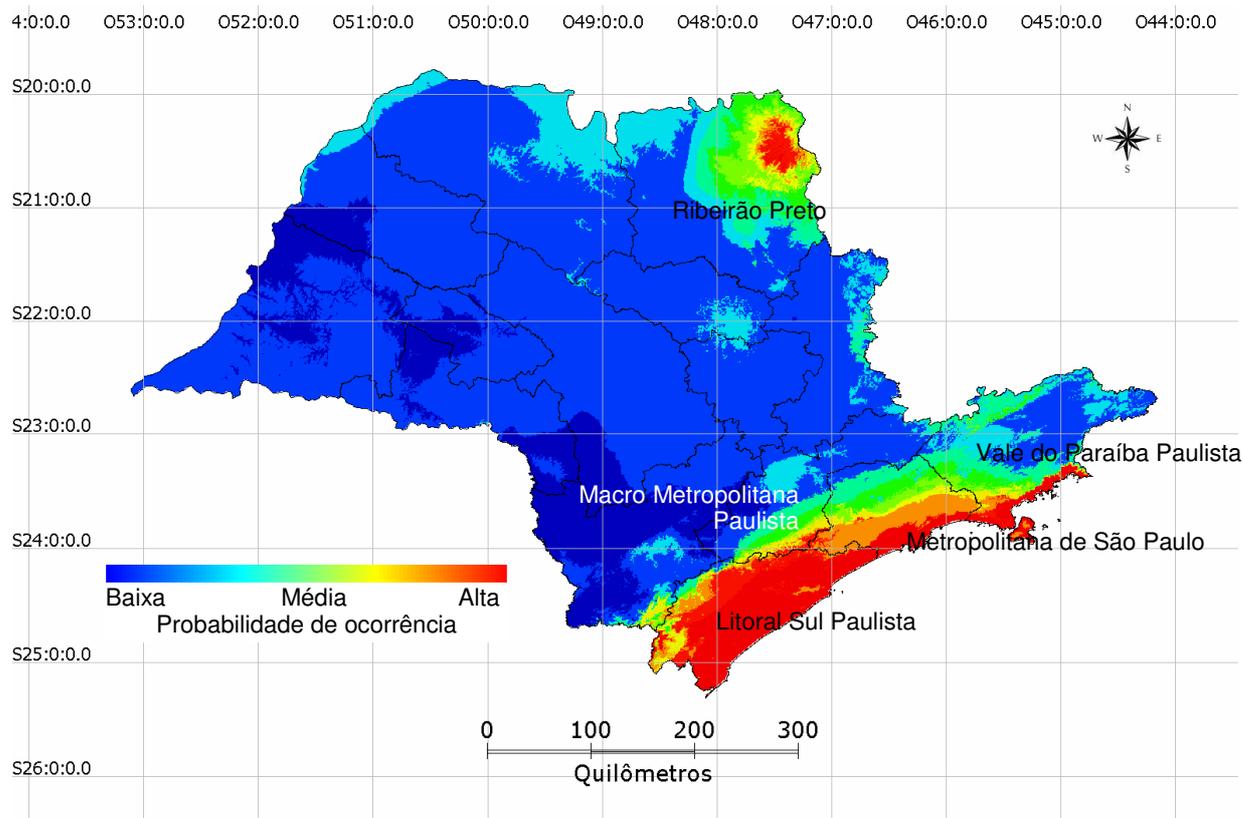


Figura 3.6 - Modelagem do potencial de ocorrência de *B. carambolae* em São Paulo.

Barbosa et al. (2008), por sua vez, consideram citando Malavasi (2001) os prejuízos às exportações, decorrente da dispersão da mosca-da-carambola no território nacional, com perdas diretas na produção de frutos, aumento dos custos de produção, redução do valor comercial e menor tempo de prateleira dos frutos infestados. E compartilham da inquietação de Silva et al. (1997); Nascimento e Carvalho (2000) e Carvalho, (2003) ao afirmarem que um possível impacto negativo da dispersão da mosca-da-carambola para outras regiões do país, a exemplo do Submédio do Vale do São Francisco, pode ter, além dos problemas anteriormente mencionados, implicações ambientais resultantes do controle químico sobre os recursos naturais e organismos não-alvo, a interferência nas interações biológicas com espécies nativas e adaptação a outras espécies comerciais ainda não consideradas hospedeiras.

Recente estudo publicado pelo IBGE (2009), a respeito dos vetores estruturantes da dimensão socioeconômica da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, revela que cerca de 50% dos municípios que fazem parte da Bacia apresentam produção agrícola ligada à fruticultura, principalmente nas produções de banana, uva e manga, atividade que tem crescido e adquirido cada vez mais importância na região. Os maiores produtores em

fruticultura são os municípios de Petrolina (Pernambuco) e Juazeiro (Bahia), (no Submédio do Vale do São Francisco) apresentando uma produção total acima de 200.000 toneladas.

O estudo observa ainda que a fruticultura na bacia do São Francisco se encontra em terras originalmente ocupadas por vegetação do tipo Savana Estépica (Caatinga), com altas temperaturas, elevada evapotranspiração potencial e baixos índices pluviométricos (chegando a 350 mm anuais), necessitando-se desse modo do uso de irrigação. E devido a irrigação na fruticultura, na produção de manga, goiaba, uva, banana, coco e melão, Petrolina pode ser considerado como pólo de desenvolvimento do sertão, com raio de influência interestadual, valor adicionado agropecuário de R\$ 500 milhões, sendo um dos municípios de maior incremento na economia regional.

As características físicas da região de Petrolina explicam a baixa probabilidade de ocorrência para a mosca-da-carambola apontada pela modelagem de distribuição potencial, como pode ser visto na Figura 3.7, onde também estão indicadas as microrregiões do estado de Pernambuco.

