

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

**BIOCLIMATOLOGIA E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE
Aleurocanthus woglumi Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae)**

Tese apresentada a Universidade Federal Rural da
Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, como
parte das exigências do Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias para obtenção do título de
Doctor Science.

Área de Concentração: Agroecossistemas da
Amazônia.

Orientador: Dr. Wilson José de M. S. Maia – UFRA.
Co-orientador: Dr. João Batista M. Ribeiro – UFPA.

**BELÉM
2010**

Morais, Bergson Cavalcanti de Moraes

Bioclimatologia e impactos das mudanças climáticas na *Aleurocanthus woglumi* Ashiby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae). / Bergson Cavalcanti de Moraes.
– Belém, 2010.
Xf.; il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da
Amazônia, 2010.

1. Clima. 2. Bioclimatologia. 3. Mudança Sanzonal – Pará – Amazônia. 4.
Mosca-negra-dos-citros - *Aleurocanthus woglumi* Ashiby. I. Título.

CDD: 338.098115

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

BERGSON CAVALCANTI DE MORAES

**BIOCLIMATOLOGIA E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE
Aleurocanthus woglumi Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae)**

Tese apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agrossistemas da Amazônia, para obtenção do título de **Doutor**.

Aprovada em 26 de novembro de 2010.

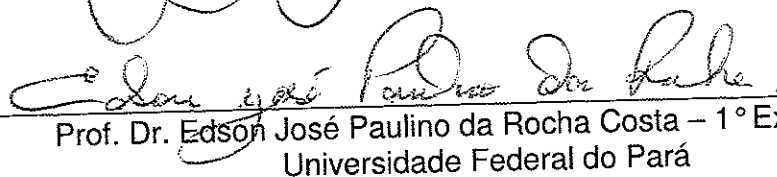
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Wilson José de Mello e Silva Maia - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia



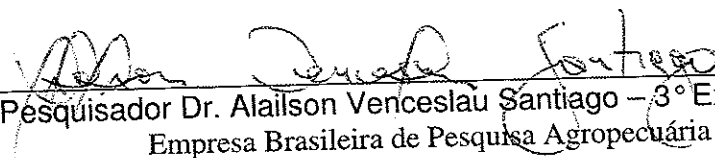
Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro – Co-orientador
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha Costa – 1º Examinador
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho – 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Pesquisador Dr. Alailson Venceslau Santiago – 3º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Aos meus pais Moraes e Ilma;
Aos meus irmãos Andinho e Maruza;
E meu filho Breno Moraes,
Ofereço.

Ao meu querido irmão Anderson Moraes,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia e a CPATU/EMBRAPA, pela oportunidade de aperfeiçoamento e apoio oferecido aos alunos;

Ao CNPq, pela bolsa de estudos;

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará, pelo banco de dados climáticos do Estado do Pará;

À Universidade Federal do Pará, pelo apoio Logístico;

Ao Laboratório de Bioecologia de Insetos, LABIN, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, pelo apoio técnico;

Ao Professor Wilson Maia pelas sugestões, amizade e apoio, em especial pelo companheirismo nos diversos momentos de dificuldade que atravessei no decorrer do curso;

Ao Professor João Batista Ribeiro, pela atenção dispensada nesta co-orientação;

Aos professores Edson Paulino, Hugo Alves, Izildinha Miranda, Rodrigo Vale, Benedito Filho e Alailson Santiago, pela dedicação e amizade;

Aos amigos de profissão, Prof. Everaldo Barreiro, Márcio Nirlando e Rafael Costa, pelo suporte técnico e incentivo;

Aos demais professores efetivos e visitantes do curso, pela orientação e empenho nas aulas oferecidas;

Aos secretários do curso de Doutorado da UFRA e do ICA, pela paciência, em especial Shirley Barros pelo incentivo;

Aos colegas da turma de 2008 e

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para que esse trabalho fosse desenvolvido. OBRIGADO.

RESUMO

A mosca-negra-dos.citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) constitui uma praga agrícola, sendo o citros seu principal hospedeiro. É responsável por significativas perdas de produtividade. Esse inseto debilita a planta, devido alimentar-se de seiva e liberar seus excrementos sobre a folha, os quais servem de substrato para o desenvolvimento de fungos (*Capnodium* sp.), originando a fumagina sobre as folhas, ocasionando a redução do processo fotossintético e trocas gasosas, aumentando a temperatura foliar, condutância estomatal e transpiração foliar, e como consequência, elevadas perdas de nutrientes ocorrem. No presente trabalho foram determinadas as exigências térmicas do inseto, para o seu desenvolvimento, além de caracterizadas as áreas no Estado do Pará, através da técnica do zoneamento, com maiores e menores potenciais, para geração de descendentes a cada ano. A partir do ano das primeiras observações do inseto no Estado, ano de 2001, foi estudado a dinâmica dessas áreas, com o intuito de diagnosticar regiões de fronteiras com maiores potenciais de infestação e prováveis migrações. Foi observado que a média de gerações a cada ano oscilou em torno de 18 e, a área de fronteira com o Estado do Maranhão, constitui região de ótimo potencial de desenvolvimento e migração. No capítulo seguinte, foi simulado, através do modelo climático global acoplado CCSM (Climate Change System Model) versão 3.0, do NCAR (National Center for Atmospheric Research-Community Climate System Model-USA), através dos cenários de emissão A2 e B1, os incrementos ecoclimáticos do estado a cada década (2030-2100). A região do Baixo Amazonas foi a que apresentou os maiores índices ecoclimáticos, com potencial de produzir até 28 gerações, no ano de 2100, o que representa um aumento de 10 gerações nos padrões normais ecoclimáticos. Na calibração do modelo, realizada entre os anos de 2001 a 2007, a região central do Baixo Amazonas apresentou um viés médio, positivo, de 3 gerações. Esse valor foi ajustado no modelo para as simulações decadais.

Palavras-chaves: *Aleurocanthus woglumi*, Ecoclimatologia, Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) it constitutes an agricultural plague, being its citrus main host, and it is responsible for productivity losses. That insect weakens the plant, should feed of sap and to liberate the fumagina (*Capnodium* sp.) on the leaves, causing the reduction of the photosynthetic process and gaseous changes, increasing the leave temperature, estomatal conductance and leave transpiration, and as consequence, high losses of nutrients happened. In the present work, they were certain the thermal demands of the insect, for its development, besides having characterized the areas in the State of Pará, through the technique of the zoning, with larger and smaller potential ecoclimatics, the descendants' generation to every year. Starting from the year of the first observations of the insect in the State, year of 2001, was studied the dynamics of those areas, with the objective of diagnosing areas of borders with larger infestation potentials and you proved migrations. It was observed that the average of generations to every year oscillated around 18 and border area with the State of Maranhão, it constitutes area of great development potential and migration. In the following chapter it was simulated, through the coupled global climatic model CCSM (Climate Change System Model) version 3.0, of NCAR (National Center Model Atmospheric Research-Community Climate System it Model-uses), through the sceneries of emission A2 and B1, the increments ecoclimatics of the state to every decade (2030-2100). The area of Baixo Amazonas went to that presented the largest indexes ecoclimatics, with potential of producing up to 28 generations, in the year of 2100, what represents an increase of 10 generations, in the patterns ecoclimatics. In the calibration of the model, accomplished among the years from 2001 to 2007, the central area of Baixo Amazonas it presented a medium, positive inclination, of 3 generations. That value was adjusted in the model for the simulations futures.

Keyword: *Aleurocanthus woglumi*, Ecoclimatology, Climate change.

LISTA DE TABELAS

1	Varição anual da área plantada nas microrregiões do Estado do Pará -----	23
2	Resultados da biologia de <i>A. woglumi</i> -----	30
3	Estações meteorológicas no Estado do Pará -----	40
4	Modelos utilizados pelo IPCC -----	68
5	Estatística descritiva entre os pontos simulados pelo modelo CCSM 3.0, através do cenário B1, no Estado do Pará -----	86
6	Estatística descritiva entre os pontos simulados pelo modelo CCSM 3.0, através do cenário A2, no Estado do Pará ----	86

LISTA DE FIGURAS

1	<i>A. woglumi</i> .(a), (b) e (c) Estágio de ovos em espiral; (d) Estágio de ninfal 1; (e) Estágio ninfal 2 (menor) e 3 (maior); (f) Estágio ninfal 4; (g) e (h) Fase adulta; (i) Infestação (superior) e fumagina (<i>Capnodium</i> sp.) sobre a folha (inferior)-----	19
2	Área plantada de laranja (hectares) nas unidades da federação do Brasil em 2007.-----	24
3	Variação espacial da área plantada de laranja (hectares) nas microrregiões do Estado do Pará em 2007.-----	25
4	Relação entre a temperatura e o desenvolvimento dos insetos.-----	26
5	Localização geográfica da propriedade rural estudada. -----	35
6(a)	Localização geográfica do Estado do Pará e mesorregiões;	
6(b)	Rede hidrográfica principal do Estado do Pará. -----	36
7	Climatologia de precipitação no Estado do Pará..-----	37
8	Climatologia de evaporação no Estado do Pará.-----	38
9	Climatologia de insolação no Estado do Pará.-----	38
10	Climatologia de temperatura do ar no Estado do Pará.-----	39
11	Climatologia de umidade relativa do ar no Estado do Pará.-----	40
12	Localização espacial das estações meteorológicas no Estado do Pará. -----	41
13	Relação entre a temperatura e os ciclos de <i>A woglumi</i> .-----	45
14	Relação entre a insolação e a densidade populacional de <i>A. woglumi</i> , no nordeste do Estado do Pará. -----	46
15	Relação entre a precipitação e a densidade populacional de <i>A. woglumi</i> , no nordeste do Estado do Pará. -----	47
16	Relação entre a temperatura média do ar e a densidade populacional de <i>A. woglumi</i> , no nordeste do Estado do Pará. -----	48
17	Relação entre a umidade específica do ar e a densidade populacional de <i>A. woglumi</i> , no nordeste do Estado do Pará. -----	49
18	Ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará. -----	50
19	Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2001.-----	51
20	Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2002.-----	52

21 Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2003. -----	53
22 Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2004. -----	53
23 Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2005. -----	54
24 Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2006. -----	55
25 Variação espacial da ecoclimatologia de <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará no ano de 2007. -----	56
26 Grande espacial do modelo CCSM 3.0 e respectivos pontos de simulação no Estado do Pará. -----	69
27 Sistema de integração e extração das variáveis do modelo. -----	74
28 Níveis de aplicação do modelo. -----	77
29 Tipos de cenários a longo prazo do estudo das alterações climáticas em função do tipo de governação e valores preponderantes-----	79
30 Projeções futuras do aquecimento global em função dos cenários de alteração climática (SRES).-----	80
31 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2030. -----	81
32 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2040. -----	82
33 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2050. -----	82
34 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2060. -----	83
35 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2070. -----	83
36 Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2080. -----	84

37	Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2090. -----	85
38	Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da Ecoclimatologia da <i>A. woglumi</i> no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2100. ----	86
39	Variação espacial e temporal das anomalias do número de gerações anuais, nas décadas simuladas pelo modelo CCSM 3.0, nos cenários A2 e B2.-----	88
40	Calibração do modelo CCSM 3.0 no Estado do Pará.-----	92

SUMÁRIO

	RESUMO.....	6
	ABSTRACT.....	7
	LISTA DE TABELAS.....	8
	LISTA DE FIGURAS.....	9
1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
2	BIOCLIMATOLOGIA E DINÂMICA ECOCLIMÁTICA DE Aleurocanthus Woglumi Asby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae).....	
2.1	INTRODUÇÃO.....	20
2.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	
2.2.1	A cultura dos citros, suas limitações e doenças	21
2.2.2	Efeitos climáticos no desenvolvimento dos insetos.....	25
2.2.3	Exigências térmicas de <i>a. Woglumi</i>	28
2.2.4	Modelos de simulações de prognósticos de insetos.....	30
2.2.5	Modelo fisiológico de graus-dias.....	32
2.3	OBJETIVO.....	33
2.4	METODOLOGIA.....	33
2.4.1	Experimentos.....	33
2.4.2	Área de estudo.....	35

2.4.3	Climatologia do estado do Pará.....	36
2.4.3.1	Precipitação.....	37
2.4.3.2	Evaporação.....	37
2.4.3.3	Insolação.....	38
2.4.3.4	Temperatura Média do Ar.....	39
2.4.3.5	Umidade Relativa do Ar.....	39
2.4.4	Base de dados.....	40
2.4.5	Geração dos mapas temáticos.....	41
2.4.6	Modelo de graus-dias avaliados.....	42
2.4.7	Determinação das exigências térmicas, ciclos e gerações anuais.....	43
2.5	RESULTADOS.....	44
2.5.1	Relação entre a temperatura e os ciclos de <i>a. Woglumi</i> em câmaras climatizadas.....	44
2.5.2	Bioclimatologia de <i>a. Woglumi</i> no nordeste do estado do Pará.....	45
2.5.2.1	Insolação.....	45
2.5.2.2	Precipitação pluviométrica.....	46
2.5.2.3	Temperatura do Ar.....	47
2.5.2.4	Umidade do Ar.....	48
2.5.3	Ecoclimatologia de <i>a. Woglumi</i> no estado do Pará.....	49
2.5.3.1	Dinâmica ecoclimática de <i>A. Woglumi</i> no estado do Pará.....	50

2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	REFERÊNCIAS	58
3	IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A ECOCLIMATOLOGIA DE <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae).....	
3.1	INTRODUÇÃO.....	64
3.1.1	Objetivo geral.....	66
3.1.1.1	Objetivos Específicos.....	66
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	66
3.2.1	Cenários e modelos de simulação de mudanças climáticas.....	66
3.2.2	Construção de cenários de mudanças climáticas.....	66
3.2.3	Modelo acoplado de circulação geral ccsn (climate change system model).....	67
3.2.3.1	Componente Atmosférica - Cam3.....	70
3.2.3.2	3.2.3.2 Componente Terrestre - Clm3	71
3.2.3.3	Componente Oceânica - Pop3	71
3.2.3.4	Componente do Gelo do Mar - Csim5.....	72
3.2.3.5	O Acoplador - Flux Coupler	73
3.2.3.6	Extrator de Variáveis Climáticas.....	74
3.2.3.7	Geradores de Séries de Tempo.....	75
3.2.3.8	Níveis de Aplicação do Modelo.....	75

3.3	CENÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA..	78
3.4	RESULTADOS.....	80
3.4.1	Simulação decadal do número de gerações anual de <i>a. woglumi</i> nos cenários de emissões a2 e b1.....	80
3.4.2	Estatística descritiva entre os pontos de simulação do modelo ccsn 3.0.....	86
3.4.3	Anomalias decadais do número de gerações anuais nos cenários de emissões a2 e b1	87
3.4.4	Calibração do modelo.....	91
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
	REFERÊNCIAS	95

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mosca-negra-dos-citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) constitui uma praga agrícola responsável por significativa diminuição das safras e rendimentos dos citros a cada ano.

Pertence a família Aleyrodidae, que é formada de hemípteros pequenos, com quatro asas membranosas na fase adulta, cobertas com substância pulverulenta. Sua reprodução é sexuada, com oviparidade, entretanto, pode ocorrer partenogênese, que é o crescimento e desenvolvimento de um embrião sem fertilização, ou seja, por reprodução assexuada.

Os ovos são pedunculados e ficam como as ninfas, presos à face inferior das folhas (GALLO et al., 1988). O inseto, em sua fase adulta, possui asas de coloração cinza-metálico, ocasionado pela quantidade de ceras que cobrem tais superfícies.

As principais características, físicas, são as de possuírem a coloração do corpo vermelho-alaranjado, pernas e antenas na cor branca (Figura 1). Os insetos machos medem aproximadamente 0,9 mm de comprimento, enquanto que as fêmeas medem cerca de 1,3 mm (NGUYEN; HAMON; FASULO, 1998).

Possui como principais características alimentares, a sugação-labial e o hábito políforo, ou seja, podem alimentar-se de várias espécies de plantas, sendo o citros seu principal hospedeiro (Figura 1 a, b, c, d, f, g e h). Alimenta-se de grande quantidade de seiva, deixando a planta debilitada, levando-a em muitos casos à morte (MASCHIO, 2009; MAIA, 2006; MAIA, 2008).

Segundo Nguyen e Hamon (2003), são relatadas cerca de 300 plantas hospedeiras deste inseto, incluindo-se dentre elas, manga, uva, citros, caju, abacate, goiaba, maçã, figo, banana, mamão, pêra, romã, marmelo, café, rosas, entre outras.

O principal dano às plantas, causado pela *A. woglumi* é a fumagina (Figura 1 i), que é ocasionada pela pesada carga de substância açucarada, excretada pelo inseto sobre as folhas. Nessa substância excretada, originam-se fungos fuliginoso, do gênero *Capnodium ascomiceto*, pertencente à ordem *Dothideales*, que recobrem parte ou a totalidade das folhas, frutos e ramos.

O efeito químico da fumagina, na planta, é basicamente a diminuição do nível de nitrogênio das folhas, impedindo a respiração da planta, (DOWELL et al., 1981; NGUYEN; HAMON, 2003; HEU; NAGAMINE, 2001). Em altas concentrações a

fumagina interfere na formação dos frutos, prejudicando a produção e diminuindo o valor comercial. A frutificação fica prejudicada e pode ser reduzida em até 80% (OLIVEIRA et al., 2001).

No contexto físico, a fotossíntese pode ser reduzida em até 98% a radiação fotossinteticamente ativa e em 70% a fotossíntese líquida. Esta redução na fotossíntese, por sua vez, afeta as reservas de carboidratos da planta, resultando em safras reduzidas e de qualidade baixa.

Num futuro próximo, as atividades antrópicas que estão alterando as concentrações de gases do efeito estufa, e como consequência o clima do planeta, terão influências diretas nas questões fitossanitárias. As pragas agrícolas serão as primeiras a demonstrar tais alterações, devido às numerosas populações, facilidade em suas multiplicações e dispersões, além do curto período de tempo entre gerações. Dessa forma, constituem um grupo fundamental de indicadores biológicos que precisa ser avaliado quanto aos impactos dessas mudanças climáticas.

Os estudos devem estar preparados para confrontar essa nova questão, que pode alterar o manejo de doenças de plantas, tanto no controle biológico como nas opções de controle químico, novas estratégias deverão ser pesquisadas e, para tanto.

Pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, relacionadas com agricultura, necessitarão ir além de suas especialidades e inferir os impactos das mudanças climáticas em um contexto mais amplo, que envolve todo o agroecossistema.

Portanto, é de extrema importância avaliar atuais áreas de maiores potenciais de infestação dessa praga agrícola, e suas respectivas dinâmicas sazonais em relação aos fatores do clima, assim como aprofundar os estudos dos impactos das mudanças climáticas, nas escalas espacial e temporal, sobre a agricultura e seus respectivos patógenos, com a finalidade de minimizar perdas de produção e de qualidade, orientando a escolha de estratégias de adaptação e manejo.

Os primeiros registros desse inseto, em épocas recentes, foram na Jamaica em 1913, tendo se propagado para Cuba em 1916, México em 1935 (SMITH; MALTBY; JIMENEZ, 1964). Na Flórida foi registrada em 1934 (NEWELL; BROWN, 1939). Na América do Sul foi detectada em 1965 na Venezuela (ANGELES; OAKALEY; OSORIO, 1968).

Já no Brasil, foi observada pela primeira vez em 2001, no Estado do Pará (OLIVEIRA et al., 2001), disseminando-se posteriormente para os estados do Amazonas, Amapá, Maranhão, Tocantins e Goiás (LEMOS et al., 2006, PENA et al., 2008).

Em março de 2004, novas ocorrências do inseto foram observadas no Estado do Maranhão, no município de Barra do Corda e na capital São Luís, em citros e mangueira, verificando-se nesta ocasião a presença de mais de 100 pupários por folha (Figura 2) (LEMOS et al., 2006).

Atualmente a mosca-negra pode ser encontrada em mais da metade dos municípios paraenses, com maiores densidades populacionais no período menos chuvoso (MAIA et al., 2008; ROSSATO 2007).