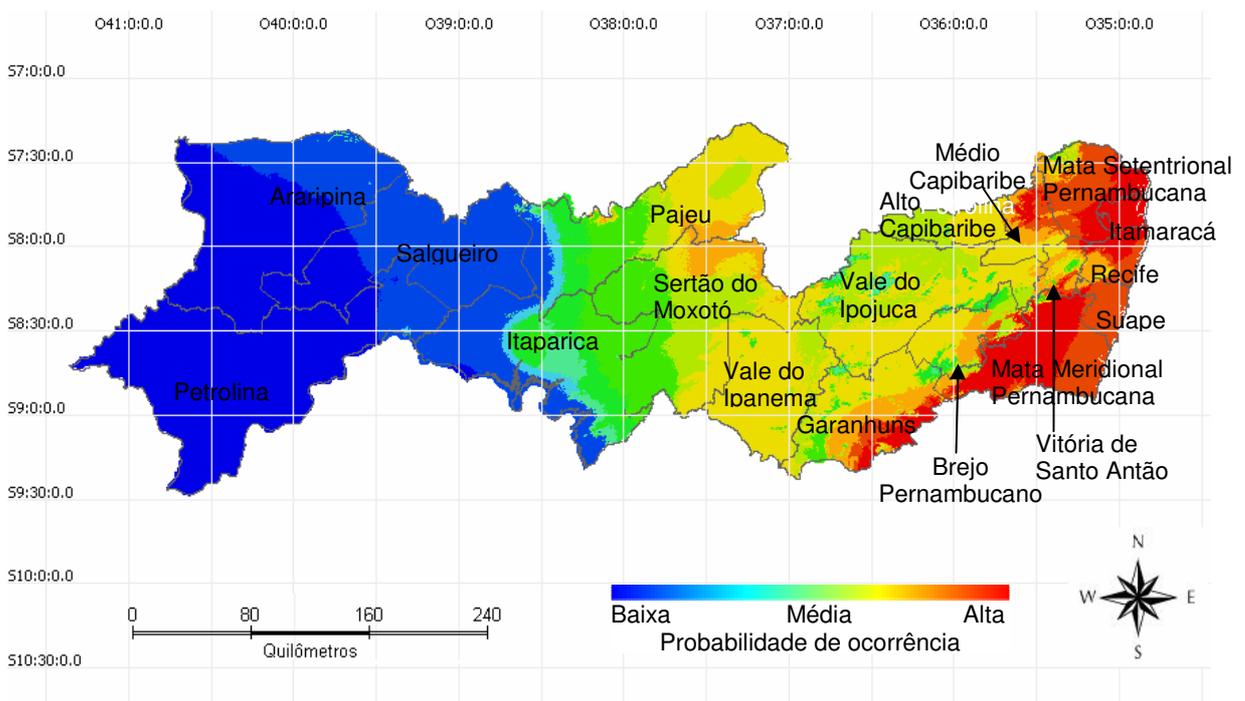


Figura 3.7 - Modelagem do potencial de ocorrência de *B. carambolae* em Pernambuco.

O estudo realizado por Araújo Filho et al. (2000), em decorrência da elaboração do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE, explica que a região nordeste do Brasil apresenta grande variabilidade espacial e temporal com relação a precipitação pluviométrica.

No estado de Pernambuco que é influenciado por três regimes pluviométricos, pode oscilar de ano para ano de 100 a 600 mm (no Sertão e Agreste), sendo separados em anos regulares, chuvosos e secos. Quanto a temperatura do ar, não ocorrem expressivas flutuações, oscilando entre 20 e 26°C, sendo no Sertão onde são encontrados os maiores valores anuais (26°C), excetuando-se as áreas de brejos de altitude, como no caso do município de Triunfo, e, em áreas sobre a Chapada do Araripe (23°C), no extremo Oeste do Estado.

Ainda segundo os autores, no Agreste, transição entre a Mata e o Sertão, basicamente localizado no Planalto da Borborema, com altitude média acima dos 600 metros, a temperatura média anual é mais amena com valores que oscilam entre 19 e 23°C. Na região da Zona da Mata a temperatura junto ao Litoral oscila, entre 24 e 25°C, e à medida que se estende em direção ao Agreste, a temperatura média diminui até o limite do Sertão. Pode-se afirmar que este mesmo padrão é verificado, quando se compara a temperatura mínima média anual. No entanto, observa-se, para todo o Estado, que as oscilações são menos acentuadas, devido à ausência de variações bruscas de temperatura. Essas características, entre outras como a disponibilidade hídrica e tipo de solo, influenciam diretamente no uso do solo para a agricultura e fruticultura, podendo apresentar potencialidades e limitações.

Excetuando-se as microrregiões de Petrolina, Araripina e Salgueiro, como observamos na Figura 3.7, todas as demais microrregiões de Pernambuco apresentam de média a alta probabilidade de ocorrência para a mosca-da-carambola, conforme a modelagem. Com o auxílio do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco é possível correlacionar as áreas de maior probabilidade com o potencial agrícola dessas microrregiões para a fruticultura, no levantamento realizado por ARAÚJO FILHO et al. (2000) para o ZAPE, esse potencial é associado aos recursos edáficos. Aqui foi elaborada a Tabela 3.3, onde é possível identificar as áreas de uso atual e potencial para a fruticultura (considerando a correção do solo e a irrigação). Nessas áreas, portanto, maior atenção deve ser dada às medidas de controle para evitar o estabelecimento da mosca-da-carambola no estado de Pernambuco.