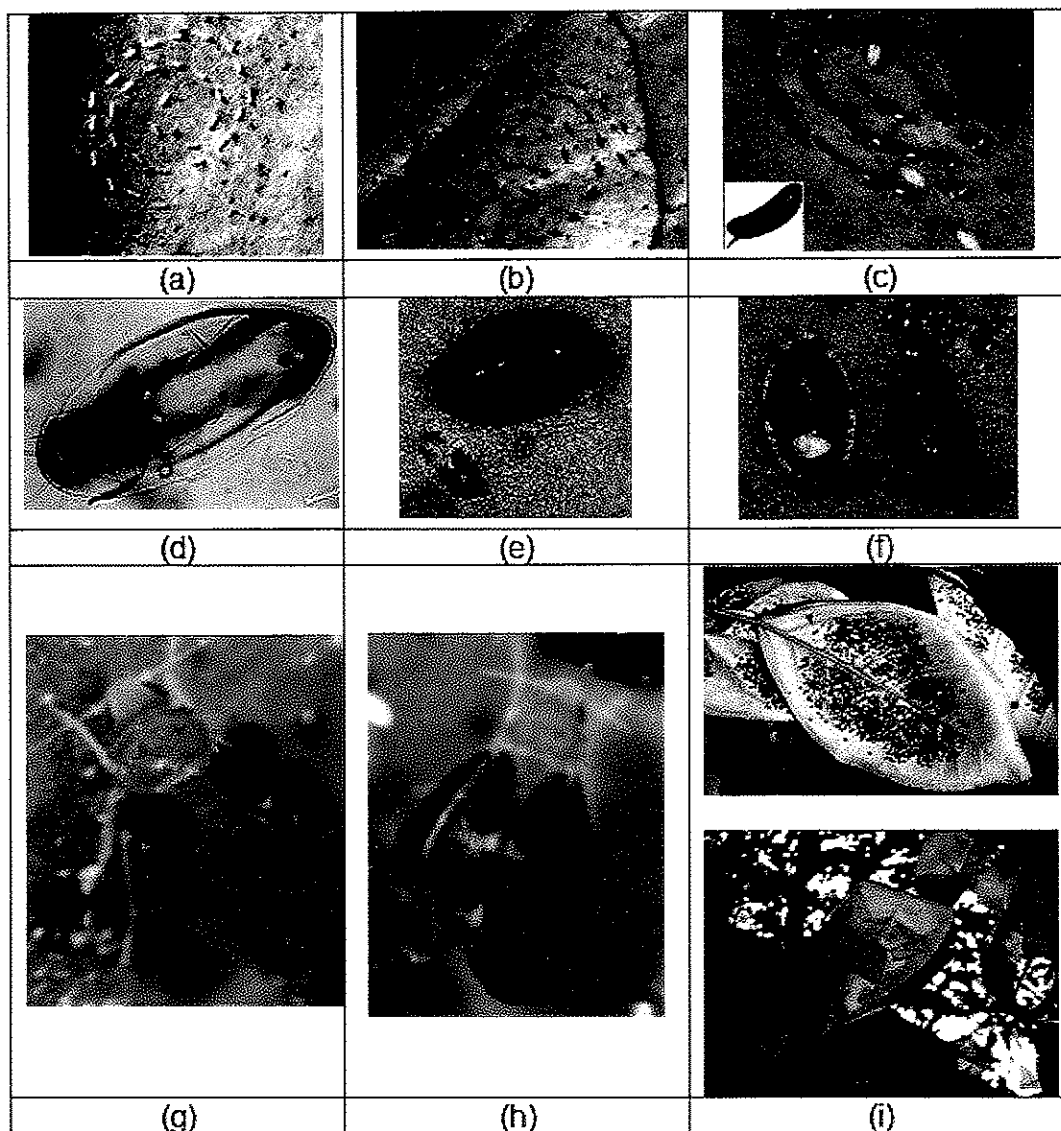


Figura 1 - *A. woglumi*. (a), (b) e (c) Estágio de ovos em espiral; (d) Estágio ninfal 1; (e) Estágio ninfal 2 (menor) e 3 (maior); (f) Estágio ninfal 4; Fase adulta (g) e (h); (i) Infestação (superior) e fumagina (*Capnodium* sp.) sobre a folha (inferior).
Fonte - Laboratório de Bioecologia de Insetos, LABIN, Instituto de Ciências Agrárias, ICA, Universidade Federal Rural da Amazônia.

2 BIOCLIMATOLOGIA E DINÂMICA ECOCLIMÁTICA DE *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae)

2.1 INTRODUÇÃO

O zoneamento ecoclimático é uma importante ferramenta, capaz de indicar áreas com peculiares potenciais de crescimento e desenvolvimento, quer seja em espécies vegetais ou animais. É realizado, principalmente, a partir de valores de exigências térmicas do ser em questão.

Essas exigências térmicas são relevantes, no caso dos insetos, devido à temperatura do ar ser considerada por diversos autores, como sendo um dos fatores ambientais de maior influência sobre a biologia dos insetos, alterando seu metabolismo, reprodução, longevidade e comportamento alimentar (HADDAD; PARRA 1984).

Sendo assim, o zoneamento ecoclimático dos insetos agrícolas, permite conhecer as regiões mais favoráveis para a sua instalação, manutenção e dissipação, assim como aumentam as chances de controles e tomadas de decisões, no campo, em relação ao surgimento de surtos das pragas (CIVIDANES, 2000).

Esse monitoramento permite analisar na escala espacial e temporal, as evoluções de potenciais áreas, favoráveis a infestações, que é conhecida como dinâmica ecoclimática.

Diversos estudos correlatos a zoneamentos e dinâmicas ecoclimáticas, muitas vezes conceituados como zoneamento ecológico, foram realizados, como consta na literatura. Entretanto, esses estudos, muitas vezes são realizados em softwares comerciais com códigos fechados, que não disponibilizam acesso às equações e modelos matemáticos utilizados no processamento dos resultados.

Vários desses estudos também são realizados em extensas escalas espaciais, as macro escalas, apresentando dessa forma baixa resolução espacial, além de utilizarem dados climáticos com dimensão espacial entre as estações meteorológicas, fora dos padrões recomendáveis pela Organização Meteorológica Mundial.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 A cultura dos citros, suas limitações e doenças

Atualmente, o Brasil é o maior exportador mundial de suco de laranja concentrado congelado, com 74,6% das vendas no comércio internacional. Essa liderança deve-se diretamente à qualidade e produtividade superiores as dos demais concorrentes. O Brasil é também o maior produtor mundial de suco de laranja, com 49,3% do total, seguido dos Estados Unidos da América, com 37,6%. Entretanto, os EUA consomem praticamente toda sua produção, pois têm uma participação de apenas 3,1% nas transações internacionais. Não existem limitações climáticas para os citros, exceto em algumas áreas do Nordeste, onde as chuvas são inferiores a 700 mm por ano, e outras na região Sul, onde podem ocorrer geadas fortes (FNP, 2009).

As restrições climáticas constituem sério fator limitante da produção de laranjas para fins industriais, influenciando em várias características da laranja, tais como coloração, acidez, teor de sólidos solúveis, aroma, sabor, espessura da casca e período de maturação. Esses fatores limitam a adequação da fruta ao processamento para extração de suco. As boas condições climáticas do Estado do Pará permitem à produção local estender as suas atividades durante todo o ano, enquanto que o Estado de São Paulo, por um período de cerca de nove meses. Nos Estados Unidos e no México, concorrentes diretos do Brasil, o período de produção é próximo a seis meses, devido ao menor número de variedades plantadas e às condições de clima frio, sujeito às geadas (BASSANEZI et al., 2003).

Segundo Peixoto (2005), o Brasil tem enfrentado durante vários anos, dificuldades com pragas nos laranjais. Vários desafios têm ocorrido ao longo do desenvolvimento das lavouras, que são:

- Desde a sua introdução no Brasil, feita pelos colonizadores portugueses por volta de 1540, até o final do século 19, as plantas cítricas eram propagadas por sementes. Quando a indústria cítrica tornou-se importante no âmbito comercial, no início do século passado, o uso de árvores enxertadas foi iniciado e a laranja Caipira (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) era o porta-enxerto mais utilizado.
- Na década de 1910 a presença da gomose, que limitava as primeiras exportações do país, e a baixa resistência à seca foram solucionadas com a troca do porta-

enxerto Laranja Caipira pela Laranja Azeda. A grande preferência brasileira pelo porta-enxerto de Laranja Azeda era devida às condições favoráveis ao seu desenvolvimento, boa afinidade com a maioria das variedades comerciais, além da qualidade das frutas produzidas sobre esse porta-enxerto.

- Um episódio marcante ocorreu na década de 40, quando se expandiu nos pomares paulistas, a Tristeza dos Citros. A introdução do Vírus da Tristeza dos Citros (CTV) em São Paulo, em 1937, sua rápida disseminação pelo pulgão preto (*Toxoptera citricida* Kirk.), dizimou mais de 9 milhões de plantas enxertadas sobre laranja Azeda, o que representava cerca de 80% das plantas do parque citrícola da época. O problema foi solucionado trocando-se o porta-enxerto da laranja Azeda, não tolerante a esse vírus, pelo limoeiro Cravo. Hoje, esse mal tornou-se endêmico.
- Essa substituição levou ao crescimento de importância dos vírus da exocorte, xiloporose e sorose, que não afetavam a laranja Azeda, mas eram severos nas combinações com limoeiro Cravo. A solução veio com a produção de mudas a partir de clones nucelares nos anos 50. A viabilização da laranja Pêra, principal variedade paulista (mais de 50 milhões de plantas), foi decorrente dos clones vacinados, pré-imunizados contra vírus.
- Na década de 60 aparece o cancro cítrico na Alta Sorocabana e Médio e Baixo Paranapanema (de Assis até o Pontal), levando à intensa ação de erradicação de pomares.
- A partir da década de 70, o “declínio dos citros” tornou-se um problema tanto na Flórida quanto no Brasil, sendo os porta-enxertos mais suscetíveis *P. trifoliata*, limão Rugoso e limão Cravo. A intolerância do limoeiro Cravo ao declínio causou uma pequena diversificação de porta-enxertos usados no Brasil. Tangerina Cleópatra, limão Volkameriano (*C. volkameriana* Tan. e Pasq.), tangerina Sunki (*C. sunki* Hort.) e, no início dos anos 90, citrumelo Swingle (*C. paradisi* Mac. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) mostraram ser boas alternativas para a diversificação no uso de porta-enxertos.

A partir de 2001 a Mosca-Negra-dos-Citros (*Aleurocanthus Woglumi* Ashby) tornou-se uma nova ameaça da produção local e nacional de citros (MAIA, 2006).

A Tabela 1 apresenta a variação anual, entre os anos de 2001 e 2007, das áreas plantadas de laranja, nos municípios do Estado do Pará, e as Figuras 2 e 3 ilustram as variações espaciais dessa áreas, nas unidades da federação do Brasil e microrregiões do estado do Pará, no ano de 2007 (IBGE, 2010).

Tabela 1 - Variação anual da área plantada (hectares) nas microrregiões do Estado do Pará.

Localidades	Anos						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
São Félix do Xingu	30	30	30	30	30	30	30
Belém	121	62	62	62	70	70	71
Paragominas	98	118	83	80	85	83	83
Tucuruí	105	115	115	120	120	103	103
Óbidos	189	207	237	203	203	137	122
Salgado	287	265	226	232	187	155	164
Cametá	269	199	249	240	170	240	170
Castanhal	227	300	300	300	220	220	220
Itaituba	355	321	323	320	176	176	176
Altamira	650	220	221	221	221	222	182
Tomé-Açu	292	309	309	343	483	483	394
Santarém	1073	1068	1018	677	667	617	620
Bragantina	1226	1404	1134	1054	787	707	575
Guamá	7692	8095	8019	9437	9652	9825	9824

Fonte – IBGE, 2010.



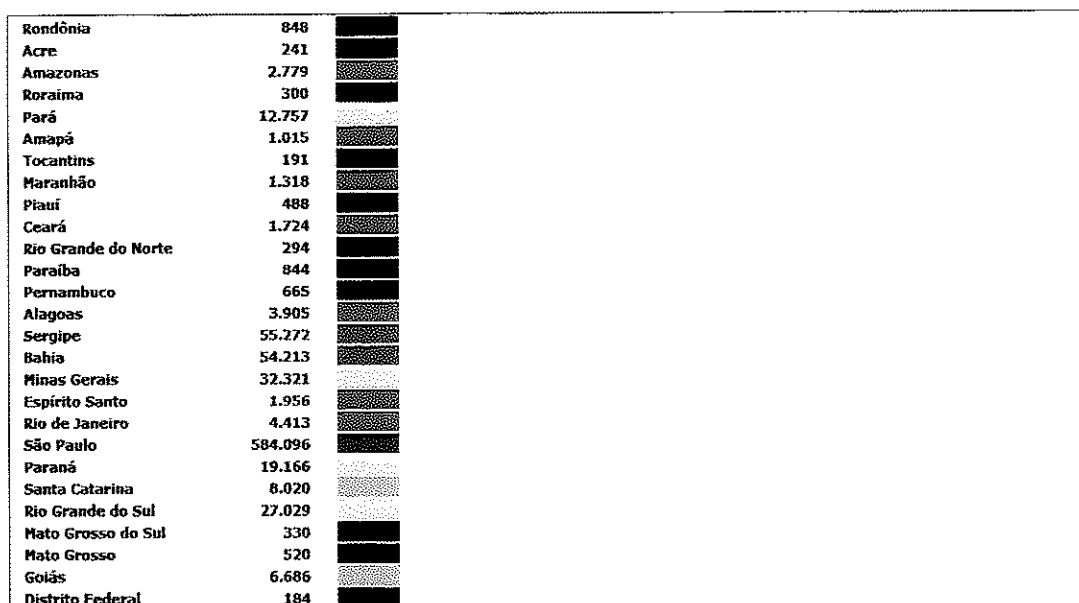
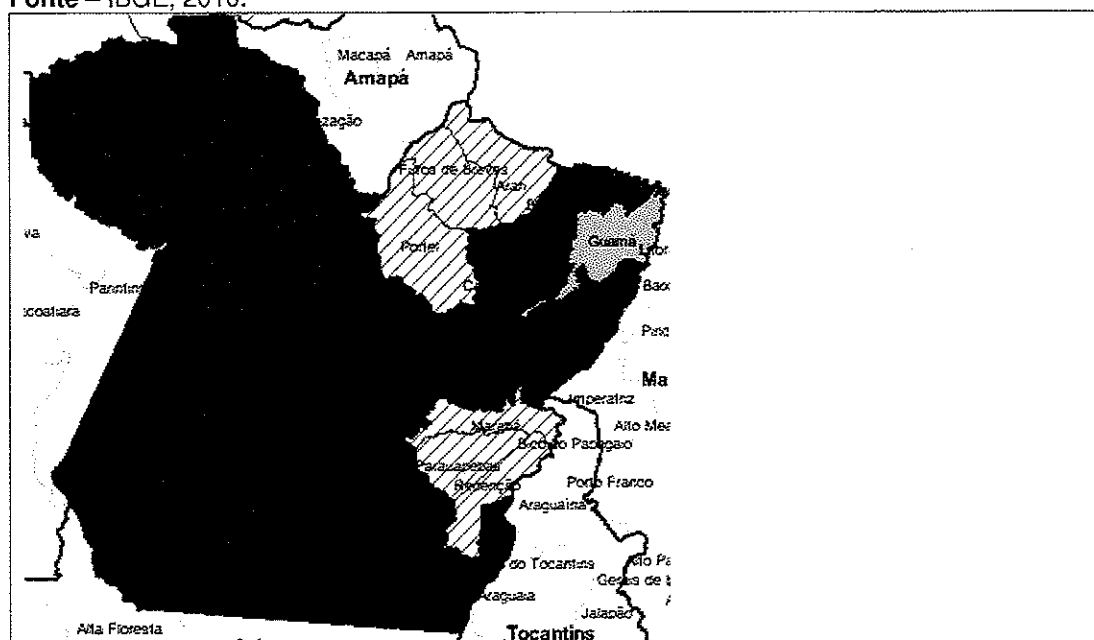


Figura 2 - Área plantada de laranja (hectares) nas unidades da federação do Brasil em 2007.
Fonte - IBGE, 2010.



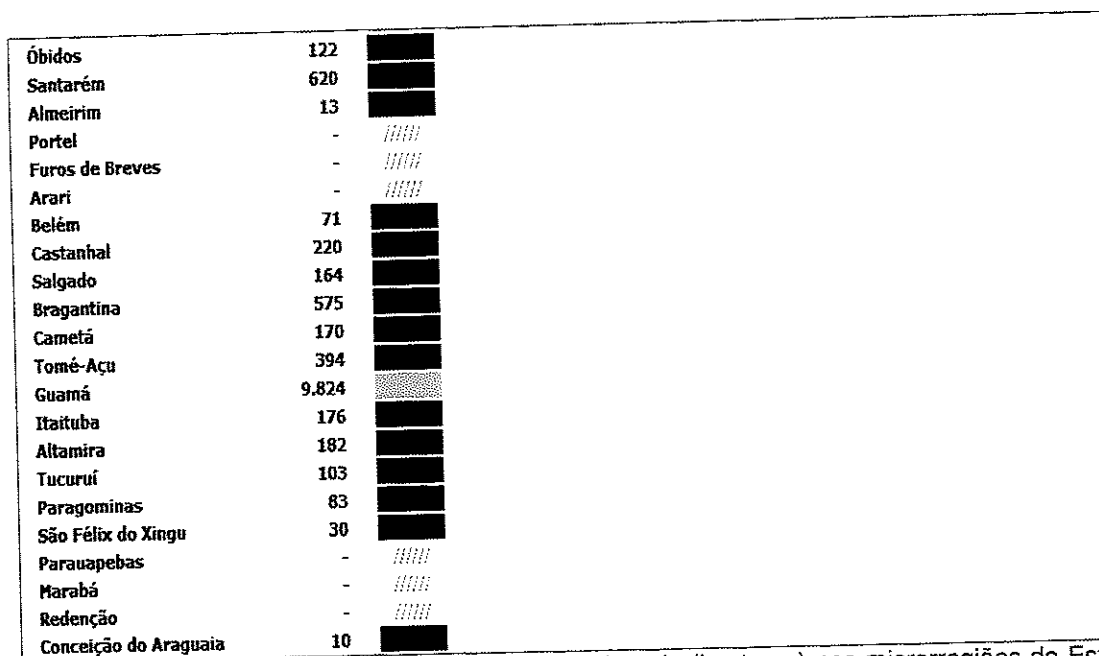


Figura 3 - Variação espacial da área plantada de laranja (hectares) nas microrregiões do Estado do Pará em 2007.

Fonte – IBGE, 2010.

2.2.2 Efeitos climáticos no desenvolvimento dos insetos

Foi avaliada em diversos estudos que a capacidade de adaptação e desenvolvimento dos animais poiquilotérmicos, também conhecidos como pecilotérmicos, ectotérmicos, heterotérmicos, exotérmicos, ou vulgarmente de sangue frio, dependentes das condições meteorológicas, em função da temperatura ar (TRUDGILL, 1995; RUEDA, 1996; HARDY, 1981; MAIA, 2003).

Em áreas de condições ecológicas naturais, as diferentes condições meteorológicas e climatológicas podem influenciar o comportamento, abundância e distribuição dos insetos, sendo a temperatura do ar um dos fatores fundamentais para a distribuição ecológica dos animais (CIVIDANES; PARRA, 1994). Assim, Milanez (1995), baseando-se em estudos de exigências térmicas, verificaram que, para o Estado de São Paulo, o número de gerações por ano da espécie *D. costalimai* variou de 6,1 a 7,1, para a espécie *O. facialis* de 5,4 a 6,2 e para a espécie *A. citrina* de 5,7 a 6,6.

A Figura 4 apresenta a relação entre a temperatura do ar e a taxa de desenvolvimento dos insetos, de uma forma geral. A taxa de desenvolvimento ótima é estabelecida em torno de 30°C, podendo oscilar de 26°C a 34°C. Acima ou abaixo dessa zona, o inseto entra em condições adversas à vida.

Nas baixas temperaturas, adversas a vida, determinada pela temperatura basal inferior (T_b) de cada espécie de inseto, os valores de temperatura do ar variam de 10°C a menores. Nessa situação ocorrem a diapausa e dormência, que são caracterizadas pela perda de agressividade por parte do indivíduo e hibernação, respectivamente.