Tabela 3.3 – Uso atual e potencial do solo para a fruticultura em Pernambuco.

| Classes de Solo | Fertilidade natural | Onde ocorrem | Uso atual e Potencial para Fruticultura |
|------------------------|----------------------------|--|---|
| Latossolos Amarelos | Baixa e muito baixa | Zona da mata | Bom potencial para fruticultura em geral (manga, goiaba, sapoti, jaca, acerola, etc.). |
| | | Bacias do Jatobá, Betânia e Fátima (no Sertão do estado) | Potencial para culturas irrigadas, sobretudo. Fruticultura (caju, manga, goiaba, etc.). |

| | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------|---|---|
| Latossolos Amarelos | Vermelho- | Baixa | Zona da Mata | Fruticultura (laranja, jaca, manga, goiaba, graviola, sapoti, banana, caju, etc.). |
| | | | Bacias do Jatobá, Betânia e Fátima | Fruticultura irrigada (manga, coqueiro, acerola, goiaba, caju, etc.). |
| Argissolos Acinzentados | | Baixa | Tabuleiros Costeiros | Fruticultura (citros e caju). |
| | | | Caruaru (municípios de Camocim de São Félix e Sairé), no Agreste | Fruticultura. |
| Argissolos Amarelos | | Muito baixa a baixa | Zona Úmida Costeira (Tabuleiros Costeiros) | Fruticultura. |
| | | | Zona da Mata e do Litoral | Fruticultura (jaca, manga, banana, sapoti, citros e acerola). |
| | | | “Brejos de Altitude” | Fruticultura. |
| Argissolos Amarelos | Vermelho- | Muito baixa até media | Tabuleiros Costeiros | Fruticultura. |
| | | | Unidade Quartzítica de Garanhuns | Fruticultura diversa (jaca, manga, banana e caju) |
| | | | Zona da Mata e do Litoral | Jaca, manga, banana, sapoti, citros e acerola. |
| | | | “Brejos de Altitude” | Fruticultura |
| | | | Nas áreas de domínio da floresta caducifólia e/ou caatinga hipoxerófila | Caju e manga |
| | | | Tabuleiros Interioranos (Chapadas Baixas) | Uva, manga, melão e cocoda-baía. |
| Argissolos Vermelhos | | Muito baixa a média | “Brejos de Altitude”, entre as cidades de Brejo da Madre Deus e Belo Jardim | Fruticultura. |
| Neossolos Flúvicos | | Baixa | Zona da Mata e do Litoral | Fruticultura |
| Neossolos Quartzarênicos | | Baixa | 5,1% da superfície do estado | Fruticultura, particularmente a cultura do cajueiro, a qual se adapta bem a solos arenosos, profundos e pobres, e ainda tolera um longo período seco. |
| Neossolos Regolíticos | | Baixa | Relacionados com a caatinga hipoxerófila | Caju, melancia e pinha. |

Fonte: elaborado pela autora a partir de Araújo Filho et al. (2000).

Dois outros estudos realizados para espécies de moscas-das-frutas do gênero *Bactrocera*, um referente a *Bactrocera dorsalis*, utilizando se o programa Climex, que difere da abordagem aqui utilizada (STEPHENS et al., 2007) (Figura 3.8A), e outro utilizando as técnicas de modelagem de nicho ecológico para estimar o potencial de distribuição de *Bactrocera invadens*, com o algoritmo GARP (De MEYER et al., 2009) (Figura 3.8B), foram utilizados para confrontar os resultados alcançados no presente estudo (Figura 3.8C).

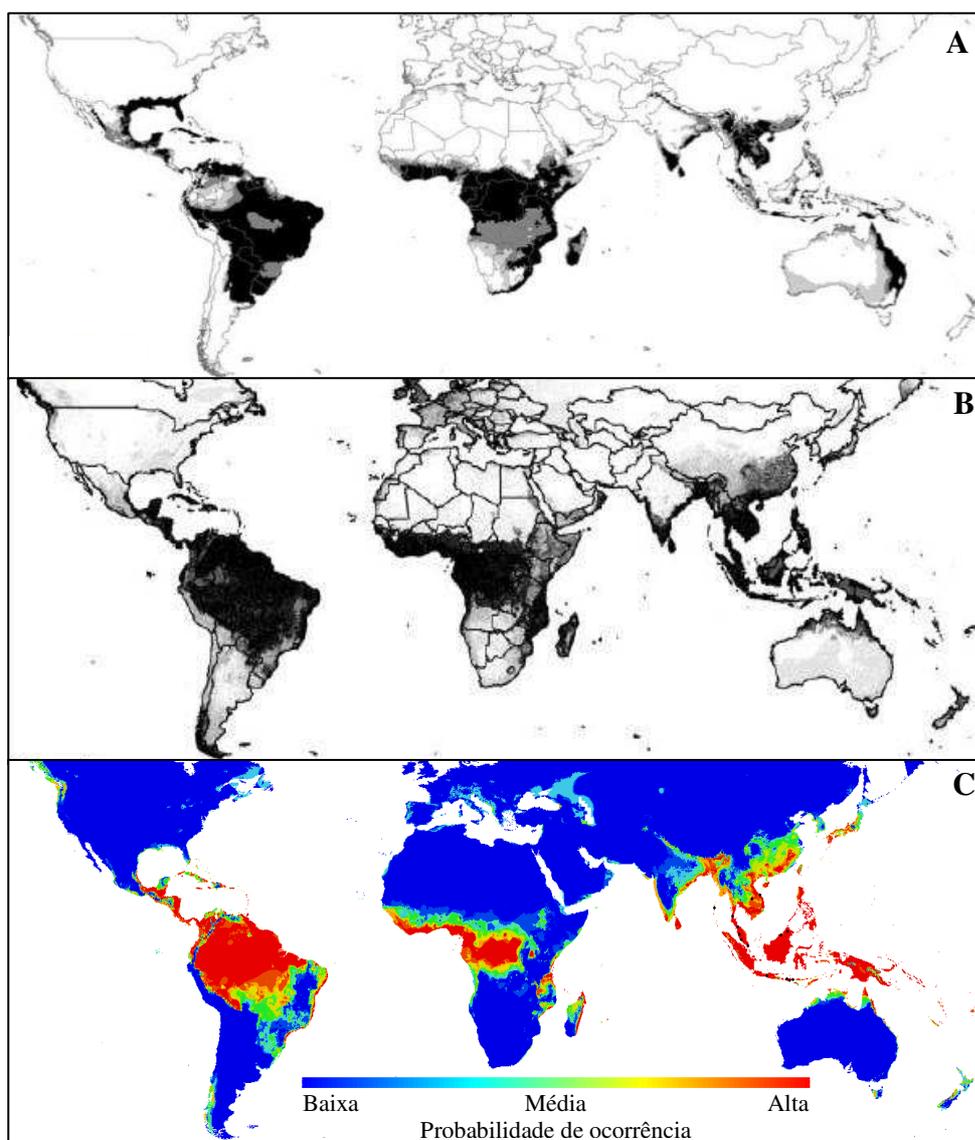


Figura. 3.8 – (A) Favorabilidade climática obtida usando Climex para *B. dorsalis*, quanto mais escuro mais favorável; (B) Modelagem de nicho ecológico para *B. invadens*, com o algoritmo GARP, quanto mais escuro maior a previsão de ocorrência; (C) Modelagem de nicho ecológico para *B. carambolae*. Fonte: (A) Stephens et al. (2007); (B) De Meyer et al. (2009); (C) elaborado pela autora.

Com relação ao Brasil, que é o nosso propósito, os resultados obtidos por Stephens et al. (2007) (Figura 3.8A), indicam que a maior parte do Brasil apresenta condições ótimas para *B. dorsalis*, os resultados de De Meyer (2009) são relacionados com a classificação climática de Köppen-Geiger, sendo as áreas mais favoráveis as correspondentes aos tipos climáticos equatoriais, principalmente os subtipos Af – equatorial úmido, Am - tropical de monção e Aw – equatorial de savana com inverno seco, ou seja, que se aplicarmos ao Brasil, encontramos grande parte do território, com essas características. Comparando com os estudos citados, é possível constatar que as áreas no país consideradas favoráveis para a ocorrência das duas outras espécies do gênero *Bactrocera*, correspondem com as encontradas para *B. carambolae* nesse estudo.

3.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A modelagem realizada para *B. carambolae* no Brasil, indica as áreas que apresentam favorabilidade de acordo com as dimensões climáticas utilizadas para gerar o modelo, o que não significa necessariamente que estas serão invadidas pela praga. Como vimos, este é apenas um passo quando se trata de invasão de espécies. Portanto, os mapas não podem ser interpretados como mapa de risco de invasão ou estabelecimento, mas sim devem ser interpretados partindo do princípio de que as áreas que apresentam condições ambientais (climáticas) favoráveis para a ocorrência da espécie em questão são mais vulneráveis que as áreas que não apresentam tais características, como bem observa De Meyer et al. (2009), já que outros fatores ecológicos, como as interações bióticas, podem colaborar para restringir ou impedir o estabelecimento da espécie.

O fato de regiões que já foram invadidas terem sido indicadas na modelagem como altamente favoráveis conferem ao modelo certa confiança, especialmente considerando a pequena quantidade de pontos de ocorrência utilizados, retirados da revisão de literatura realizada, que representa uma limitação para o estudo. As limitações encontradas, no entanto, estão relacionadas à qualidade dos dados que estão disponíveis e que são fundamentais para as análises, pois quanto melhor a qualidade dos dados maior a capacidade de predição do modelo, no entanto, o acesso a tais dados, em certos casos, ainda são um obstáculo que

precisa ser superado.

Quando se trata de espécies exóticas que são ainda pragas quarentenárias, como a mosca-da-carambola, para as quais se necessita de uma resposta rápida, tendo em vista a ameaça que representam, e poucos são os dados disponíveis para subsidiar a tomada de decisões e políticas públicas com o intuito de prevenir a introdução, estabelecimento e dispersão destas, a modelagem de nicho ecológico para prever a distribuição potencial nos parece ser uma boa técnica a ser utilizada. Principalmente considerando a ferramenta openModeller que é de livre acesso, fácil utilização e que permite obter resultados rápidos. E ainda, seguindo a linha de pensamento de Siqueira et al. (2009): “pouco é melhor que nada” e muitas vezes, tanto no estudo que realizaram para uma espécie rara, quanto no nosso caso com uma espécie exótica: “quase nada é tudo o que se dispõe”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos propostos foram alcançados à medida que, com o auxílio da modelagem de nicho ecológico, foi possível identificar o potencial de distribuição e extensão geográfica da mosca-da-carambola nos estados brasileiros em que a mesma ainda não ocorre.

A fundamentação teórica, ainda que brevemente, ajudou a entender como ocorre a distribuição geográfica atual e potencial das espécies, recorrendo à biogeografia. E com a revisão da literatura foi possível levantar informações das condições necessárias para a sobrevivência e desenvolvimento de *B. carambolae*. As poucas informações encontradas foram fundamentais para apontar as regiões mais favoráveis ao estabelecimento da praga.

A metodologia utilizada na elaboração de mapas temáticos das áreas mais vulneráveis a ocorrência da praga, foi de encontro à hipótese levantada e permitiu a discussão sobre as áreas prioritárias para a adoção de medidas preventivas quanto à dispersão de *B. carambolae*.

Um passo foi dado, a técnica foi utilizada e os resultados fornecem um bom indicativo das possibilidades de análise, e muitas são as possibilidades, ao se importar o modelo gerado para um SIG. No entanto, muito ainda pode ser feito, principalmente em relação à disponibilidade de dados precisos quanto aos pontos de ocorrência. Artigos mais recentes tem usado informar a localização precisa da ocorrência de espécies fornecendo as coordenadas geográficas, isso facilita muito o trabalho de modelagem.