Próximo a 0°C ocorre o congelamento dos fluidos, num estágio de anabiose irreversível, ou seja, a suspensão das atividades vitais, atingindo a morte em temperaturas próximas a -10°C .

Quando os valores de temperatura do ar superam a temperatura basal superior (T_B), ocorre o fenômeno de estivação temporária, podendo readquirir suas características normais, com o retorno a faixa ótima de temperatura do ar. Entre 48°C e 52°C o inseto entra em estivação permanente, não readquirindo mais suas funções vitais normais e acima desses valores, a morte.

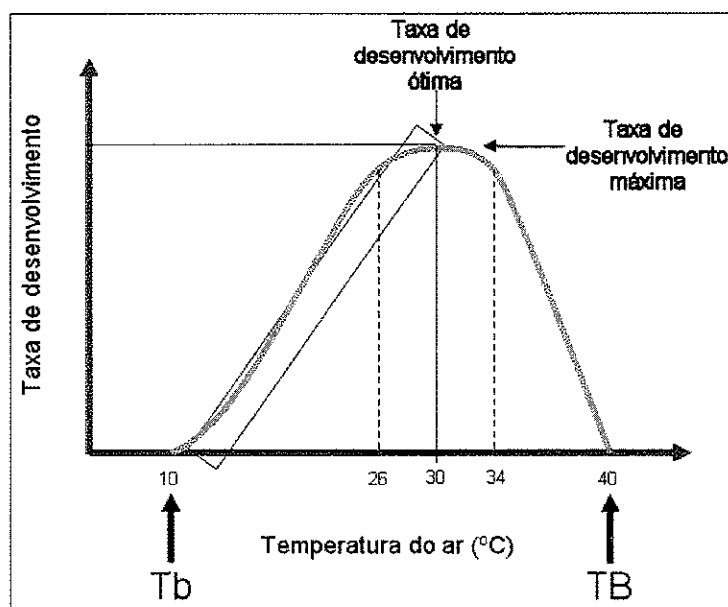


Figura 4 - Relação entre a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e a taxa de desenvolvimento dos insetos (dias).

Fonte - Sentelhas, 2007.

Maia (2006); Berti Filho e Peres Filho (2003); Bale, Bryant e Thomas (1997), concluíram que as condições meteorológicas impõem elevadas taxas de stress, nos diversos estágios de desenvolvimento desses animais, ocasionando dessa forma pausas e dormências na incubação dos ovos.

As pausas são causadas por uma forte relação entre os fatores externos, os abióticos, principalmente a temperatura, e os internos, os bióticos (competidores, parasitas, predadores, dieta e etc.).

Os artrópodes possuem comumente estes tipos de dormências e pausas, sendo que diversas condições afetam estes estados de dormência, tais como fotoperiodismo, intensidade da radiação, umidade, nutrição, etc. (SUBRAMANYAM; HAGSTRUM, 1996).

Segundo Trudgill (1995), há também, casos de dormência nestes animais intimamente ligados ao ciclo de vida de plantas hospedeiras, que por sua vez também dependem de fatores abióticos, como fotoperiodismo e temperatura.

O conhecimento das necessidades térmicas dos insetos possibilita a previsão da ocorrência e duração das fases de desenvolvimento ao longo do ciclo da cultura. Essa informação tem auxiliado na definição de épocas de aplicação de medidas de controle, reduzindo custos e danos causados pelas pragas.

Silveira Neto e Nakano (1976) realizaram levantamento populacional de insetos, em 11 localidades do estado de São Paulo, de 1965 a 1970, e constatou a alta correlação entre a flutuação populacional dos insetos e os fatores meteorológicos.

Collins e Leather (2001) observaram que insetos de *Tuberolanchnus Salignus* possuem maior longevidade entre as temperaturas entre 20 e 25°C, caindo abruptamente após essa temperatura.

Ambrosano et al. (1996) observou que a precipitação na região de São Paulo possui correlação inversa entre a flutuação populacional de broca da cana, com ataques mais severos nas regiões secas, com precipitações médias anual em torno de 600 e 750 mm.

Gasparotto et al. (1989) observou que a umidade do ar, por ser responsável para a formação de orvalho, na superfície foliar, por cerca de 6 h, torna-se fator imprescindível para o desenvolvimento mal-das-folhas.

O efeito do fotoperíodo está diretamente associado com a migração e o fenômeno de transferência de uma população de uma região para outra. Neste movimento, que é caracterizado por ser adaptativo e não acidental, os animais percorrem longas distâncias (JOHNSON, 1969).

No caso dos insetos, a migração ocorre de diferentes maneiras, entre as diferentes espécies, podendo ser classificada como obrigatória ou facultativa (GATEHOUSE, 1994).

A migração obrigatória ocorre freqüentemente nas regiões de clima temperado e está associada à fuga dos insetos às baixas temperaturas do inverno. Nestas regiões, o fotoperíodo é um elemento chave para a indicação do momento de migração (SOUTHWOOD, 1997).

A migração facultativa está relacionada com alterações no ambiente onde se encontram os insetos, as quais tornam inseguras a sobrevivência destes indivíduos e de sua prole (SOUTHWOOD, 1997).

A escassez de alimentos, a superpopulação e a umidade podem induzir a ocorrência deste fenômeno, como observado para *Spodoptera exempta* na África (WILSSON; GATEHOUSE, 1993).

Evidências mostram que a migração é acompanhada por uma série de alterações fisiológicas da estrutura corporal dos insetos. Quando as fêmeas emergem em ambientes desfavoráveis, estas têm o ovário imaturo e uma forte tendência a serem migrantes. Com a chegada a um ambiente favorável, os ovários amadurecem e a oviposição se inicia em poucos dias. Nestes casos, a população pode crescer rapidamente (GATEHOUSE, 1987).

Por outro lado, quando as fêmeas emergem com os ovários maduros, estes insetos têm uma forte tendência a não serem migrantes. Com condições ambientais favoráveis, estes insetos depositam seus ovos na região onde se encontram ou bem próximos dali, efetuando o que se chama de movimento dispersivo ou trivial (GATEHOUSE, 1987).

Nestes casos a oviposição se inicia em um curto período de tempo (JOHNSON, 1969).

Segundo Crema e Castelo Branco (2004), estudando traça-das-crucíferas, observou que o desenvolvimento ovariano da não é afetado pelo fotoperíodo, quando as larvas foram mantidas em fotofase de 14 h.

2.2.3 Exigências térmicas de *a. Woglumi*

A literatura entomológica é bastante vasta, no que diz respeito aos efeitos das variáveis abióticas sobre a vida dos insetos. Entretanto, maioria dos estudos, porém,

tem sido conduzida em países de climas temperados ou sob condições específicas de laboratório.

Em outros casos, o interesse é encontrar respostas específicas para problemas imediatos, relacionados principalmente de vetores de doenças, em análises pontuais, o que tem inibido o desenvolvimento de teorias e simulações mais gerais em ecologia térmica de insetos.

Os estudos sobre as exigências térmicas da mosca-negra-dos-citros, iniciaram a partir dos primeiros registros do inseto. Diversos estudos em laboratórios utilizando-se câmaras climatizadas foram realizados com o intuito de correlacionar seu ciclo de vida aos fatores abióticos (DOWELL et al., 1981, SMITH et al., 1964).

Segundo Trudgill (1995), a relação entre temperatura e a taxa de desenvolvimento de um inseto pode variar entre indivíduos, populações e espécies.

Nguyen e Hamon (2003) constataram que temperaturas iguais a ou superiores a 45°C, durante curtos períodos (3 horas) são suficientes para matar 50% das formas imaturas. O mesmo ocorre com temperaturas iguais ou inferiores a -10°C, o que indica que *A. woglumi* pode facilmente sobreviver em todas as faixas de temperatura de cultivos dos citros.

Maia (2006) constatou que o desenvolvimento da mosca-negra-dos-citros é favorecido por temperaturas entre 20°C e 32°C e umidade relativa do ar elevada, entre 70 e 80%, sendo que esta espécie não sobrevive em temperaturas em torno de 40°C e altitudes acima de 1000 metros.

Pena et al. (2008), observou que a duração da fase de ovo, do ciclo biológico de *A. woglumi*, variou de 8 a 10 dias, enquanto que o ciclo ovo adulto variou de 54 a 103 nas temperaturas de 15 a 32°C respectivamente, subestimando o período que Sá et al. (2008), observou nas mesmas condições de temperatura.

A taxa de sobrevivência também variou nos diversos estudos. Sá et al., (2008), observou que nas quatro fases do seu ciclo de vida do inseto, ovo, ninfa 1, 2, 3 e 4 e casulo pupal, a sobrevivência variou de 80 a 90%, 75 a 85%, 80 a 100, 85 a 100 e 70 a 80%, respectivamente, sendo de 50 a 60% a probabilidade de sobrevivência em todo o ciclo.

Martinez e Angeles (1973) encontraram um valor de 54% de probabilidade de sobrevivência para todo o ciclo desse inseto. Cunha (2003), também obteve resultados diferentes, o que comprova que mesmo em ambientes com o microclima

controlado, existe uma ampla variação do ciclo de vida da mosca negra em relação as condições ambientais.

Maia (2008) estudou os fatores ambientais que afetam diretamente o ciclo biológico de *A. woglumi*, e encontraram resultados similares aos observados por Dowell e Fitzpatrick (1978). Esses autores concluíram que existe um efeito direto da temperatura ar no desenvolvimento e, na taxa de sobrevivência de formas imaturas da mosca negra dos citros.

Observaram também que o limite mínimo para o desenvolvimento é de 13,7 °C e em formas imaturas, a sobrevivência desse inseto se manteve constante a temperaturas de 25,6 °C e decresceu com mudanças em qualquer direção.

Cividanes (2000), afirma ainda que por meio das exigências térmicas de um inseto praga, pode-se também determinar o período de amostragem, limitando às épocas em que as populações atingem níveis críticos.

Da mesma forma, o número de gerações possíveis em cada localidade pode ser calculado com o uso de dados meteorológicos da região.

A Tabela 2 apresenta um resumo das exigências térmicas de *A. woglumi* encontrado na revisão de literatura.

Tabela 2 - Resultados da biologia de *A. woglumi*, da literatura.

	Ovo	Ninfa 1	Ninfa 2	Ninfa 3	Casulo pupal	Ciclo ovo-adulto	Temp. ar (°C)	Referência
Dias	8-11	9,5	7-13	6-20	16-50	50-90	24-27	Pena et al., (2009)
	7-10	8-10	7-15	6-20	16-50	45-100	23-27	Dowell et al., (1981)
	7-10	7-10	7-15	6-20	16-50	48-82	24-27	Dietz e Zetec. (1920)
		10	10	18	22-31	54-103	23-35	Martinez e Angeles. (1973)
	12-15	10	8	9	30-35	56-68	23-32	Sá et al., (2008)
	7-10	7-16	7-30	6-20	16-50	43-133	23-35	Maschio, (2008)

2.2.4 Modelos de simulações de prognósticos de insetos

Os modelos matemáticos são ferramentas importantes para prever, avaliar e compreender a dinâmica de populações de pragas, em ecossistemas naturais ou

criados pelo homem, em uma variedade de condições ambientais e de ações de manejo. (SMERAGE, 1992).

Com esses modelos, diferentes estratégias de controle podem ser comparadas. Os modelos são especialmente úteis para se predizer a eficiência de métodos não químicos de controle em grãos armazenados (HAGSTRUM; FLINN, 1996).

Muitos tipos de modelo são usados no estudo e no manejo de insetos, tais como: modelos de regressão (estatísticos), de período de infecção, fisiológicos ($^{\circ}\text{d}^{-1}$), para simulação e analíticos (NORTON; HOLT; MUMFORD, 1993; BERRYMAN, 1997).

Se o sistema em estudo é controlado e as relações que compõem seu modelo são simples o bastante, é possível trabalhar com elas, de modo a se conseguir uma solução analítica; neste caso, tal modelo é chamado modelo analítico (LAW; KELTON, 1991).

Esse mesmo autor complementa que, muitos sistemas são altamente complexos e seus modelos matemáticos válidos também o são, excluindo qualquer possibilidade de uma solução analítica; desta forma, o modelo deve ser estudado por meio de simulação, ou seja, exercitá-lo numericamente com dados de entrada de interesse para observar como eles afetam as medidas de performance dos dados de saída (LAW ; KELTON, 1991).

No estudo de insetos, os modelos para simulação visam predições exatas e detalhadas sobre a dinâmica populacional de sistemas particulares, enquanto os modelos analíticos desconsideram os detalhes e, em vez disso, visam capturar a essência da dinâmica populacional de um sistema e seus princípios gerais, de maneira qualitativa, mas ambos podem ser usados para se complementarem um ao outro (HESS, 1996).

Berryman (1997) defende a importância de se considerar, na modelagem, os quatro princípios fundamentais da teoria da dinâmica de populações: crescimento geométrico; cooperação intraespecífica; competição intraespecífica e realimentação negativa induzida pelo retardamento da densidade, devido à presença de predadores e outros inimigos naturais.

A maioria desses princípios tem sido desconsiderada, mesmo nos modelos de simulação, pois as espécies são estudadas isoladamente e, na realidade,

geralmente várias espécies infestam os grãos ao mesmo tempo. Portanto, de certa forma esses modelos também são apenas analíticos.

2.2.5 Modelo fisiológico de graus-dias

Os modelos de graus-dia são baseados nas exigências térmicas que o inseto necessita para completar determinada fase do seu ciclo de vida. Cada grau de temperatura acima da temperatura-base corresponde a um grau-dia.

Cada espécie de inseto ou cultivar, possui uma temperatura base, que pode variar em função dos diferentes sub-períodos de desenvolvimento de vida. Esta teoria assume que tanto as temperaturas diurnas como as noturnas afetam o desenvolvimento e o crescimento animal e vegetal.

Esses modelos têm sido utilizados para determinar a ocorrência de insetos que atacam a parte aérea (FAN; GRODEN; DRUMOND, 1992; PETERSON; MEYER, 1995; CIVIDANES; FIGUEIREDO, 1997; MEYER; PETERSON, 1998; RO; LONG; TOBA, 1998) e a parte subterrânea das plantas (JENNINGS RUPPEL; RUSSELL, 1978; BERGMAN; TURPIN, 1986; NARANJO; SAWYER, 1988; WOODSON; EDELSON, 1988; ELLIOTT; GUSTIN; JACKSON, 1990; ELLIS; OLOUMI-SADEGUI; LEVINE, 1992; ALLE; BRENES; DAVIS, 1996; TURLEY et al., 1996).

Esses modelos também constituem uma ferramenta muito útil para programas de manejo de pragas, devido possibilitarem a previsão do desenvolvimento destes insetos, indicando que a população da praga já obteve do ambiente, condições térmicas para ocorrer em nível crítico.

Deste modo, estes modelos proporcionam que agricultores determinem mais eficientemente a época de aplicação de controle ou a época de início ou intensificação de amostragens (TAYLOR, 1981; WILSON; BARNETT, 1983, HIGLEY; OSTLIE; PEDIGO, 1986).

Nos modelos de previsão, as temperaturas do ar e do solo são usualmente empregadas como variáveis independentes, e os resultados têm sido aplicados em programas de manejo de pragas, para orientar sobre a época mais adequada para a realização de amostragens, implementação de medidas de controle, fornecendo subsídios para um melhor entendimento da dinâmica populacional dos insetos-

pragas e de seus inimigos naturais nos sistemas agrícolas (BERNAL; GONZALES; 1993; ALLEE; BRENES; DAVIS, 1996; CIVIDANES; FIGUEIREDO, 1997).

2.3 OBJETIVO

O presente trabalho possui como objetivo principal avaliar o comportamento bioclimático da mosca-negra-dos-citros, *A. woglumi*, e o potencial ecoclimático do Estado do Pará. Os objetivos específicos são:

- a) O conhecimento bioclimático do inseto, associados as variáveis meteorológicas intervenientes na densidade populacional;
- b) A análise da variação ecoclimática, nas escalas espaciais e temporais, do Estado do Pará.

2.4 METODOLOGIA

2.4.1 Experimentos

Os levantamentos de infestação de *A. woglumi*, em condições naturais de campo, foram realizados em propriedade agrícola ($-01^{\circ} 48' 38''$ de latitude e $-47^{\circ} 11' e 38''$ de longitude), de cultivar de laranja pêra, *Citrus sinensis*, no município de Capitão Poço (Figura 5). Através de amostragem convencional, de presença-ausência, com número definido de 20 plantas por talhão, de aproximadamente 2.000 plantas, foram realizados os levantamentos, sendo as plantas escolhidas aleatoriamente, com caminharmento em forma de ziguezague.

Os adultos foram coletados por meio de aspirador entomológico manual, em folhas novas, nos quatro quadrantes da planta. As observações foram realizadas a cada 45 dias a partir de abril de 2006 a abril 2008.

Os trabalhos foram desenvolvidos no laboratório de bioecologia de insetos, LABIN, do Instituto de Ciências Agrárias, ICA, da Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA.

A infestação de *A woglumi* foi através de mudas de *citrus sinensis*, recém-enxertadas (45 dias), cultivadas em saco de plástico com 2,5 l de capacidade, contendo uma mistura de terra e esterco bovino curtido, na proporção de 9:1. Gaiolas de tecido tipo "voil" envolveram cada muda, onde foram acondicionados 20 casais de mosca-negra, os quais permaneceram por 72 horas para ovipositarem nas plantas.

Os casais foram retirados e em seguida contados o número de oviposições. Foram mantidos 20 ovos/repetição (planta). Todos os demais ovos foram retirados, raspando-os por meio de bisturi.

Diariamente, retirava-se uma repetição por vez e, por meio de microscópio estereoscópico, foram observados:

- a) Período embrionário;
- b) Puração do primeiro; segundo, terceiro e quarto instares ninfais;
- c) Período de vida adulta;
- d) Ciclo total.

Diariamente eram adicionados, aproximadamente, cerca de 200 ml de água, quatro vezes ao dia, nos períodos do início e final da manhã e tarde, com o objetivo de evitar a deficiência hídrica.

As amostras de *Citrus sinensis*, infestadas de *A woglumi*, foram inseridas em câmaras climatizadas, sendo quatro por cada câmara, reguladas a temperaturas constantes de 15, 20, 25, 30, 35 e $40 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, $85 \pm 10\%$ UR e 12 horas de fotofase.

Os dados da duração dos ínstaes, fase ninfal e longevidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, com dados transformados em x . Para a comparação entre médias de mortalidade foi utilizado o teste de Qui-quadrado a 5% de significância.

Através dos dados da duração média dos diferentes ínstaes e da fase ninfal em cada temperatura, determinou-se, pelo método da hipérbole (HADDAD et al., 1999), a temperatura base (T_b) em $^{\circ}\text{C}$ e a constante térmica (K) em graus-dia. O número de gerações anuais foi estimado mediante as constantes térmicas da fase

ninfal de fêmeas, adotando-se a metodologia estabelecida por Parra (1981), conforme descrito no item 4.8 deste capítulo.

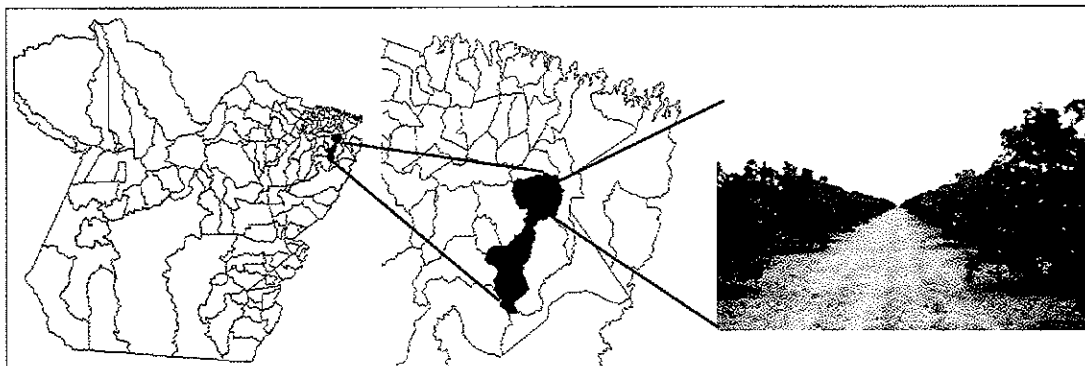


Figura 5 - Localização geográfica da propriedade rural estudada.