Ou seja, reforça-se a necessidade das informações geográficas associadas aos dados biológicos, pois os resultados da modelagem são altamente dependentes da qualidade das informações biológicas (os registros de ocorrência geográfica da espécie objeto de estudo) e dos dados ambientais (variáveis ambientais), que necessitam estar adequados para a escala de estudo (na resolução apropriada).

A disponibilidade de um banco de dados que contenha informações biológicas de qualidade para espécies exóticas/ pragas quarentenárias (a partir de um esforço de levantamento bibliográfico e georreferenciamento, quando não for possível a realização de coletas de campo) e dados ambientais na resolução apropriada (atualmente mais acessíveis) pode colaborar muito para que o potencial de invasão/ dispersão de tais espécies seja predito

de maneira preventiva, antecipando a resposta diante da necessidade de tomar medidas contra invasões indesejadas, principalmente em decorrência da expansão do comércio internacional que facilita sobremaneira a dispersão desses organismos pelo mundo.

Recomenda-se por fim, a incorporação dos resultados da modelagem de nicho às Análises de Risco de Pragas – ARPs, auxiliando na definição dos riscos que uma praga exótica pode causar em uma determinada área, uma vez que para a avaliação de risco é preciso determinar a probabilidade de entrada, estabelecimento e dispersão da praga e as suas conseqüências econômicas potenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, J. A. D.; SANTOS, P. R. dos. Levantamento de frutos hospedeiros de *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae), em Oiapoque, Amapá. **Revista da Agricultura**, v. 82, n. 2, p. 209-214, 2007.

ALMEIDA, C. O. de. Fruticultura brasileira em análise. **Raiz e fruto on-line**, Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, n. 11, 2008. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/newsletter/ler_materia.php?codnoticia=110&codedicao=21>. Acesso em 02 jun. 2009.

ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v. 162, p. 211-232, 2003.

ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; RODRIGUES E SILVA, F. B.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11). Disponível em: <http://200.133.13.201/zape/Boletim_de_Pesquisa_Final.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2010.

ARITA, H. T.; RODRÍGUEZ, P. Ecología geográfica y macroecología. BOUSQUETS, J. L.; MORRONE, J. J. (eds.) **Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones**. México: Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, p. 63-80, 2001.

BAIMAI, V.; PHINCHONGSAKULDIT, J.; TRINACHARTVANIT, W. Metaphase karyotypes of fruit flies of Thailand (III): six members of the *Bactrocera dorsalis* complex. **Zoological Studies**, v. 38, n. 1, p. 110-118, 1999.

BARBOSA, F. R.; PARANHOS, B. A. J.; SÁ, L. A. N.; LEMOS, R. N. S.; SILVA, R. A. de. **Pragas Quarentenárias que Ameaçam a Cultura da Mangueira no Brasil**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 17 p. (Embrapa Semi-Árido. Circular Técnica, 87). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPMA/8152/1/CTE87.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. del. Biodiversidade e biotecnologia. In: _____. **Biotecnologia e meio ambiente**. Minas Gerais: Viçosa, p. 57-76, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **A força da agricultura**. Brasília: MAPA/ACS, 2009a. 24 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Crédito para fruticultura aumenta 50% na safra 2009/2010**. Brasília, 23 jul. 2009b. Disponível

em:<http://extranet.agricultura.gov.br/pubacs_cons/ap_detalhe_noticia_cons_web?p_id_publicacao=15428>. Acesso em: 25 mar. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. **Agronegócio brasileiro: desempenho do comércio exterior**. 2. ed. Brasília: MAPA/SRIA/DPIA/CGOE, 2006.

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas**. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 37-39, 2006.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. 2. ed. rev. e ampl. Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2006.

CARNAVAL, A. C.; MORITZ, C. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, v. 35, p. 1187 - 1201, 2007.

CERQUEIRA, R. Determinação de distribuições potenciais de espécies. In: PERES-NETO, P. R.; VALENTE, J. L.; FERNANDEZ, F. A. S. (eds.). **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, v. II, p. 141-161, 1995.

CHEN, G.; PETERSON, A.T. Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions. **Bird Conservation International**, v. 12, p. 197-209, 2002.

CHEN, P.; YE, H. Relationship among five populations of *Bactrocera dorsalis* based on mitochondrial DNA sequences in western Yunnan, China. **Journal of Applied Entomology**, v. 132, n. 7, p. 530-537, 2008.

CHUA, T. H.; KHOO, S. G. Variations in carambola infestation rates by *Bactrocera carambolae* Drew and Hancock (Diptera: Tephritidae) with fruit availability in a carambola orchard. **Res. Popul. Ecol.**, v. 37, n. 2, p. 151-157, 1995.

CLARKE, A. R.; ALLWOOD, A.; CHINAJARIYAWONG, A.; DREW, R. A. I.; HENGSAWAD, C.; JIRASURAT, M.; KONG KRONG, C.; KRITSANCEPAIBOON, S.; VIJAYSEGARAN, S. Seasonal abundance and host use patterns of seven *Bactrocera* Macquart species (Diptera: Tephritidae) in Thailand and Peninsular Malaysia. **The Raffles Bulletin of Zoology**, v. 49, n. 2, p. 207-220, 2001.

CLARKE, A. R.; ARMSTRONG, K. F.; CARMICHAEL, A. E.; MILNE, J. R.; RAGHU, S.; RODERICK, G. K.; YEATES, D. K. Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies. **Annu. Rev. Entomol.**, v. 50, p. 293-319, 2005.

CORTEZ, A. T. C. A Biogeografia e sua relação com a ecologia. **Geografia**, Rio Claro, v. 18, n. 2, p. 107-116, out. 1993.

COX, B. C.; MOORE, P. D. **Biogeography: an ecological and evolutionary approach**. Oxford: Blackwell Science, 2000.

CRISCUOLO, C. (Coord.). **Uso e Cobertura das Terras na Região Nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. Disponível em: <<http://www.nordestesp.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 jul. 2010.

De MEYER, M.; ROBERTSON, M. P.; MANSELL, M. W.; EKESI, S.; TSURUTA, K.; MWAIKO, W.; VAYSSIÈRES, J-F.; PETERSON, A. T. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae). **Bulletin of Entomological Research**, p. 1-14, 2009.

DORST, J. O homem pré-industrial e sua influência sobre a natureza. In: _____. **Antes que a natureza morra: por uma ecologia política**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

DREW, R. A. I, 1997. The economic and social impact of the *Bactrocera papayae* Drew and Hancock (asian papaya fruit fly) outbreak in Australia. In: ALLWOOD, A. J.; DREW, R. A. I. (eds.). **Management of fruit flies in the Pacific: a regional symposium**, Nadi, Fiji 28-31 October 1996. **ACIAR Proceedings**, Brisbane, n. 76, p. 205-207, 1997.

DREW, R. A. I. Biogeography and speciation in the Dacini (Diptera: Tephritidae: Dacinae). **Bishop Mus. Bull. Entomol**, n. 12, p. 165-178, 2004.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution Models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, n. 40, p. 677-697, 2009.

ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDIĆ, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B. A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. McC.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S. J.; RICHARDSON, K. S.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBERÓN, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, N. E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, n. 29, p. 129-151, 2006.

EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. **Distribution Maps of Quarantine Pests for Europe: *Bactrocera carambolae***, 2006. Disponível em: <<http://pqr.eppo.org/datas/BCTR/CB/BCTR/CB.pdf>>. Acesso em 17 abr. 2009.

EPPO. European and Mediterranean Plant Protection Organization. **Data Sheets on Quarantine Pests: *Bactrocera dorsalis***. Disponível em: <http://www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Bactrocera_dorsalis/DACUDO_ds.pdf>. Acesso em 17 abr. 2009.

FICETOLA, G. F.; THUILLER, W.; MIAUD, C. Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species – the American bullfrog. **Diversity and Distributions**, v. 13, p. 476-485, 2007.

FLETCHER, B. S. The biology of dacine fruit flies. **Annual review of Entomology**, n. 32, p. 115-144, 1987.

GARCIA, A. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. **Biological**

Conservation, v. 130, p. 25-46, 2006.

GHINI, Raquel. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2005.

GIOVANELLI, J. G. R.; HADDAD, C. F. B.; ALEXANDRINO, J. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. **Biological Invasions**, v.10, p. 585–590, 2008a.

GIOVANELLI, J. G. R.; ARAÚJO, C. O.; HADDAD, C. F. B.; ALEXANDRINO, J. Modelagem do nicho ecológico de *Phyllomedusa ayeaye* (Anura: Hylidae): previsão de novas áreas de ocorrência para uma espécie rara. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 3, n. 2, p. 59-65, 2008b.

GIOVANNI, R. de; RODRIGUES, F. Introduction to Jackknife algorithm. 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/referata/arq/Oficina_OM_20008/091008/3_Jackknife_Fabricio_Rodrigues.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2010.

GISP - The Global Invasive Species Programme. **Invasive species and poverty**. South Africa: GISP, 2006.

GRELLE, C. E. V.; CERQUEIRA, R. Determinantes da distribuição geográfica de *Callithrix flaviceps* (Thomas) (Primates, Callitrichidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 2, p. 414-420, jun. 2006.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, n. 8, p. 993-1009, 2005.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, n. 135, p. 145-186, 2000.

HADDAD, C. F. B.; GIOVANELLI, J. G. R.; ALEXANDRINO, J. O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. In: BUCKERIDGE, M. S. (org.). **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. São Carlos: Rima Editora, 2008, p. 195-206.

HARRIS, E. J.; LIQUIDO, N. J.; LEE, Y. L. Patterns in appearance and fruit host utilization of fruit flies (Diptera: Tephritidae) on the Kalaupapa Peninsula, Molokai, Hawaii. **Proc. Hawaiian. Entomol. Soc.**, n. 36, p. 69-78, 2003.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.

HUGALL, A.; MORITZ, C.; MOUSSALLI, A.; STANISIC, J. Reconciling paleodistribution models and comparative phylogeography in the Wet Tropics. **PNAS**, n. 99, p. 6112–6117, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, 2008. 93 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vetores estruturantes da dimensão socioeconômica da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Rio de Janeiro: IBGE, n. 6, 2009. 179 p. (Estudos e Pesquisas)

IWAIZUMI, R. Species and host record of the *Bactrocera dorsalis* complex (Diptera: Tephritidae) detected by the plant quarantine of Japan. **Appl. Entomol. Zool.**, v. 39, n. 2, p. 327-333, 2004.

KHANH, L. D.; TUU, D. D.; HIEN, N. T. T.; TOAN, T. T.; TRANG, V. T. T.; THONG, P. M.; THANH, V. V.; THANG, D. D. Fruit flies and their control by using protein bait in Vietnam. In: **GAP WORKSHOP IN BINH THUAN**, 2008. Vietnam. Disponível em: <<http://www.card.com.vn/news/downloadfiles/presentation%20paper%20Protein.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2009

LEMONS, W. P.; SOUZA, L. A.; FARIAS, P. R. S.; MACEDO, L. P. M.; RODRIGUES, T. W. P. Estratégias de controle da mosca-da-carambola *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae) visando impedir sua disseminação para áreas livres de ocorrência no Brasil. **Rev. Ciênc. Agrár.** Belém, n. 45, p. 297-307, 2006.