2.4.2 Área de estudo

O Pará é o segundo maior Estado brasileiro, com uma área de 1.253.164 km², mais de 16% do território nacional, com uma densidade demográfica de 7.431.020 habitantes/km² (INSTITUTO..., 2009). Está compreendido entre os paralelos 2º N e 5º S e entre os meridianos 56 e 48º W. Limita-se ao norte com o Estado do Amapá e com a Guiana, ao sul com o Estado do Mato Grosso, ao oeste com o Estado do Amazonas, ao sudoeste com os Estados do Amazonas e Mato Grosso, ao sudeste com o Estado do Tocantins, ao noroeste com o Estado de Roraima e a Guiana, ao nordeste com o oceano Atlântico e ao leste com o Estado do Maranhão. A Figura 6 (a) ilustra a localização geográfica do Estado do Pará, destacando suas mesorregiões. O Pará é dividido em 143 municípios, distribuídos em seis mesorregiões e 22 microrregiões, definidas com base em critérios da Fundação IBGE.

A rede hidrográfica paraense é formada por mais de 20 mil quilômetros de rios extensos e perenes, como o Amazonas, que corta o estado no sentido oeste/leste e deságua num grande delta estuário com inúmeras ilhas, entre elas a de Marajó, ou os rios Tocantins e Guamá, que formam bacias independentes. Estão também no Pará alguns dos mais importantes afluentes do Amazonas, como Tapajós, Xingu e Curuá, pela margem direita; e Trombetas, Nhamundá, Maicuru e

Jari, pela margem esquerda (INSTITUTO..., 2010). A Figura 6 (b) ilustra a rede hidrográfica principal do Estado do Pará.

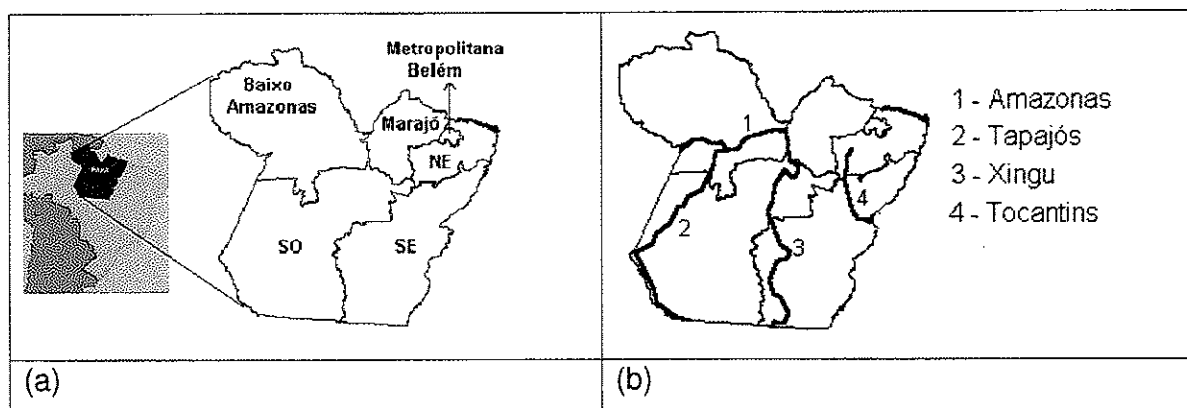


Figura 6 – (a) Localização geográfica do Estado do Pará e mesorregiões; (b) Rede hidrográfica principal do Estado do Pará.

2.4.3 Climatologia do estado do Pará

A partir dos dados climatológicos listados no item 4.4, foi realizada a climatologia do Estado do Pará. O Estado do Pará possui três sub-tipos climáticos, segundo classificação de Köppen: "Af", "Am", "Aw". Tais sub-tipos pertencentes ao clima tropical chuvoso, caracterizando-se por apenas apresentar temperaturas médias mensais sempre superiores a 18° C e se diferenciam pela quantidade de precipitação pluviométrica média mensal e anual.

O sub-tipo climático "Af" não apresenta estação seca e a precipitação do mês menos chuvoso é igual ou superior a 60 mm. Já o sub-tipo "Am", apresenta característica de clima de monção, com moderada estação seca e ocorrência de precipitação média mensal inferior a 60 mm. É considerado um clima intermediário entre "Af" e o "Aw".

No sub-tipo "Aw", ocorre inverno seco bem definido e existência de precipitação média mensal inferior a 60 mm.

As Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 ilustram a climatologia do Estado do Pará, conforme dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia, em escala anual.

2.4.3.1 Precipitação

As maiores precipitações anuais são observadas no Nordeste do Pará, cerca de 3.000 mm anual, diminuindo progressivamente no sentido sudoeste, onde são observadas precipitações em torno de 1.800 a 2.000 mm (Figura 7). Esse padrão de menores precipitações também são observados do extremo sudeste do estado, no município de Conceição do Araguaia e Santa Maria das Barreiras.

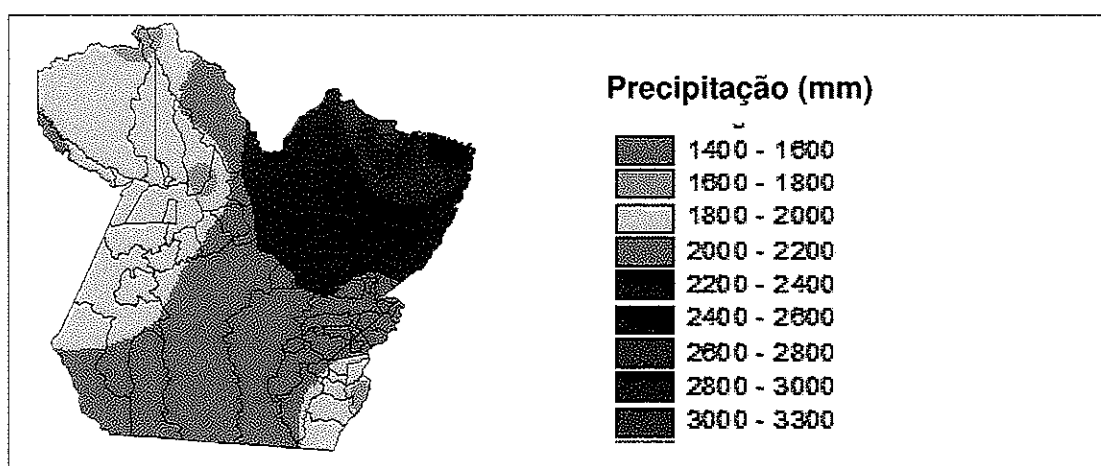


Figura 7- Climatologia de precipitação no Estado do Pará.

2.4.3.2 Evaporação

As perdas hídricas, através da taxa evaporativa de superfícies livres, são maiores no extremo sudeste do estado e região do Baixo Amazonas (Figura 8), onde essas taxas podem chegar até a 1.400 mm no ano. Nas demais áreas do estado, a evaporação oscila em torno de 900 a 1200 mm a cada ano.

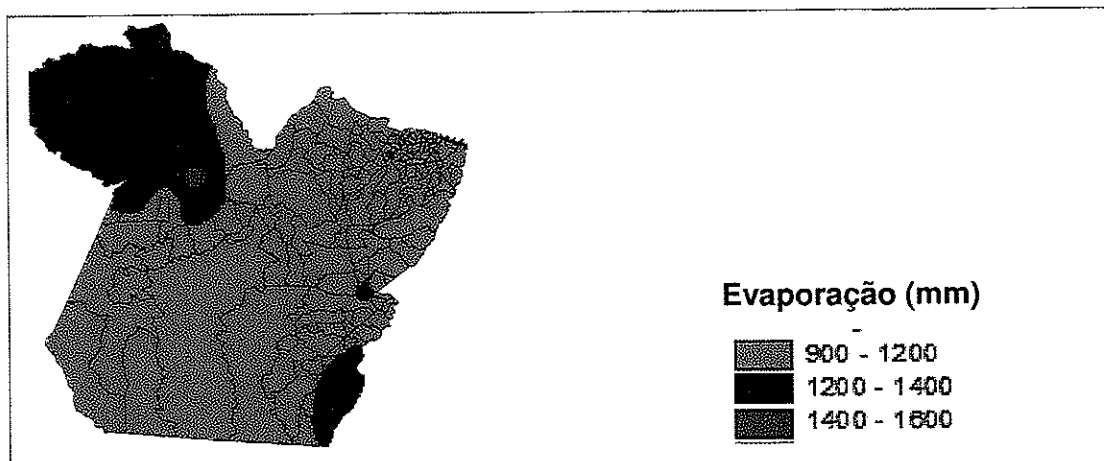


Figura 8 - Climatologia de evaporação no Estado do Pará.

2.4.3.3 Insolação

A insolação, medida em estações convencionais através de heliógrafos, é diretamente influenciada pela nebulosidade. Tal fato explica a grande variabilidade espacial no estado (Figura 9). Os extremos dessa variável são observados no sudeste do estado, nos municípios de Santa Maria, Conceição do Araguaia, com valores de até 220 horas por ano de insolação. Dois picos mínimos são observados nos municípios de São Félix do Xingu e Anapú, com valores em torno de 130 a 150 horas a cada ano.

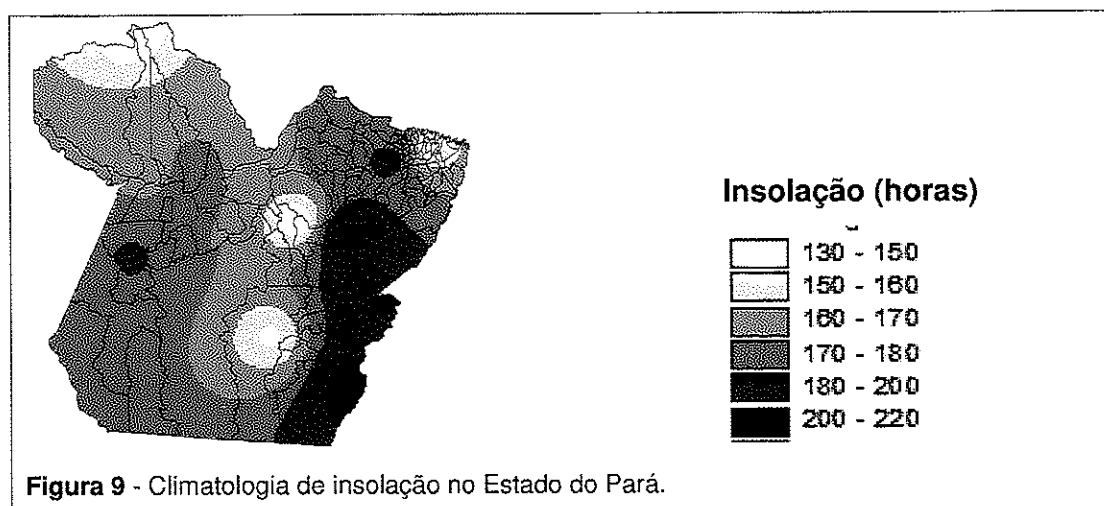
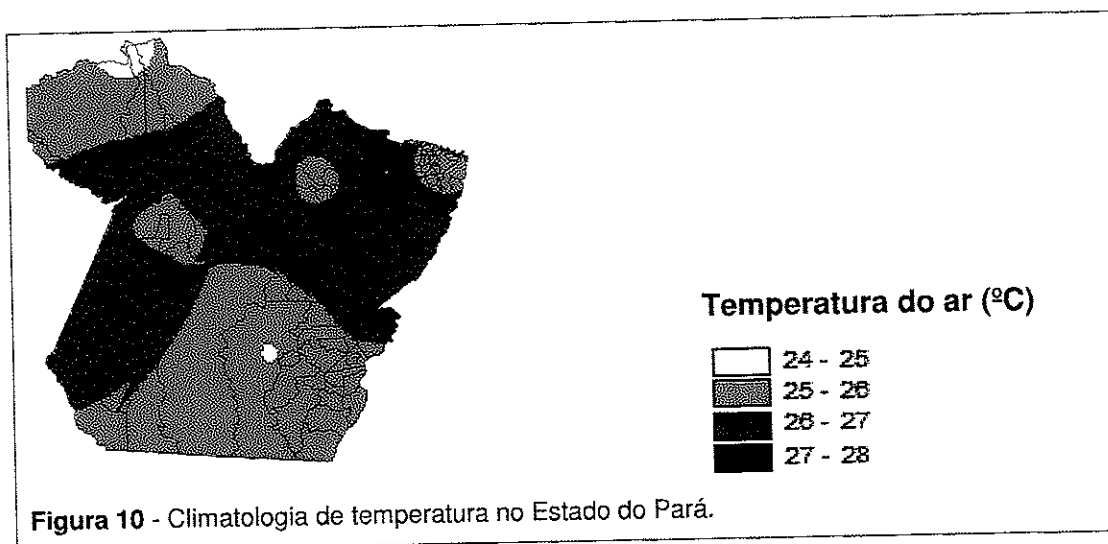


Figura 9 - Climatologia de insolação no Estado do Pará.

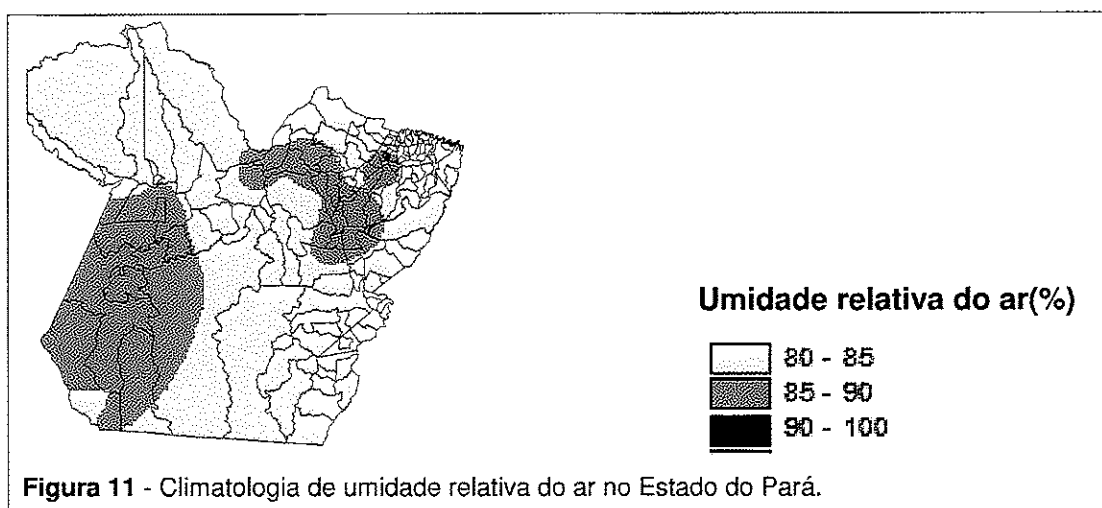
2.4.3.4 Temperatura Média do Ar

As maiores temperaturas médias do ar prolongam-se em uma grande área zonal, cortando o estado em dois extremos norte e sul, com valores em torno de 26 a 27°C (Figura 10). O restante do estado, os extremos norte sul, oscilam entre 25 a 26, incluindo nesse intervalo o extremo nordeste do Pará.



2.4.3.5 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar é distribuída de forma bastante homogênea, com a grande parte do estado oscilando entre 80 a 85% (Figura 11). São observadas duas áreas no sudoeste do estado e outra área que inicia no município de Porto de Moz, passa pelo sul da região do Marajó e se estende até Novo Repartimento, com valores chegando a 90% de umidade relativa.



2.4.4 Base de dados

Foram utilizados dados climatológicos, compreendidos entre os anos de 1961 a 2007, com frequência diária, de 15 estações meteorológicas, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET/MAPA, conforme listado na Tabela 3 e ilustrado na Figura 12.

Tabela 3 - Estações meteorológicas no Estado do Pará.

Nº	Código Localidade	Latitude	Longitude
1	82026 Altamira	03º 12' 00" N	51º 12' 00" O
2	82141 Belém	01º 27' 00" N	48º 27' 36" O
3	82145 Belterra	02º 37' 48" N	54º 57' 00" O
4	82178 Breves	01º 39' 36" N	50º 28' 48" O
5	82181 Conceição Araguaia	08º 15' 00" N	49º 16' 48" O
6	82184 Itaituba	04º 15' 36" N	55º 34' 48" O
7	82188 Marabá	05º 21' 00" N	49º 09' 00" O
8	82191 Monte Alegre	02º 00' 00" N	54º 04' 48" O
9	82246 Óbidos	01º 24' 36" N	55º 30' 36" O
10	82353 Porto de Moz	01º 43' 48" N	52º 13' 48" O
11	82361 São Félix Xingu	06º 37' 48" N	51º 58' 48" O
12	82445 Soure	00º 42' 36" N	48º 30' 36" O
13	82562 Tiriós	02º 28' 48" N	55º 58' 48" O
14	82668 Tracuateua	01º 04' 48" N	47º 09' 36" O
15	82861 Tucuruí	03º 42' 36" N	49º 42' 36" O

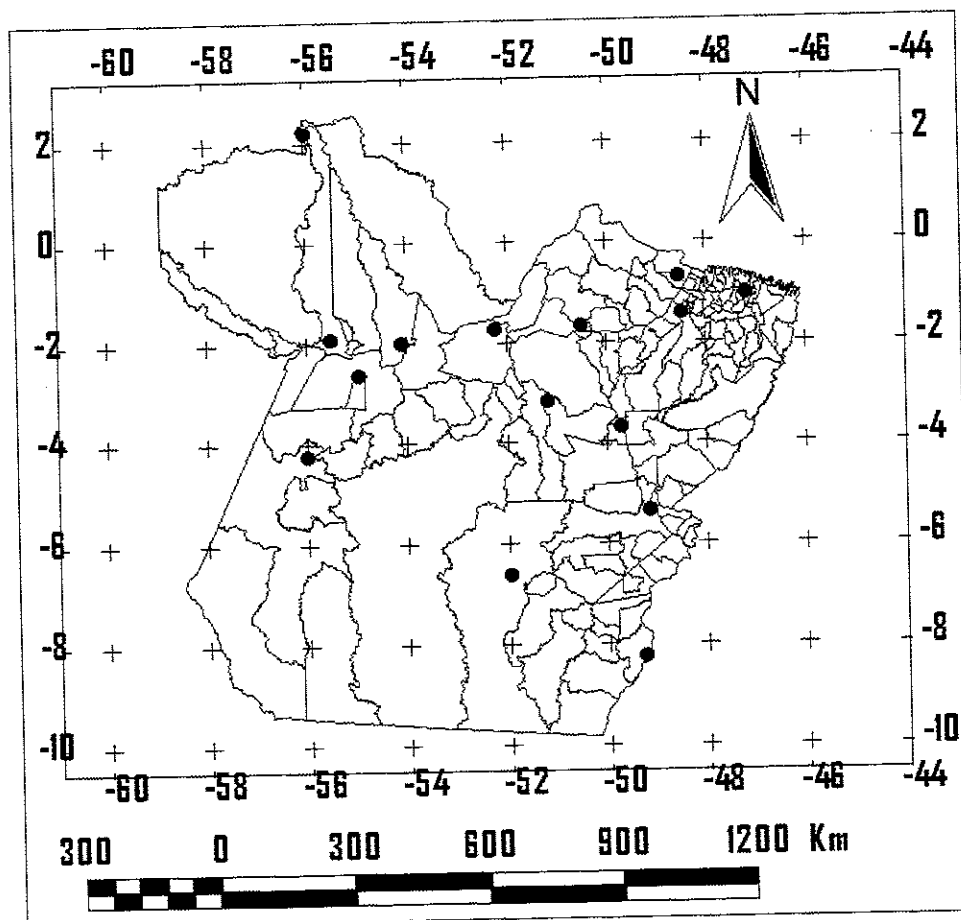


Figura 12 - Localização espacial das estações meteorológicas no Estado do Pará.