LOPIAN, R. The International Plant protection Convention and alien invasive species. p.6-16. In: IPPC Secretariat. Identification of risks and management of invasive alien species using the IPPC framework. In: **WORKSHOP ON INVASIVE ALIEN SPECIES AND THE INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONVENTION**, Braunschweig, Germany. **Proceedings...** Germany, 22-26 September 2003. Rome, Italy: FAO, 2005. xii + 301 pp.

MALAVASI, A. Mosca-da-carambola, *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae). In: VILLELA, E. F.; ZUCCHI, R. A.; CANTOR, F. (Ed.). **Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p. 39-41.

McKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. (Eds.) **Biotic homogenization**. New York: Springer. 2001.

MORETTI, P. E. **Estudo da flora bacteriana do trato alimentar de insetos da família Tephritidae que infestam asteraceas**, 1998. 77 p. Tese (Doutorado em Genética) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998.

NYARI, A.; RYALL, C.; PETERSON, A. T. Global invasive potential of the house crow *Corvus splendens* based on ecological niche modeling. **Journal of Avian Biology**, v. 37, p. 306-311, 2006.

OLIVEIRA, M. R. V. **Bioglobalização de pragas: espécies invasoras**. 2006. Disponível em: <[http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/folder.2006-01-12.0836234627/artigo.2006-10-24.02898 04178](http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/folder.2006-01-12.0836234627/artigo.2006-10-24.02898%2004178)>. Acesso em: 15 out. 2007.

OLIVEIRA, M. R. V.; LIMA, L. H. C.; PAULA, S. V. de.; QUEIROZ, P. R.; LAGO, W. N. M.; PINTO, R. R.; VIEIRA, M. B. **Identificação de mosca-das-frutas quarentenárias para o Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 58 p.

OLIVEIRA, M. R. V. **Bioglobalização de pragas: espécies invasoras**. 2006. Disponível em:

<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/folder.2006-0112.08362346_27/artigo.2006-1024.02898_04178>. Acesso em: 15 out. 2007.

OLIVEIRA, M. R. V.; PAULA - MORAES, S. V. de. **Moscas-das-frutas quarentenárias potenciais para o Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Embrapa Cerrados. 2006.

PEARSON, R. G. **Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History**. 2007. Disponível em: <<http://ncep.amnh.org>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

PEREIRA, R. S.; PETERSON, A. T. **O uso da modelagem na definição de estratégias para a conservação da biodiversidade**, 2001. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/biodiversidade/bio18.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

PEREIRA, R. S.; SIQUEIRA, M. F. Algoritmo genético para a produção de conjuntos de regras (GARP). **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 46-55, dez. 2007.

PETERSON, A. T. **Ecological Niche Modeling based on Primary Species Occurrence Data: Using Intrinsic Properties of Species to Understand Complex Biodiversity Phenomena**. 2005. Disponível em: <http://circa.gbif.net/Public/irc/gbif/pr/library?l=/power_point/presentations_diversitas_1/atpe_tersonsymp3/_EN_1.0_>. Acesso em: 10 out. 2009

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **The Quarterly Review of Biology**, v. 78, n. 4, p. 419-433, 2003.

PETERSON, A. T. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. **Biodiversity Informatics**, v. 3, p. 59-72, 2006.

PETERSON, A. T.; VIEGLAIS, D. A. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. **BioScience**, v. 51, n. 5, p. 363-371, 2001.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modeling**, v. 190, p. 231-259, 2006.

RAGA, A. Incidência, monitoramento e controle de moscas-das-frutas na citricultura paulista. **LARANJA**, Cordeirópolis, v.26, n. 2, p.307-322, 2005.

RANGANATH, H. R.; VEENAKUMARI, K. Notes on the Dacine fruit flies (Diptera: Tephritidae) of Andaman and Nicobar islands. **The Raffles Bulletin of Zoology**, v. 43, n. 1, p. 235-238, 1995.

RANGANATH, H. R.; SURYANARAYANA, M. A.; VEENAKUMARI, K. Papaya - a new host record of carambola fruit fly *Bactrocera (Bactrocera) carambolae* Drew and Hancock. **Insect Environment**, v. 3, n. 2, p. 37, 1997.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RUGGIERO, A. Interacciones entre la biogeografía ecológica y la macroecología: aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica. BOUSQUETS, J. L.; MORRONE, J. J. (eds.) **Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica**: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. México: Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, 2001. p. 81-94.

SANTANA, FABIANA SOARES. **Uma infraestrutura orientada a serviços para a modelagem de nicho ecológico**. 2009. 141 p. Tese (Doutorado Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. 2. reimpr. - São Paulo: Edusp, 2006.

SAUERS-MULLER, A. van. *Bactrocera carambolae*. Disponível em: <http://www.caripestnetwork.org/vtt/docs/datasheets/diptera/bactrocera_carambolae.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2010.

SAUERS-MULLER, A. van. An overview of the carambola fruit fly *Bactrocera* species (Diptera: Tephritidae), found recently in Suriname. **Florida Entomologist**, v. 74, n. 3, p.432-440, 1991.

SAUERS-MULLER, A. van. Host plants of the carambola fruit fly, *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae), in Suriname, South America. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 2, p. 203-214, 2005.

SAUERS-MULLER, A. van. MIDGARDEN, D. Carambola fruit fly project 1996 Annual Report. **Tropical Fruits Newsletter**, Trinidad e Tobago: IICA, n. 24, p. 7-10, 1997. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=tG0OAQAIAAJ&pg=PA7&dq#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 13 nov. 2009.

SAUERS-MULLER, A. van.; VOKATY, S. Carambola fruit fly projects in Suriname and Guyana. **Tropical Fruits Newsletter**, Trinidad e Tobago: IICA, n. 18, p. 6-9, 1996. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=Nm0OAQAIAAJ&pg=PA8&lpg#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 13 nov. 2009.

SILVA, J. X.; CALHEIROS, S. Q. Geografia, análise ambiental e geoprocessamento: um esboço teórico. In: ARAÚJO, L. M. (Org.). **Geografia**: espaço, tempo e planejamento. Maceió, AL: EDUFAL, 2004. p. 59-68.

SILVA, R. A. da; JORDÃO, A. L.; SÁ, L. A. N. de; OLIVEIRA, M. R. V. de . **Mosca-da-carambola**: uma ameaça à fruticultura brasileira. Macapá, AP: Embrapa Amapá, 2004. 14 p. (Circular Técnica, 31)

SILVA, R. A. da; JORDÃO, A. L.; SÁ, L. A. N. de; OLIVEIRA, M. R. V. de . Ocorrência da mosca-da-carambola no estado do Amapá. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, ano IV, n. 07, jun. 2005.

SINGH, S. Effects of aqueous extract of neem seed kernel and azadirachtin on the fecundity, fertility and post embryonic development of the melonfly, *Bactrocera cucurbitae* and the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). **J. Appl. Entomol.**, n. 127, p. 540-547, 2003.

SIQUEIRA, M. F. Modelagem de nicho ecológico e predição de distribuição geográfica de espécies arbóreas de cerrado, 2 a 5 de setembro 2002. In: **XIV Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo**. Rio Claro, SP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/xivbsbp/Palestra03T1MF.PDF>>. Acesso em: 15 dez. 2009.

SIQUEIRA, M. F. **Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.

SIQUEIRA, M. F.; DURIGAN, G., De MARCO, Jr. P.; PETERSON, A. T. Something from nothing: using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plant species. **Journal for Nature Conservation**, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2009.

SOBERÓN, J.; NAKAMURA, M. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, PNAS, v. 106, n. 2, 2009. p. 19644-19650.

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

STEPHENS, A. E. A.; KRITICOS, D. J.; LERICHE, A. The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). **Bulletin of Entomological Research**, n. 97, p. 369–378, 2007.

VAYSSIÈRES, J. F.; CAYOL, J. P.; PERRIER, X.; MIDGARDEN, D. Impact of methyl eugenol and malathion bait stations on non-target insect populations in French Guiana during an eradication program for *Bactrocera carambolae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, n. 125, p. 55-62, 2007.

VIJAYSEGARAN, S.; LOKE-WAIHONG. Economic importance and management of fruit flies in South Asia with particular reference to Malaysia. **Proceedings...** of the Indian Ocean Commission, Regional Fruit Fly Symposium, Flic en Flac, Mauritius, 5th-9th June, p. 109-121, 2000.

WEE, S. L.; TAN, K. H. Sexual maturity and intraspecific mating success of two sibling species of the *Bactrocera dorsalis* complex. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, n. 94, 2000. p. 133-139.

WHITE, I. M.; ELSON-HARRIS, M. **Fruit flies of economic significance**. Wallingford, UK: CAB International/ACIAR, 1992.

ZALBA, S. M. Introdução às invasões biológicas. In: GISP. **América do Sul invadida**. South Africa: GISP, p. 4-5, 2005.

ZUCCHI, R. A. Mosca-do-mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In: VILLELA, E. F.; ZUCCHI, R. A.; CANTOR, F. (Ed.). **Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, p. 39-41, 2001.

ZUCCHI, R. A. Taxonomia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, p. 13-24, 2000.

GLOSSÁRIO

Análise de Risco de Praga: Avaliação do risco da praga, define os riscos que uma praga exótica pode causar em uma determinada área. Este risco pode ser determinado tanto qualitativa como quantitativamente, como a probabilidade (chance) que uma praga tem de se dispersar de uma área onde se encontra para uma outra área onde ele não ocorre e que pode, dependendo das condições ambientais e climáticas, se estabelecer.

Dispersão: Expansão da distribuição geográfica de uma praga dentro de uma área (um país ou parte de um país ou vários países definidos oficialmente).

Espécie exótica: (sinônimos: não-nativa, não-indígena, exótica, estrangeira) Uma espécie, subespécie, ou gradação inferior taxonômica, introduzida em local alheio à sua ocorrência natural, tanto do presente como do passado, capazes de sobreviverem e conseqüentemente, se reproduzirem.

Espécie exótica invasora: Uma espécie exótica cuja introdução e/ou dispersão seja uma ameaça à diversidade.

Estabelecimento: A perpetuação, em um futuro previsível, de uma praga após sua entrada em uma área.

Intercepção (de uma praga): A detecção de uma praga durante a inspeção ou realização de teste de um produto (mercadoria) importado.

Introdução: Entrada de uma praga resultando em seu estabelecimento.

Medidas Fitossanitárias: Procedimentos legislativos, regulatório ou oficial tendo como objetivo a prevenção de introdução e/ou dispersão de pragas quarentenárias.

Multivoltinas: Os insetos apresentam vida curta, que pode ser medida por seu voltinismo, o número de gerações por ano, os que apresentam mais de duas gerações por ano são chamados de multivoltinos.

Polífaga: Que utiliza de várias espécies de plantas hospedeiras em várias famílias botânicas.

Potencial de estabelecimento: Probabilidade de estabelecimento de uma praga.

Praga: Qualquer espécie, raça ou biótipo de vegetais, animais ou agente patogênicos, nocivos aos vegetais ou produtos vegetais.

Praga quarentenária: Uma praga quarentenária é a que apresente expressão econômica potencial para a área posta em perigo e onde ainda não está presente, ou se está não se encontra amplamente distribuída e é oficialmente controlada. São consideradas também como pragas quarentenárias as espécies exóticas invasoras.