2.4.5 Geração dos mapas temáticos

Para obtenção dos mapas temáticos, foi utilizado um mapa geográfico do Estado do Pará, na escala de 1:1.000.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Em seguida, foi utilizado o módulo computacional extensão "Spatial Analyst", versão 1.1, contido no "software Arc View 3.3". Por meio da rotina "Surface-Interpolate Grid", efetuou-se a interpolação dos valores pontuais georreferenciados do número de gerações anuais da mosca-negra-dos-citros, distribuídos sobre o mapa geográfico em questão, utilizando o Método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

O ArcView permite a utilização do módulo *Interpolate Grid* com a escolha da opção de interpolação pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW), considerando-se apenas as seis estações mais próximas do ponto a ser calculado, como base para a estimativa do seu valor. Esse método assumiu que o valor a ser estimado para a variável em um ponto X qualquer é proporcional ao valor medido

em n estações vizinhas (V_i) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o ponto X e cada uma dessas n estações (D_i^2). Portanto, quanto mais distante o posto estiver do ponto X , menor será seu peso ou, em outras palavras, menor sua influência sobre o valor a ser estimado (V_x) (WATSON; PHILIP, 1985)

A estimativa do número de gerações anuais, com base no procedimento descrito anteriormente, pode ser feita por meio da Equação 1. É necessário escolher as n estações mais próximas ao ponto X e medir suas distâncias (D_i) a cada uma dessas n estações. O valor V_1 , medido na primeira estação (E_1), é dividido por D_1^2 (quadrado da distância entre X e E_1); depois V_2 por D_2^2 , e assim sucessivamente até V_n por D_n^2 . A somatória dos resultados é dividida pela somatória dos inversos de D_n^2 , conforme a equação 3 (ASSAD; SANO, 1998).

$$V_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{D_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^2}} \quad \text{Equação 1}$$

em que

V_x = valor estimado i ;
 V_i = valor medido na estação;
 D_i = distância entre o ponto e a estação;
 n = número de estações usadas para estimativa de V_x ; e
 i = número da estação (variando de 1 a n).

2.4.6 Modelo de graus-dias avaliados

Foram avaliados dois métodos de cálculo de graus-dia:

a) Método de Arnold (1959):

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_i - Tb) \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

Tb a temperatura basal mínima de crescimento ($^{\circ}\text{C}$);

T_i a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

n o número de dias do período.

b) Método de Ometto (1981):

Para cada dia calculou-se o valor de GD pelas fórmulas abaixo. O valor de GDA é obtido somando os valores GD do período.

$$GD = \frac{(TM - Tm)}{2} + (Tm - Tb) \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

TM a temperatura máxima (°C);

Tm a temperatura mínima (°C).

quando $Tm > Tb$ e $TM < TB$,

$$GD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)} \quad \text{Equação 4}$$

Se: $Tm < Tb$ e $TM < TB$, e ainda

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2(TM - Tm)} \quad \text{Equação 5}$$

Se: $Tm > Tb$ e $TM > TB$, sendo TB a temperatura basal máxima.

Para as condições climáticas da Amazônia, onde as temperaturas máxima muitas vezes excedem a temperatura basal máxima, e as temperaturas mínimas não atingem a basal mínima, optou-se pelo método de Ometto (1981), por ser mais completo e considerar o limite de TB.

2.4.7 Determinação das exigências térmicas, ciclos e gerações anuais

As taxas de desenvolvimento e respectivas temperaturas, foram determinadas através da constante térmica (K), conforme descrito por Silveira Neto, Nakano (1976) e Parra, (1981), conforme descrito na Equação 6.

$$K = y(t - a) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

K é a constante térmica expressa em graus dias (GD);

y é o número de dias de desenvolvimento

t é a temperatura do ar (°C);

a é a temperatura do limiar do desenvolvimento (°C);

A diferença entre $t - a$ é a temperatura efetiva.

O número de ciclo anual é expresso pela Equação 7

$$\text{Ciclo} = \frac{K}{(T_{ar} - T_b)} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

K é a constante térmica expressa em graus dias (GD);

T_{ar} é a temperatura do ar (°C);

T_b é a temperatura basal inferior (°C).

O número de gerações do inseto a cada ano, foi determinado pela Equação 8.

$$\text{Gerações} = \frac{d}{c} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

d é número de dias do ano;

c é o ciclo de desenvolvimento do inseto

2.5 RESULTADOS

2.5.1 Relação entre a temperatura e os ciclos de *a. Woglumi* em câmaras climatizadas

Foi observado que de uma forma geral, uma ótima temperatura do ar, em condições naturais, para o desenvolvimento do alerodídeo está próxima de 25°C e

corresponde ao desenvolvimento mais rápido e maior número de gerações (Figura 13). Na câmara, a temperatura de 40°C é considerada o limite máximo, com e a temperatura 15°C o limiar mínimo. Desta forma, foi observou-se que a faixa entre 15-40°C e considera-se a faixa ótima de desenvolvimento.

Na faixa acima de 40°C os insetos entram em estivação temporária, podendo voltar a adquirir as suas atividade normalmente quando a temperatura retornar as temperaturas da faixa ótima. Caso a temperatura não retorne a faixa ótima, o inseto é levado à morte.

Foi observado também que, a temperatura quando é reduzida abaixo dos 15 °C ocorre à hibernação temporária dos insetos.

O ajuste exponencial entre a temperatura do ar e os ciclos de *A. woglumi*, apresentou um coeficiente de determinação de 0,8562, o que explica a influência de cerca de 73% da temperatura, nos ciclos de vida do inseto.

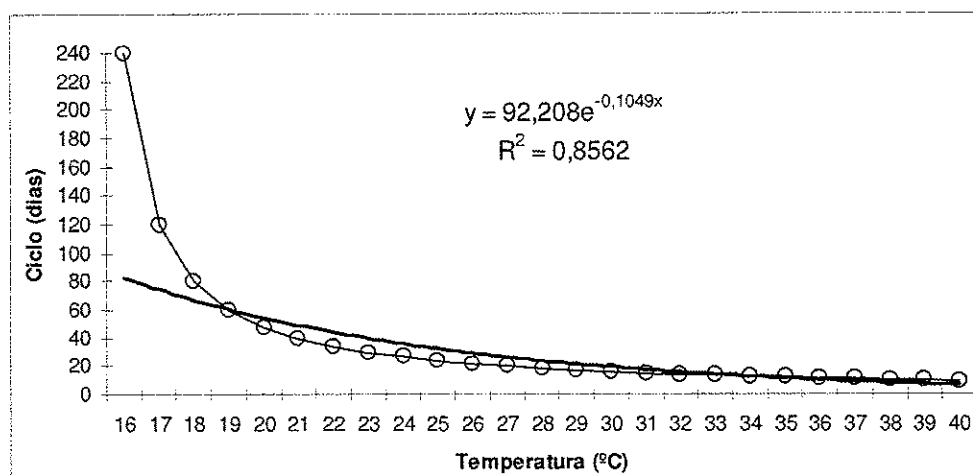


Figura 13 - Relação entre a temperatura e os ciclos de *A. woglumi*.

2.5.2 Bioclimatologia de *a. Woglumi* no nordeste do estado do Pará

2.5.2.1 Insolação

Foi observada uma relação direta da densidade populacional de *A. woglumi* com a insolação, com certo atraso da população, de aproximadamente 40 dias, em

acompanhar a insolação. Os meses de maiores horas de exposição solar, ficaram compreendidos no período menos chuvoso, de julho a novembro. No mês de outubro, foram observadas até 250 horas de insolação, o que representa em média 8,33 horas por dia. Nesse mês a densidade populacional chegou a 2.348 indivíduos. Em abril, em média, 108 horas de exposição solar direta ocorreram. Nesse mês, a densidade populacional não superou 75 indivíduos (Figura 14).

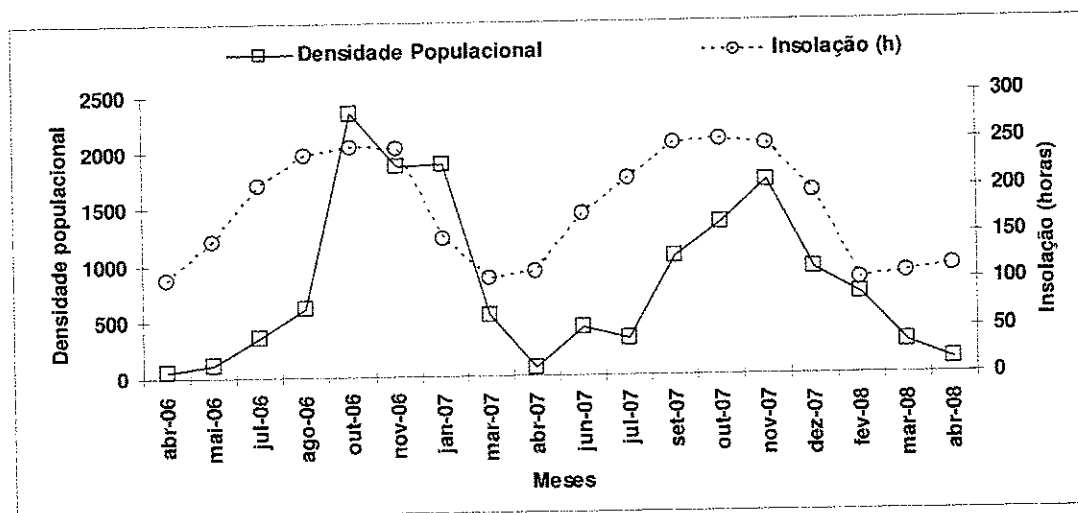


Figura 14 - Relação entre a insolação e a densidade populacional de *A. woglumi*, no nordeste do Estado do Pará.

2.5.2.2 Precipitação pluviométrica

A precipitação apresentou um comportamento inverso à densidade populacional, com atraso em torno de 30 dias (Figura 15). O período mais chuvoso na região estudada, de janeiro a abril, a densidade populacional chegou a 61 indivíduos, em abril de 2006. O período menos chuvoso, o número de indivíduos observados oscilou em torno de 2.000.

Um provável explicação para tal comportamento, está associada a característica das precipitações nessa região estudada. Geralmente as precipitações de origem convectivas, comuns na região, possuem fortes intensidades em curtos períodos de tempo.

Esse cenário ocasiona forte choque mecânico das gotas, com a planta em geral, e diretamente nas folhas, esse choque causa a remoção dos alerodídeos, na

fase adulta, e em muitos casos até mesmo o rompimento superficial de folhas em algumas culturas.

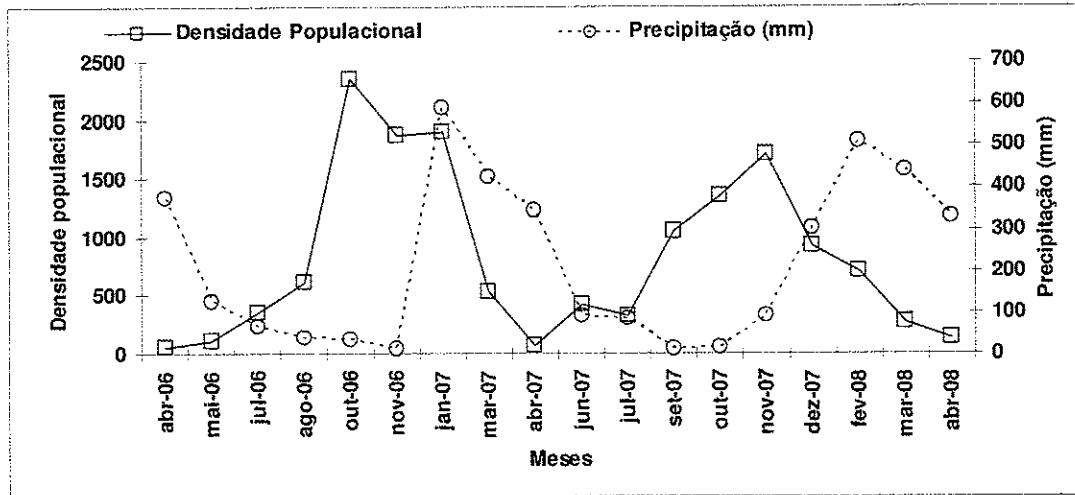


Figura 15 - Relação entre a precipitação e a densidade populacional de *A. woglumi*, no nordeste do Estado do Pará.

2.5.2.3 Temperatura do Ar

Foi observado que os meses de maiores temperaturas médias do ar, a densidade populacional aumentou, de uma forma geral sem atraso de tempo, ou seja, uma relação direta e instantânea. Os meses de maiores temperaturas, outubro e novembro, caracterizados com temperaturas médias superiores a 27°C, a densidade populacional oscilou em torno de 2.000 indivíduos (Figura 16). Nos meses março e abril, com temperaturas oscilando em torno de 25,5°C, a densidade populacional foi em média, cerca de 300 indivíduos.

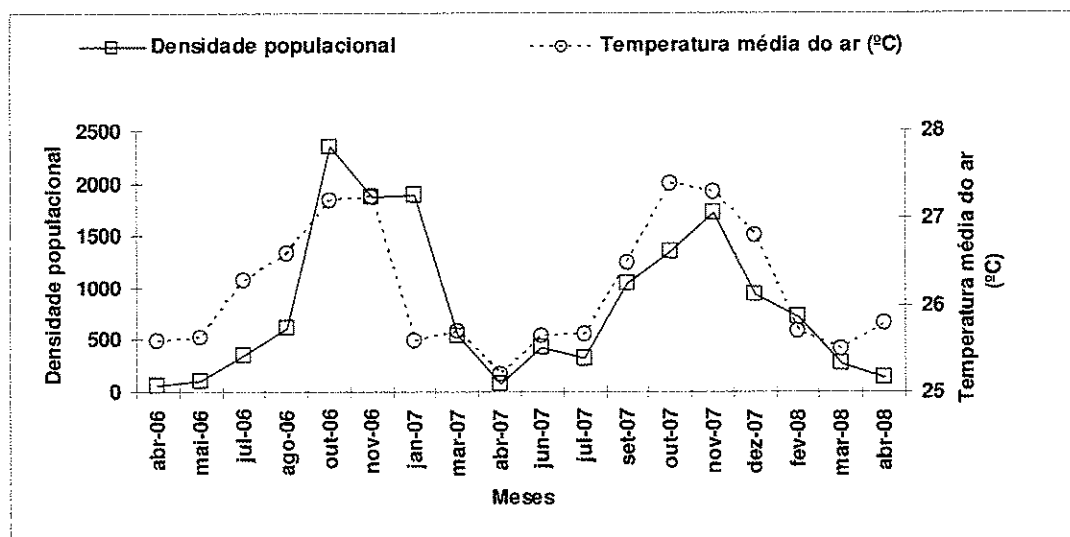


Figura 16 - Relação entre a temperatura média do ar e a densidade populacional de *A. woglumi*, no nordeste do Estado do Pará.

2.5.2.4 Umidade do Ar

A umidade específica do ar apresentou relação inversa com a densidade populacional. O comportamento assemelhou-se ao da precipitação. Nos meses de outubro e novembro, de menores disponibilidades hídricas na atmosfera, a densidade populacional superou os 2.000 indivíduos (Figura 17).

Nos meses de março e abril, com altas umidades específicas, oscilando em torno de 15 g/kg, a densidade populacional caiu para 60 indivíduos.

Optou-se pela umidade específica, devido essa variável expressar a real quantidade de vapor de água, disponível para os processos biológicos.

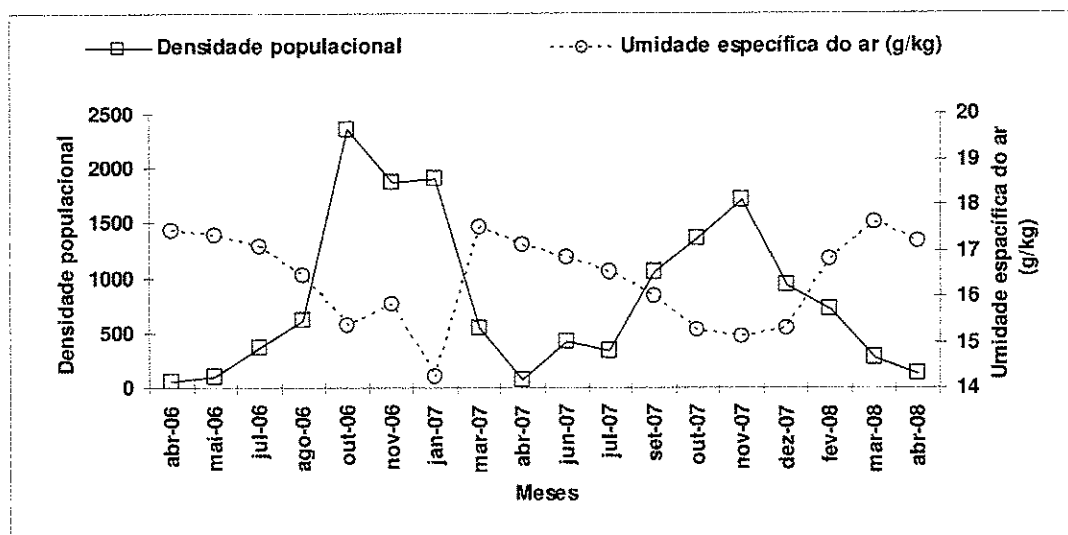


Figura 17 - Relação entre a umidade específica do ar e a densidade populacional de *A. woglumi*, no nordeste do Estado do Pará.

2.5.3 Ecoclimatologia de *a. Woglumi* no estado do Pará

Através da climatologia de temperatura, conforme descrito no item 4.5 da metodologia, foram extrapoladas as informações de exigências térmicas observadas, e realizada a ecoclimatologia da *A. woglumi*, na região de estudo (Figura 18).

No caso específico da *A. woglumi*, no Estado do Pará, foram identificadas três áreas distintas, para a instalação, desenvolvimento e expansão da espécie.

A maior área de abrangência, potencialmente capaz de desenvolver até 17 gerações anuais, ocupa mais de 1.000 pontos no mapa do estado, o que representa uma área de aproximadamente 750.891,92 km², espacialmente distribuída desde o nordeste paraense, passando pelo sudeste e parte central do estado, chegando até o extremo sudoeste, nos municípios de Jacareacanga e Novo progresso. Uma outra área semelhante a essa, localiza-se na região central dos municípios de Almeirim, Alenquer, Óbidos, Oriximiná e Faro, na região do Baixo Amazonas.

A área ecoclimática, de abrangência intermediária, é a de maior eficiência de produção, de até 18 gerações do inseto estudado, e ocupa aproximadamente 257.397,692 km². Essa área se divide em três regiões do estado. A primeira no norte do Marajó, a segunda, de forma circular, no sul do municípios de Mojú, Tailândia,

Tomé Açu, Paragominas, a totalidade de Goianésia do Pará, Breu Branco, Tucuruí e Baião.

Os menores índices ecoclimáticos, com intervalos variando de 15 a 16 gerações, foram observados nos extremos, das regiões Sudeste e Baixo Amazonas, com uma representatividade de 142.598,713 km².

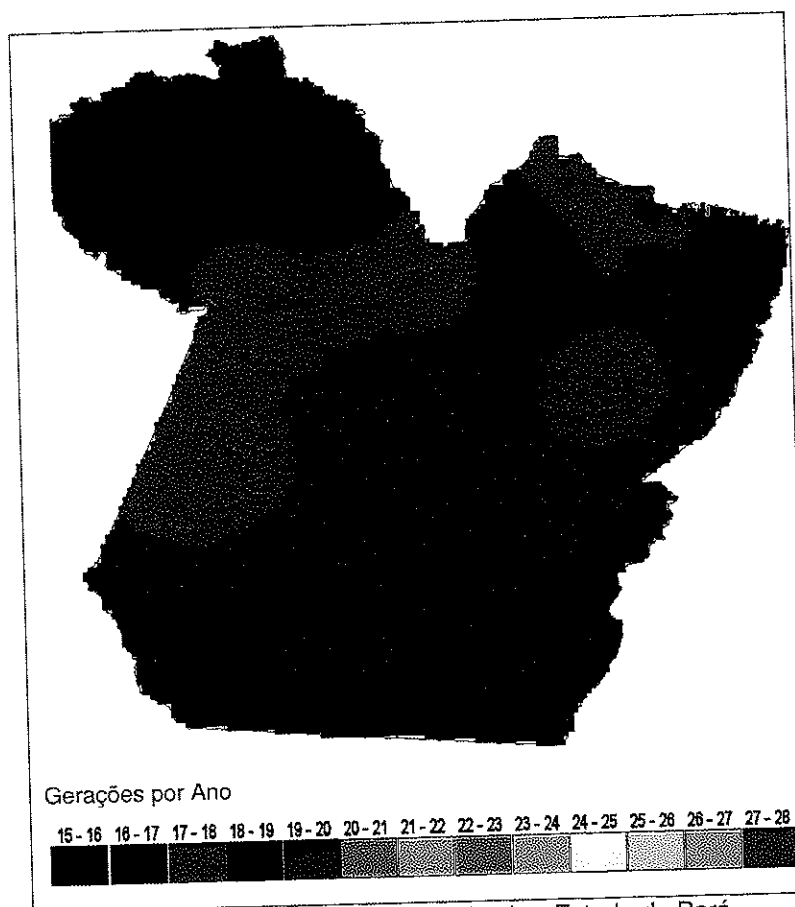


Figura 18 - Ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará.

2.5.3.1 Dinâmica ecoclimática de *A. Woglumi* no estado do Pará

A dinâmica ecoclimática expressa a variação temporal e espacial, interanual, da ecoclimatologia descrita no item anterior. Essa dinâmica foi analisada a partir dos primeiros registros no estado, do inseto estudado, ou seja, no ano de 2001.

Foi observado que em todos os anos estudados, grandes áreas com maiores índices favoráveis ao desenvolvimento, com maiores números de gerações anuais, desenvolveram-se em regiões de fronteira com o Estado do Maranhão. Tal

observação pode ter resultado na migração desse inseto, do Pará para o estado vizinho, nos anos seguintes ao de ocorrência no Pará.

Em 2001 (Figura 19), a maior parte do estado foi favorável ao desenvolvimento de até 18 gerações, entretanto, as áreas mais favoráveis para esse desenvolvimento localizaram-se no norte da região nordeste e partes central e norte da região sudeste do Pará. Nessas regiões citadas, o número de gerações chegou a 20. Na região de Santarém ocorreu uma área de baixo potencial, com aproximadamente 16 gerações.

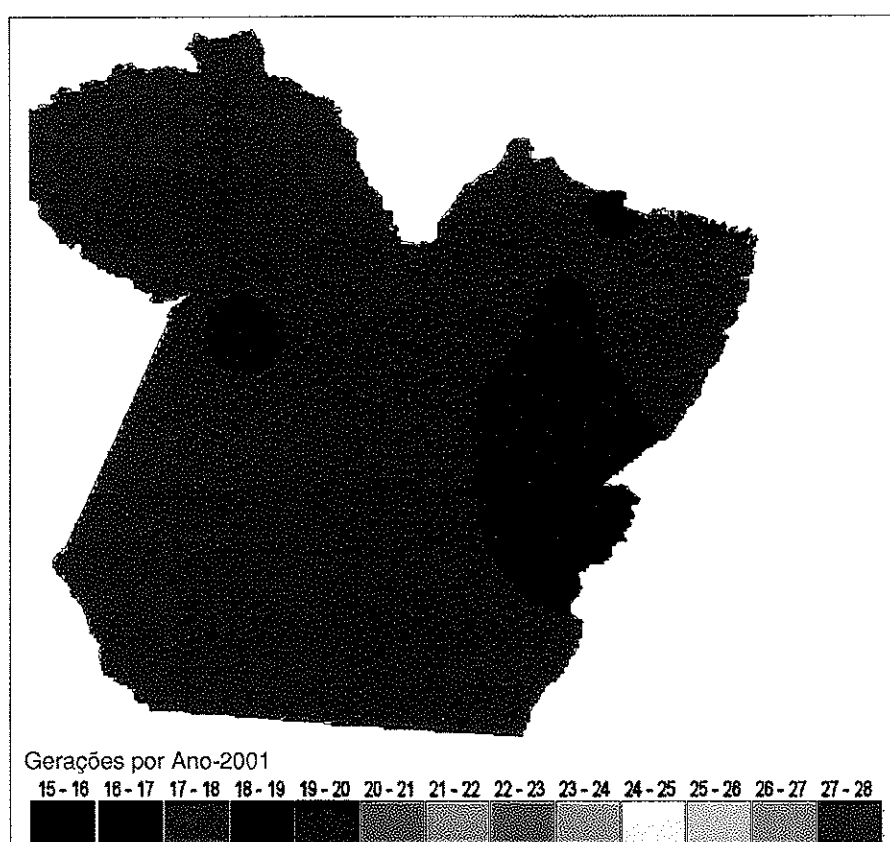


Figura 19 - Variação espacial da ecoclimatologia de *a. Woglumi* no Estado do Pará no ano de 2001.

No ano de 2002, a área de alto potencial de geração, de fronteira com o Maranhão, se expandiu, a partir do extremo norte do Marajó, e ocupou a totalidade do sudeste do estado. Com essas mesmas características, surgiu uma pequena área no leste do Marajó e região Metropolitana de Belém. A área de baixa intensidade ecoclimática, em torno de Santarém se desintensificou (Figura 20).

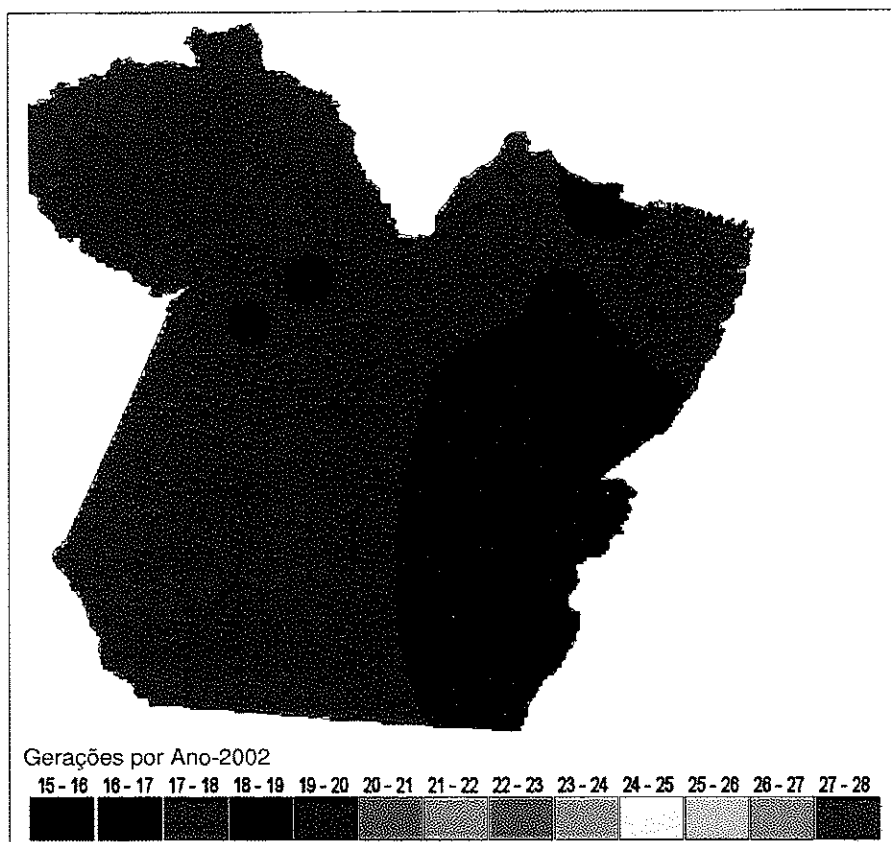


Figura 20 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2002.

As características semelhantes as do ano anterior, foram também observadas em 2003 (Figura 21). Porém, as áreas semelhantes citadas como sendo as de maiores potencias para o desenvolvimento do inseto se uniram, formando dessa uma longa faixa que vai desde o norte do Marajó até o extremo sudeste, excetuando dessas características apenas o nordeste do estado e parte centro norte do município de Paragominas. As mesmas condições foram observadas em 2004 (Figura 22).

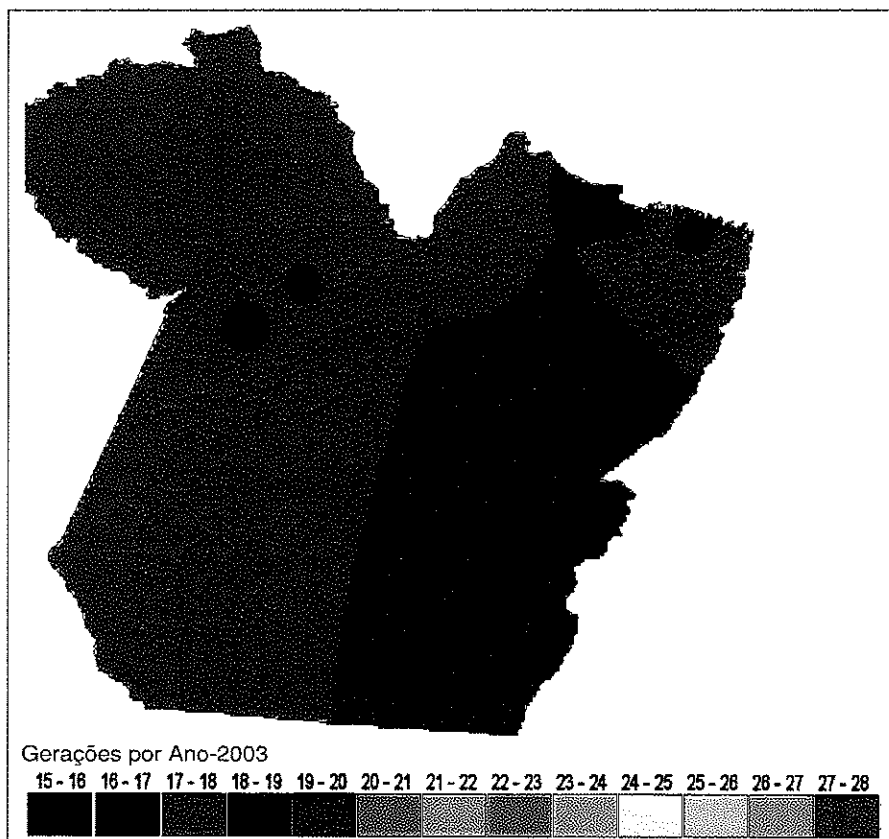


Figura 21 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2003.

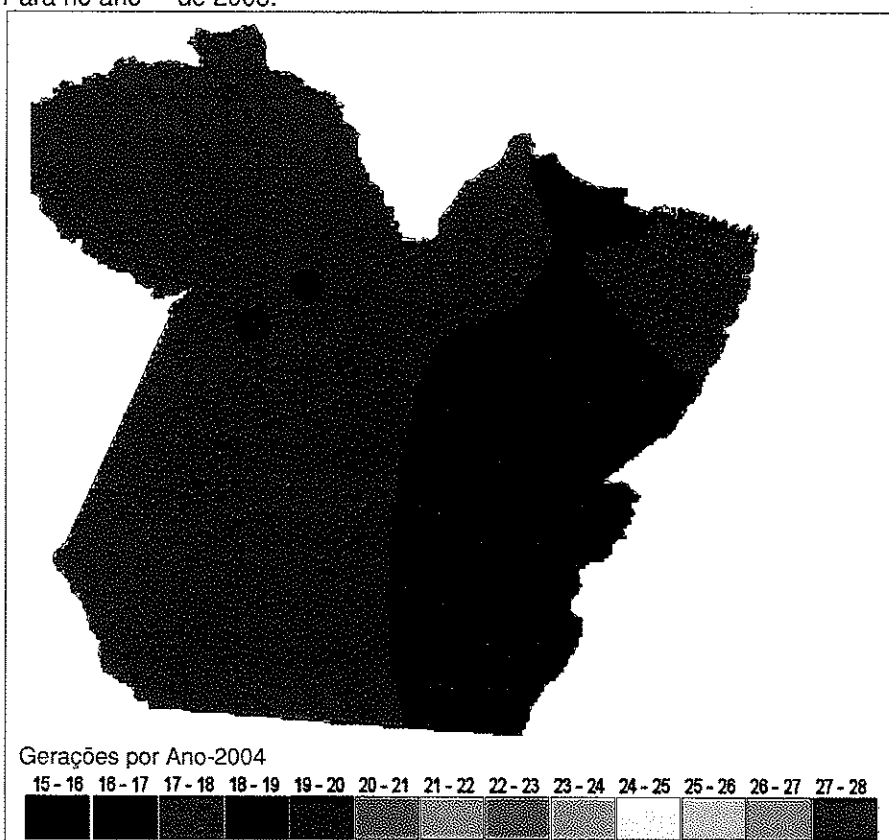


Figura 22 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2004.

O ano mais atípico, no que se referem às variações espaciais, foi observado em 2005 (Figura 23). Nesse ano surgiu uma faixa com potencial de desenvolver até 20 gerações de *A. woglumi*, localizada ainda em uma faixa de fronteira com o Maranhão. Os valores intermediários de gerações do inseto ficaram concentradas na grande totalidade do estado, com cerca de 19 gerações no ano citado. Os valores de 18 gerações, que ficavam concentrados na grande parte oeste do estado, diminuíram para uma área que abraçou a região de Santarém, o centro-sul dos municípios de Oriximiná, Alenquer e Óbidos; totalidade de Faro, Trairão, Rurópolis, Placas, Uruará, Belterra e Juriti, além da região nordeste do estado.

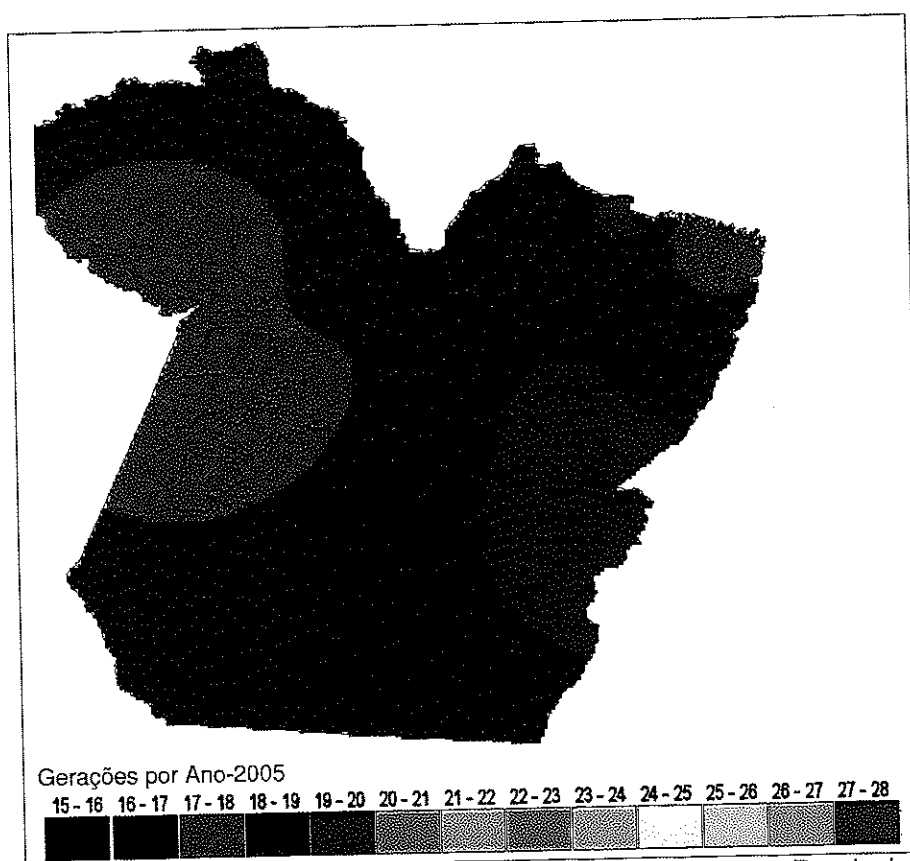


Figura 23 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2005.

Em 2006 (Figura 24), os padrões espaciais observados nos anos anteriores ao de 2005, se restabeleceram, com exceção de uma pequena área circular localizada na interseção dos municípios de Marabá, Itupiranga, Bom Jesus do Tocantins e São Domingos do Araguaia, com índices ecoclimáticos disponíveis para produzir, em torno de 19 gerações.

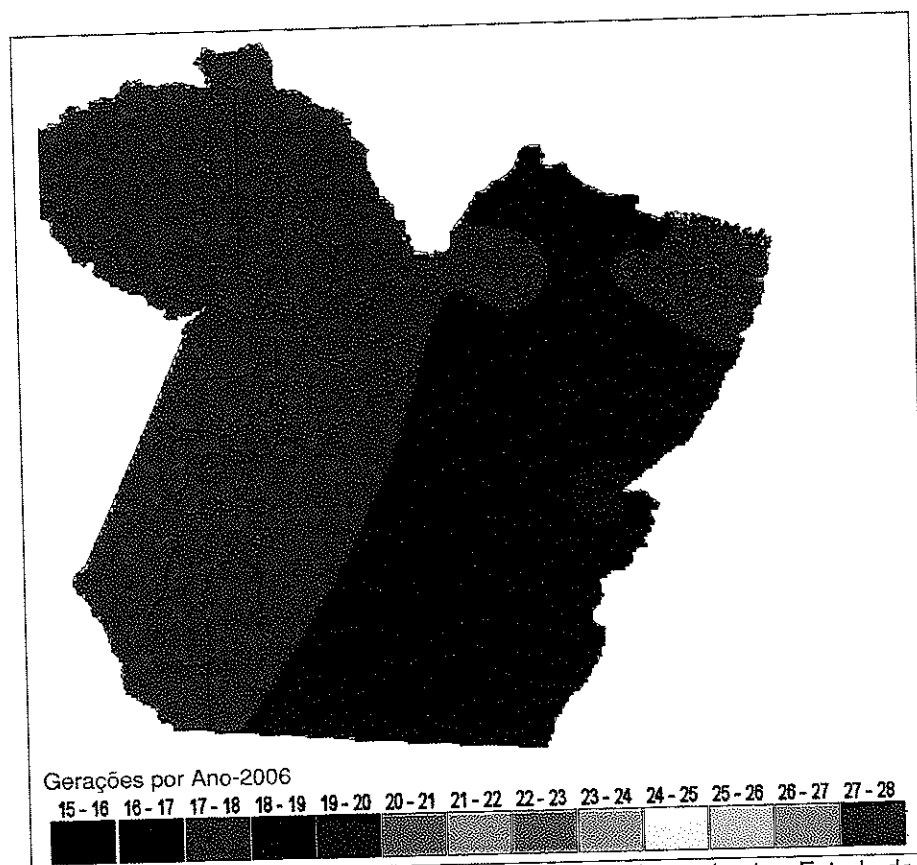


Figura 24 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2006.

No último ano (Figura 25) estudado, essa área de maior índice ecoclimático atingiu a fronteira do estado do Maranhão e expandiu-se desde Tucuruí até El Dourado dos Carajás.

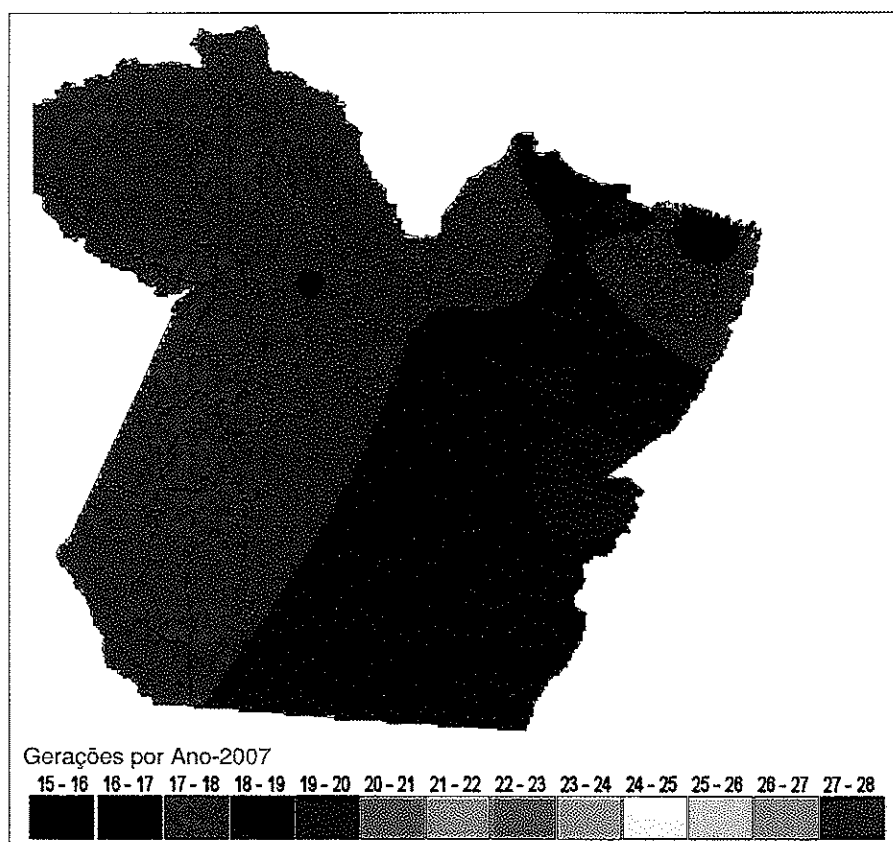


Figura 25 - Variação espacial da ecoclimatologia de *A. woglumi* no Estado do Pará no ano de 2007.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ecoclimatologia é uma importante ferramenta, capaz de diagnosticar áreas com maiores e menores potenciais, para o desenvolvimento de um determinado inseto, além de, indiretamente, evidenciar a instalação e expansão de uma espécie nas regiões em análise.

Climatologicamente, o Estado do Pará, em termos gerais, possui potencial para o desenvolvimento de 17 a 18 gerações, a cada ano, com ciclos médios de 20 dias.

Uma provável explicação para a mudança nos padrões ecoclimáticos do Estado do Pará, é a influência da temperatura da superfície do Oceano Atlântico. No ano de 2005, a média das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) atingiu 0,92 °C, na região do Atlântico Norte (Anexo A).

Em outras regiões do Atlântico, não ocorreu grandes variações nos valores da anomalia de TSM. Não foi observada influência nas anomalias do Oceano Pacífico, no estado, nos anos estudados.

Analiticamente, o leste do Estado do Maranhão constitui uma área ecoclimática homogênea ao sudeste do Estado do Pará, em anos normais de TSM do Atlântico. Tal situação, naturalmente, contribuirá com os processos de infestação, nas regiões de fronteira e migração para o estado vizinho.

REFERÊNCIAS

- AMBROSANO, G. M. B.; STMAC, J. L.; SILVEIRA NETO, S.; IGUE, T.; NAGA, V. Modelo matemático para simulação do controle biológico da broca-da-cana com o parasitóide *Trichogramma galloi*: modelos conceituais. **Bragantia**, Campinas, v.55, n.2, p.371-382, 1996.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [S. l.], v.74, p.430-445, 1959.
- ANGELES, N.; OAKLEY, R.; OSORIO, J. O. Presencia em Venezuela de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Aleyrodidae: Homoptera) mosca prieta de los cítricos. **Agronomia Tropical**, v. 18, n. 4, p. 487- 488, 1968.
- BASSANEZI, R. B.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; GIMENES-FERNANDES, N.; GOTTWALD, T. R.; BOVÉ, J. M. Spatial and temporal analyses of citrus sudden death as a tool to generate hypotheses concerning its etiology. **Phytopathology**, v. 93, n. 4, p. 502-512, abr. 2003.
- BERGMAN, M. K.; TURPIN, F. T. Phenology of field populations of corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae) relative to calendar date and heat units. **Environmental Entomology**, v.15, n.01, p.109-112, fev. 1986.
- BERNAL, J.; GONZALES, D. Experimental assessment of a degree-day model for predicting the Development of parasites in the field. **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v.116, p.459-466, 1993.
- BERRYMAN, A. A. On the principles of population dynamics and theoretical models. **American Entomologist**, Lanham, v.43, n.4, p.147-151, 1997.
- BRYANT, S. R.; THOMAS, C. D.; BALE, J. F. Nettle-feeding nymphalid butterflies: temperature, development and distribution. **Ecological Entomology**, Canadá, v. 22, n. 4, p. 390-398, 1997.
- CIVIDANES, F. J. **Uso de graus-dia em entomologia com particular referência ao controle de percevejos pragas da soja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 31 p.
- _____; PARRA J. R. P. Zoneamento ecologico de *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildinii* (West.) e *Euschistus heros* (Fabr.) (Heteroptera: Pentatomidae) em quatro estados produtores de soja do Brasil. In: SOCIEDADE ENTOMOLÓGICA DO BRASIL, 23. , 1994, Londrina. **Anais...** Londrina, 1994. p. 219-226.
- _____. **Uso de graus-dia em entomologia com particular referência ao controle de percevejos pragas da soja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 31 p.
- CIVIDANES, F. J.; FIGUEIREDO, J. G. Previsão de ocorrência de picos populacionais de percevejos-pragas da soja em condições de campo. In: SOCIEDADE ENTOMOLÓGICA DO BRASIL, 03., 1997, Londrina. **Anais...** Londrina, dez. 1997, v.26, p.517- 525.

COLLINS, C. M., LEATHER S. R. Effect of Temperature on fecundity and development of the Giant Willow Aphid, *Tuberolachnus salignus* (Sternorrhyncha:Aphididae). **European Journal of Entomology**, v.98, p. 177-182, 2001.

CREMA, A.; CASTELO BRANCO, M. Impacto da temperatura e fotoperíodo no desenvolvimento ovariano e oviposição de traça-das-crucíferas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.305-308, 2004.

CUNHA, Milton. Leite Alves da. Distribuição geográfica, aspectos biológicos e controle químico da mosca negra dos citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae), nas condições ambientais do Estado do Pará. 2003, 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2003.

DAVIS, P. M.; BRENES, N.; ALLEE, L. L. Temperature dependent models to predict regional differences in corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) phenology. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 25, n. 4, p. 767- 775, 1996.

DOWELL, R. V.; FITZPATRICK, G. E.; HOWARD, F. W. Activity and dispersal of first instar larvae of the citrus blackfly. **J. N.Y. Entomologic Society**, v. 85, p.17-18, 1978.

_____; CHERRY, R. H.; FITZPATRICK, G. E.; REINERT, J. A.; KNAPP, J. L. Biology, plant-insect relations, and control of citrus blackfly. **Florida Agricultural Experiment Station Bulletin**, Flórida, v. 818, p.1 – 48, 1981.

ELLIOTT, N. C.; JACKSON, J. J.; GUSTIN, R. D. Predicting western corn rootworm beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence from the soil using soil and/or air temperature. **Canadian Entomologist**, Ottawa, v.122, p.1079-1091, 1990.

FAN, Y.; GRODEN, E.; DRUMOND, F. A. Temperaturedependent development of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) under constant and variable temperatures. **Journal of Economic Entomology**, Lanham. v. 85, n.5, p.1762-1770, 1992.

PERES FILHO, Otávio; BERTI FILHO, Evoneo. Exigências térmicas de *Thyrineina arnobia* (Stoll, 1782) e efeitos da temperatura na sua biologia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 143-151, dez. 2003.

FNP. **Consultoria & AgroInformativos**. Disponível em:<<http://www.informa econ-fnp.com>>. Acesso em: 22 mar. 2009.

GALLO, D. ; NAKANO, O.;SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C. de ; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. de. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo: CERES, 1988. 649p.

GASPAROTTO, L.; ZAMBOLIM, L.; RIBEIRO DO VALE, F. X. ; MAFFIA, L. A.; JUNQUEIRA, N. T. V. Epidemiologia do mal – das - folhas da seringueira: I – Ponte Nova – MG. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 65-70, 1989.

GATEHOUSE, A. G. Insect migration: variability and success in a capricious environment. **Research on Population Ecology**, v. 36, p.165-171, 1994.

HADDAD, M. L.; PARRA, J. R. P. **Método para estimar os limites térmicos e a faixa ótima de desenvolvimento das diferentes fases do ciclo evolutivo de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1984. 12 p. (Série Agricultura e Desenvolvimento).

HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W. Integrated pest management. In: Subramanyam, B.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated management of insects in stored products**. New York: M. Dekker, 1996. p. 399-409.

_____; _____.; HOWARD, R. W. Ecology. In: Subramanyam, B.; Hagstrum, D.W. (Ed.) **Integrated management of insects in stored products**. New York: M. Dekker, 1996. p. 71-134.

HARDY, R. N. **Temperatura e vida animal**. São Paulo: E. P. U., 1981. 91p.

HESS, G. R. To analyze, or to simulate, is that the question?. **American Entomologist**, Lanham, v. 42, n.4, p.14 -16, 1996.

HEU, R. A.; NAGAMINE, W. T. Citrus Blackfly *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Homoptera: Aleyrodidae). **New Pest Advisory**, v. 99, p.1 – 3, 2001.

HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P.; OSTLIE, K. R. Degday: a program for calculating degree-days, and assumption behind the degree-day approach. **Environmental Entomology**, Lanham, v.15, n.5, p.999-1016, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp>> Acesso em: 01 fev. 2010.

JOHNSON, C. G. Migration and dispersal of insects by flight. **Methuen**, London, 763p. 1969.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 1991. p.1-132.

LEMOES, R. N. S. de.; SILVA, G. S. da; ARAUJO, J.R.G.; CHAGAS, E. F. das ; MOREIRA, A. A.; SOARES, A. T. M. Ocorrência de *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera:Aleyrodidae) no Maranhão. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n.4, p. 558 – 559, 2006.

LEVINE, E.; OLOUMI-SADEGHI, H.; ELLIS, C. R. Thermal requirements, hatching patterns, and prolonged diapause in western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) eggs. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 85, n. 6, p. 2425-2432, 1992.

MAIA, W. J. M. S. Mosca negra de los cítricos: aspectos biológicos de la mosca de los citrus, *Aleurocanthus woglumi* Ashby 1913, y ocurrencia de enemigos naturales en el Estad de Pará. **IOBCSRNT Boletín**, Universidad Federal Rural da Amazônia, Belém, p.17-18. 2006.

_____. Biologia da mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi*) em laranjeira, bananeira prata, maçã, branca e ynhangaby. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória, 2008. **Anais...** Vitória, 2008. 36p.

_____. **Aspectos biológicos, danos de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) em milho e controle biológico com *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae).** 2003, 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MARTÍNEZ, N. B, ANGELES N. Contribución al conocimiento de la biologia de la mosca prieta de los cítricos *Aleurocanthus woglumi* Ashby em Venezuela. **Agronomia Tropical**, v. 23, p. 401-406, 1973.

MASCHIO, F. A mosca negra dos citros. In: **Informativo Fundecitros**. Disponível em: <<http://www.fundecitros.com.br>>. Acesso em: 07 jun. 2009.

MEYER, S. J.; PETERSON, R. K. W. Predicting movement of stalk borer (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in corn. **Crop Protection**, Surrey, v. 17, n. 7, p.609-612, 1998.

MILANEZ, J. M. **Técnicas de criação e bioecologia de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera:Chrysomelidae).** 1995. 102f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

NARANJO, S. E.; SAWYER, A. J. A. Temperature and age dependent simulation model of reproduction for the northern corn rootworm, *Diabrotica barberi* Smith and Lawrence (Coleoptera: Chrysomelidae). **Canadian Entomologist**, Ottawa, v.120, p.1-17. 1988.

NEWELL, W.; BROWN, A. C. Eradication of the citrus blackfly in Key West, Fla. **Journal Economic Entomology**, v. 32, p. 680 – 682, 1939.

_____; HAMON, A. B. **Citrus Blackfly, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Homoptera: Aleyrodidae).** Flórida: University of Florida. 2003. 360 p.

_____; _____. FASULO, T. R. Citrus **Blackfly, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae).** Florida: University of Florida, p. 1 – 5, 1998. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 11 jun. 2009.

NORTON, G. A.; HOLT, J.; MUMFORD, J. D. Decision analysis techniques. In: NORTON, G. A.; MMFORD, J. D. (Ed.). **Decision tools for pest management**, New York: **CAB International**, 1993. p. 43-65.

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B.; BORGES, R. de SÁ; NAKASU, B. H. **Mudas de citros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 32p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1981. 440p.

PARRA, J. R. P. **Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepdoptera-Lyonetiidae), visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo**. 1981. 96 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1981.

PEIXOTO, M. S. **Sistemas Dinâmicos e Controladores Fuzzy: um Estudo da Dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo**. 2005. 136f. (Doutorado em Matemática) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PENA, M. R.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L.; SILVA, N. M.; YAMAMOTO, P. T.; GONÇALVES, M. S. Ocorrência da mosca-negra-dos-citros, *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera:Aleyrodidae) no Estado de São Paulo. **Revista de Agricultura**, São Paulo, v. 83, p. 61 – 65, 2008.

PENA, M. R.; SILVA, N. M. Sugadora negra. In: **Revista Cultivar - Hortaliças e Frutas**, Pelotas, ano 7, n. 41, 2007. p.16-18.

PETERSON, R. K. D.; MEYER, S. J. Relating degree-day accumulations to calendar dates: alfalfa weevil (Coleoptera: Curculionidae) egg hatch in the North Central United States. **Environmental Entomology**, Lanham, v.24, n. 6, p.1404-1407, 1995.

RO, T. H.; LONG, G. E.; TOBA, H. H. Predicting phenology of green peach aphid (Homoptera: Aphididae) using degree-days. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 27, n. 2, p. 337-343, 1998.

ROSSATO, V. **Ocorrência de Parasitóides de *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) e seu parasitismo por *Cales noacki* Howard, 1907 (Hymenoptera: Aphelinidae) nos municípios de Belém, Capitão Poço e Irituia no Estado do Pará**. 2007. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

RUEDA, L. M.; AXTELL, R. C. Temperature-dependent development and survival of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. **Med. Veterin. Entomology**, v 1: p. 80-86. 1996.

RUPPEL, R. F.; RUSSELL, H. L.; JENNINGS, S. J. Indices for projecting emergence corn rootworm adults in Michigan. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 71, n. 6, p. 947-949, 1978.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO O. D. B. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 419p.

SMERAGE, G. H. Representation of development in insect populationmodels. In: GOODENOUGH, J. L.; MCKNION, J. M. (Ed.). **Basics of Insect Modeling**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p.107-134.

SMITH, H. D.; MALTBY, H. L.; JIMENEZ, E. J. Biological control of the citrus blackfly in Mexico: USDA-ARS. **Technical Bulletin**, v. 1311, p.1 - 30, 1964.

SOUTHWOOD, T. R. E. Habitat, the templet for ecological strategies. **Journal of Animal Ecology**, v.46, p.337-365. 1997.

SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D. W. **Integrated management of insects in stored products**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.399-409

TAYLOR, F. Ecology and evolution of physiological time in insects. **Am. Nat.**, v. 117, p. 1-23. 1981.

TRURDGILL, D. L. Why do tropical poikilothermic organisms tend to have higher threshold temperature for development than temperate ones? **Func. Ecol.**, v. 9, p. 136 -137, 1995.

TURLEY, M.; GRANETT, J.; OMER, A. D.; DE BENEDICTIS, J. A. Grape phylloxera (Homoptera: Phylloxeridae) temperature threshold for establishment of feeding sites and degree-day calculations. **Environmental Entomology**, Lanham, v.25, n.4, p. 842-847, 1996.

WATSON, D. F.; PHILIP, G. M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. **Geo-Processing**, v. 2, p. 315-327, 1985.

WILSON, L. T.; BARNETT, W. W. Degree-days and pest management. **California Agriculture**, v 37, p. 4 -7. 1983.

WILSSON, K.; GATEHOUSE, A. G. Seasonal and geographical variation in the migratory potential of outbreak populations of the African armyworm moth, *Spodoptera exempta*. **Journal of Animal Ecology**, v. 62, p.169-181, 1993.

WOODSON, W. D.; EDELSON, J. V. Developmental rate as a function of temperature in a carrot weevil, *Listronotus texanus* (Coleoptera: Curculionidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park. v. 81, n. 2, p.252-254. 1988.

3 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A ECOCLIMATOLOGIA DE *Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae)

3.1 INTRODUÇÃO

As previsões dos impactos biológicos, como consequência das alterações climáticas antropogênicas, assim como as magnitudes atuais desses efeitos, tem feito ressurgir o interesse nos fatores que determinam a abundância e a distribuição de plantas e animais (KERR; KHAROUBA; CURRIE, 2007; THOMAS et al., 2004; THUILLER et al., 2005; WALTHER et al., 2002; WILSON et al., 2005).

A distribuição de espécies é determinada por uma série de fatores, incluindo principalmente o clima, seguindo da cobertura vegetal e as interações bióticas (HEIKKINEN et al., 2007) que atuam em diferentes escalas e podem manter interações complexas. Assim, enquanto algumas variáveis ambientais como umidade, podem determinar a ocorrência de uma espécie em uma porção do habitat, os padrões de distribuição em largas escalas podem ser afetados por condições climáticas mais amplas, tal como a variação das temperaturas, e por processos de dispersão e restrições impostas pela história evolutiva da espécie (SOBERON, 2007).

Observações e previsões sobre as alterações climáticas, apontam que na última análise, os efeitos diretos e indiretos sobre a fisiologia, ecologia e adaptações desses organismos (HICKLING et al., 2006; HUGHES, 2000; MCLAUGHLIN et al., 2002; MUSOLIN, 2007; PARMESAN; YOHE, 2003).

A literatura possui vasta informação sobre a influência da temperatura, como sendo o principal fator determinante da atividade metabólica (GILLOOLY et al., 2001; GILLOOLY et al., 2002; GILLOOLY; DODSON 2000) e histórias de vida das espécies (HODKINSON et al., 1999; WILLOTT; HASSALL, 1998), assim como os limites e alcance geográfico de diversos organismos com as condições climáticas de seus locais de ocorrência (CAUGHLEY et al., 1987; GHALAMBOR, et al., 2006; IVERSEN, 1994; ROBINSON et al., 1997; ROOT, 1988).

Nos insetos, às mudanças climáticas são bastante susceptíveis, uma vez que a maior parte das espécies são ectotérmicas, isto é, cuja fonte de calor corporal provém fundamentalmente do meio exterior. (BALE et al., 2008).

Dependendo do impacto das mudanças climáticas sobre a fisiologia das espécies ou da população em questão, Fields et al. (1993), subdivide o resultado dessas mudanças em três categorias:

- a) Se as alterações ambientais são suficientemente pequenas, os organismos podem não ser afetados por essas condições. Um certo número de insetos são capazes de ajustar suas habilidades fisiológicas (incluindo os limites térmicos), após um período de aclimação (BALE et al., 2000; KLOK; CHOWN, 2003; SLABBER et al., 2007; TERBLANCHE et al., 2005; WORLAND; CONVEY, 2001), oferecendo condições de alterar uma ampla faixa de tolerância térmica. Por isso, é importante levar em conta qualquer aclimação potencial em estudos relacionados a tolerância térmica (CALOSI et al., 2008);
- b) Se as condições ambientais extrapolarem o limite de alguns indivíduos, mas não a totalidade da população, é possível que a seleção natural favoreça alguns genótipos já presentes na população. Neste cenário, as espécies podem ter sua abundância inalterada, mas as frequências alélicas, que descrevem as diversidades genéticas ao nível do indivíduo, população ou espécie, podem variar (HILBISH, 1985; KIRBY et al., 1997);
- c) E por último, se as alterações ultrapassam os limites de toda a espécie ou população, todos os organismos da população irão morrer ou emigrar e alterar sua distribuição geográfica (HOLT, 1990). Sob a hipótese de que o clima e, em particular, a temperatura, define a distribuição geográfica de espécies, está implícita a idéia de que as alterações climáticas podem alterar significativamente os ecossistemas naturais (HELMUTH; KINGSOLVER; CARRINGTON, 2005).

Portanto, compreender os mecanismos pelos quais os fatores abióticos do ambiente afetam a dinâmica de uma população é necessário para desenvolver modelos de distribuição, mais próximos da realidade, em particular aqueles que utilizam informações bioclimáticas para definir limites críticos de preferência e adaptação animal (HELMUTH; KINGSOLVER; CARRINGTON, 2005).

Nesse contexto, a predição da dinâmica populacional de insetos, torna-se necessário para determinar sua distribuição espacial juntamente com a sua prevalência sazonal (KASUGA; AMANO, 2005).

3.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente capítulo é a síntese da bioclimatologia da *A. woglumi*, simulada pelo modelo global acoplado CCSM 3.0, no Estado do Pará.

3.1.1.1 Objetivos Específicos

- a) A análise da variação ecoclimática, nas escalas espaciais e temporais, da bioclimatologia da *A. woglumi*, no Estado do Pará, entre as décadas de 2030 e 2100, associada aos cenários do IPCC;
- b) A comparação entre os cenários de altas e baixas emissões, no número de gerações anual, em cada década estudada;

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Cenários e modelos de simulação de mudanças climáticas

3.2.2 Construção de cenários de mudanças climáticas

A geração de cenários de mudanças climáticas é o primeiro passo para representação de um futuro baseado no clima e na suposição do estado futuro da atmosférica e da incerteza do efeito do aumento da concentração de certos gases na atmosfera no clima global.

Existe um grande número de métodos para a construção de cenários de mudanças climáticas, entre eles o uso de informações de MCGs (IPCC-TGCI, 2007). Os cenários de mudanças climáticas obtidos dos MCGs são comumente utilizados, desde que esses estejam conforme alguns critérios propostos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) citados a seguir:

- **Consistência com as projeções globais:** os cenários apresentados devem ser consistentes com o intervalo de projeções de aquecimento global baseado no

aumento de concentrações de gases de efeito estufa. Este intervalo deve ser de 1,4 até 5,3°C para 2100 (INTERGOVERNMENTAL..., 2001);

- **Plausibilidade física:** os cenários não devem violar as leis básicas da física. Assim, significa que as mudanças em uma região devem ser consistentes não só com outras regiões e com o mundo, mas que as mudanças em uma variável devem ser fisicamente consistentes;
- **Aplicabilidade em avaliação de impacto:** os cenários devem descrever mudanças em número suficiente de variáveis climáticas em escala espacial e temporal que permita avaliação de impacto;
- **Representatividade:** os cenários devem ser representativos para o intervalo potencial de mudanças climática regional futura, para que cenários mais realísticos dos possíveis impactos sejam estimados;
- **Acessibilidade:** os cenários devem ser de fácil obtenção, interpretação e aplicação em avaliação de impactos.

Um cenário climático pode ser relacionado através da equação 9, segundo Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

$$CC = CA + CMC \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

CC é o cenário climático;

CA é o clima atual;

CMC é o cenário de mudança climática.

3.2.3 Modelo acoplado de circulação geral ccsm (climate change system model)

O modelo de circulação geral usado neste estudo é o NCAR - CCSM3 (National Center for Atmospheric Research Community Climate System Model) versão 3.0. A escolha desse modelo, para a realização do presente trabalho, deve-se a fato da melhor resolução espectral, conforme observado na Tabela 4. Um outro ponto favorável do modelo é de não requerer elevados níveis computacionais, de recursos de processamento e armazenamento.

O CCSM3 é a terceira geração de uma série de modelos acoplados desenvolvidos através de colaboração internacional. Na primeira geração de

Modelos Climáticos temos o CSM1 (Climate System Model) versão 1, que foi lançado em 1996 (BOVILLE; GENT, 1998). Este modelo deixou de ser usado a partir do momento que não havia ajuste do fluxo de troca entre as componentes físicas para simular estabilidade. A segunda geração foi constituída pelo CCSM2 (Community Climate System Model) versão 2, que foi lançado em 2002 (KIEHL; GENT, 2004). Importantes mudanças foram incorporadas nas parametrizações físicas dos processos climáticos, motivadas pela necessidade de diminuir os principais erros sistemáticos nas simulações anteriores. A comparação entre a resolução espacial do CCSM 3.0 e os outros modelos utilizados pelo IPCC estão listadas na Tabela 4. A Figura 26 ilustra a grade espacial, com os 156 pontos de simulação do modelo CCSM 3.0, no Estado do Pará, compreendidos entre as latitudes de 4º a -14º e longitude de -45º a -61º.

Tabela 4 - Modelos utilizados pelo IPCC.

MODELO-VERSÃO	INSTITUIÇÃO-PAÍS	RESOLUÇÃO
BCCR-BCM 2.0	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)	T42L31 (aprox. 2.8° lat/lon)
CCSM3.0	National Center for Atmospheric Research (USA)	T85L26 (aprox. 1.4° lat/lon)
CGCM3.1(T47)	Canadiar Centre for Climate Modelling & Analysis (Canada)	T47L31 (aprox. 3.75° lat/lon)
CNRM-CM3	Météo-France /Centre National de Recherches Météorologiques (France)	T42L45 (aprox. 2.8° lat/lon)
CSIRO-Mk3.0	Atmospheric Research (Australia)	T63L18 (aprox. 1.875° lat/lon)
CSIRO	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)	T42L31 (aprox. 2.8° lat/lon)
ECHAM5/MPI-OM	Meteorological Institute of the University of Bonn (Germany), Institute of KMA (Korea)	T30L19 (aprox. 3.75° lat/lon)
ECHO-G	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	2.° lat. x 2.5° lon., L24
GFDL-CM2.0	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	2.° lat. x 2.5° lon., L24
GFDL-CM2.1	NASA/Goddard Institute for Space Studies (USA)	4° lat x 5° lon., L15
GISS-ER	Institute for Numerical Mathematics (Russia)	5° lat. x 4° lon, L21
INM-CM3.0	Institut Pierre Simon Laplace (France)	2.5° lat x 3.75° lon., L19
IPSL-CM4.0	Center for Climate System Research (Univ. of Tokyo), National Institute For Environmental Studies, and Frontier Research Center For Global Change (Japan)	T42L20 (aprox. 2.8° lat/lon)
MIROC3.2(medres)		

MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute T42L21 (aprox. 2.8° lat/lon) (Japan)
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research /Met Office (UK) 2.5° lat. x 3.75° lon. L19

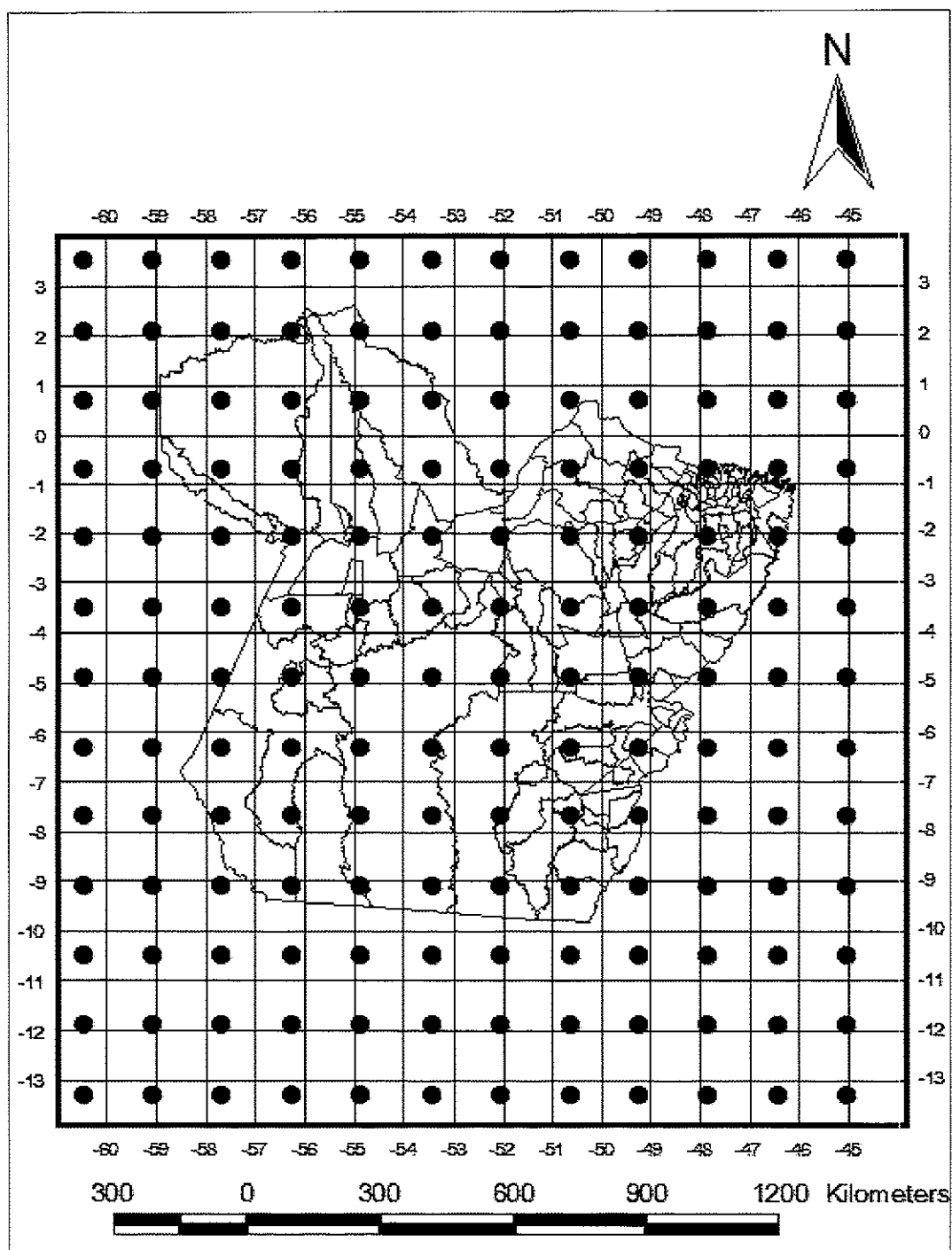


Figura 26 - Grande espacial do modelo CCSM 3.0 e respectivos pontos de simulação no Estado do Pará.

Desta forma, o CCSM2 produz melhores simulações da temperatura de superfície dos extra-trópicos, melhor variabilidade tropical e temperatura da superfície terrestre mais realista. Entretanto, várias deficiências importantes alertaram para a produção de um novo ciclo de desenvolvimento que resultou no CCSM3. O principal viés (bias) do modelo CCSM2 é incluir uma ITCZ dupla e uma piscina fria mais extensa; superestimar as temperaturas de superfície terrestre no inverno; subestimar as temperaturas da tropopausa tropical; erro na resposta das nuvens em relação as mudanças de TSM; conter erro no balanço de energia de superfície do Pacífico leste e simulação da variabilidade tropical subestimada. A nova versão 3, do modelo, reduziu ou eliminou algumas destas tendências.

O CCSM3 inclui a nova versão de todas as componentes do modelo: a componente atmosférica é a CAM versão 3 (COLLINS et al., 2004; COLLINS et al., 2006), a terrestre é a CLM versão 3 (OLESON et al., 2004; DICKINSON et al., 2006), a criosfera é a CSIM versão 5 (BRIEGLEB et al., 2005) e a componente oceânica é baseada no POP (Parallel Ocean Model) versão 1.4.3 (SMITH; GENT, 2002), cada componente é descrita a seguir.

3.2.3.1 Componente Atmosférica - Cam3

A componente atmosférica CAM3 (Component Atmosphere Model 3) (COLLINS et al., 2006) apresenta uma grade espectral com truncagem de T85 com resolução zonal de $1,4^\circ$ no equador e a dimensão vertical usa 26 níveis com uma coordenada terrestre híbrida, sendo o topo da camada superior em 2,9hPa. Esse modelo utiliza um esquema de integração temporal do tipo leap frog semi-implícito. As parametrizações turbulentas da camada limite são calculadas conforme descrito em Holtslag e Boville (1993).

Uma das mudanças da última versão do modelo atmosférico para o CCSM3 foi à inclusão no formalismo de radiação de céu claro dos gases tracos CH_4 , N_2O , CFC_{11} e CFC_{12} e das propriedades radiativas de duas bandas de CO_2 , localizadas em $9,4\mu\text{m}$ e $10,4\mu\text{m}$.

Nesta versão, a física de nuvens e os processos de precipitação foram modificados de maneira profunda (BOVILLE et al., 2006). Estas modificações incluem tratamentos separados para a fase líquida e sólida do processo de

condensação, advecção e sedimentação das nuvens condensadas. A precipitação líquida e congelada é tratada separadamente. O balanço radiativo recebeu novas parametrizações para a interação da radiação de onda longa e curta com vapor de água (COLLINS et al., 2006). As distribuições de sulfato, poeira, espécies de carbono e sal marinho são prescritas a partir de dados assimilados para calcular o efeito direto dos aerossóis na troposfera sobre os fluxos radiativos a taxas de aquecimento (COLLINS et al., 2006).

3.2.3.2 Componente Terrestre - Clm3

A CLM3 (Component Land Model 3) é integrada na mesma grade horizontal da atmosfera, além de cada grade ser dividida em hierarquias com unidades de terra, colunas de solo e tipos de plantas. Nesta nova versão do CLM são representadas até 10 camadas de solo abaixo da superfície (DICKINSON et al., 2006; ZENG, 2004).

Um dos objetivos principais no desenvolvimento dessa nova versão é reduzir o erro observado na simulação da temperatura do continente durante o inverno boreal. Na versão anterior, o coeficiente de transferência turbulenta entre o solo e o ar sobrejacente à copa das árvores era definido como um valor constante para vegetações densas. A nova formulação torna este coeficiente dependente da densidade da copa das árvores caracterizada pelos índices de folhas e áreas de caule (OLESON et al., 2004).

Este coeficiente de transferência é utilizado para obter as resistências aerodinâmicas para o calor e umidade que são utilizadas nos cálculos dos fluxos de calor sensível e latente. Sobre grandes áreas da Eurásia, esta alteração resultou em uma redução de 1,5 a 2K na temperatura da superfície do ar. Também foram adotados novos métodos para representar melhor o ciclo terrestre do carbono.

3.2.3.3 Componente Oceânica - Pop3

A componente oceânica é uma implementação realizada pelo NCAR do Parallel Ocean Program (POP3). O POP3 é um modelo de equações primitivas

tridimensionais em coordenadas esféricas, com coordenadas verticais Z (GENT et al., 2006).

Nesta simulação a grade adotada tem uma de resolução horizontal de 1. e 40 níveis verticais irregulares se estendendo da superfície até 5.400 metros. A grade horizontal tem 320 (zonal) x 384 (meridional) pontos, enquanto que o espaçamento entre os pontos é de 1,125° na direção zonal e na meridional a grade apresenta espaçamento irregular de 0,5, com maior resolução próximo ao equador.

Esta versão do modelo oceânico obteve diversas melhorias na sua formulação física e numérica, incluindo uma formulação mais eficiente para resolver a equação da continuidade barotrópica. Isto facilitou a utilização do modelo em um grande número de processadores. Outra implementação desta versão é a variação mensal e espacial da absorção de radiação solar na camada superior do oceano, baseada em dados observados de concentração da clorofila e cor da superfície do mar obtida por satélites (OHLMANN, 2004). A maior produtividade primária ocorre em regiões costeiras. No Equador se absorve mais insolação na superfície, enquanto que o oceano subtropical tem maior transmissividade.

3.2.3.4 Componente do Gelo do Mar - Csim5

Na mesma grade do modelo oceânico e acoplado o modelo Community Sea Ice Model (CSIM5) (BRIEGLEB et al., 2005). O CSIM5 inclui modificações na formulação da dinâmica de gelo, albedo de gelo do mar e trocas de sal entre o gelo do mar e o oceano. Esta componente apresenta formulações dinâmicas e termodinâmicas e inclui diferentes distribuições de espessura do gelo da mesma célula de grade (BITZ et al., 2001; LIPSCOMB, 2001). As equações de momento do gelo do mar foram modificadas para um regime de livre deriva. A dinâmica do gelo utiliza a teoria elástica-viscosa-plástica (EVP) de Hunke e Dukowicz (1997).

O esquema dinâmico resolve mais precisamente áreas de baixa concentração de gelo (HUNKE; DUKOWICZ, 2003).

3.2.3.5 O Acoplador - Flux Coupler

As componentes físicas do modelo CCSM 3.0 são ligadas através de um programa denominado Acoplador de Fluxos (AF), que é responsável pela interpolação entre as diferentes grades das componentes do modelo enquanto conserva as propriedades locais e globais (CRAIG et al., 2005; DRAKE; JONES; CARR, 2005).

A utilização do AF permite decompor o grande e complexo modelo climático em componentes. Separando as componentes atmosférica, oceânica, terrestre e de gelo do mar estas podem ser construídas, desenvolvidas e mantidas de forma independente e posteriormente acopladas para reproduzir as feições climáticas globais.

O AF é responsável por controlar a execução e evolução temporal de todo sistema. O AF acopla as diversas componentes do modelo, fornecendo fluxos nas fronteiras entre elas. Os campos atmosféricos são interpolados na grade do modelo oceânico. Os fluxos médios, calculados no modelo oceânico, são então interpolados para a grade do modelo atmosférico. Esse procedimento é muito importante porque o modelo oceânico possui maior resolução. O AF também conta com um esquema para integrar rios onde o excesso de água da atmosfera para a terra é instantaneamente distribuído sobre o oceano e geleiras.

A radiação solar incidente e a precipitação são ambas consideradas como fluxos de superfície, mas são calculadas inteiramente na atmosfera. Esses fluxos são passados para o AF e são interpolados para a grade de maior resolução de uma forma conservativa, onde antes são passados para oceano ou gelo. Alguns fluxos são computados pelas próprias componentes do modelo e enviados para o acoplador para a disseminação às outras componentes do modelo. Variáveis de estado somente são enviadas para o AF se for necessário que este faça cálculos do fluxo com estas variáveis.

3.2.3.6 Extrator de Variáveis Climáticas

A estimação bilinear de um ponto no interior de uma célula é dada em função da ponderação em relação da proximidade entre os pontos vizinhos e o ponto de interesse usando interpolação.

Considera-se uma célula da grade formada pelos pontos $Q_{11}(x_1, y_1)$, $Q_{12}(x_1, y_2)$, $Q_{21}(x_2, y_1)$ e $Q_{22}(x_2, y_2)$ e um ponto qualquer $P(x, y)$ no interior da célula (Figura 27).

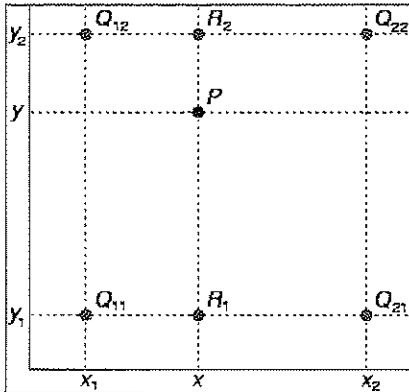


Figura 27- Sistema de integração e extração das variáveis do modelo.

O valor de interesse M no ponto P será função das ponderações $u=(x-x_1)$ e $v=(y-y_1)$:

$$M = f(u, v), (u, v) \text{ em } [0, 1] \quad \text{Equação 10}$$

Neste caso genérico, a interpolação sobre a célula em questão é realizada pela seguinte sequência:

- Interpola-se linearmente os pontos $R_1(x, y_1)$ e $R_2(x, y_2)$ a partir dos pontos Q_{11} e Q_{21} , e Q_{12} e Q_{22} , respectivamente:

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad \text{Equação 11}$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \quad \text{Equação 12}$$

- Interpola-se o ponto P linearmente a partir dos pontos $R_1(x, y_1)$ e $R_2(x, y_2)$:

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \quad \text{Equação 13}$$

3.2.3.7 Geradores de Séries de Tempo

Uma vez que os dados de qualquer variável climática são extraídos dos cenários de mudanças climáticas, esses representam então uma média diária em escala mensal, para representar a variabilidade dessa variável, em escala diária. Pode-se utilizar um gerador de séries de tempo para geração de várias séries com variáveis climáticas, inclusive as anomalias da precipitação nos diversos cenários de emissão de gás de efeito estufa.

Deste modo, um gerador de séries de tempo é calibrado a partir de dados das séries históricas diárias observadas e em seguida gera ilimitado número de séries em escala diária. No contexto de cenários de mudanças climáticas podem-se perturbar os parâmetros do modelo de geração das séries de tempo com as anomalias das saídas dos MCGs e gerar séries de dados climáticos (Figura 28) considerando as mudanças futuras no clima.

3.2.3.8 Níveis de Aplicação do Modelo

1 - Banco de dados onde serão armazenados e catalogados todos os arquivos que contém as variáveis climáticas advinda das saídas dos Modelos de Circulação Geral (MCG) utilizada pelo IPCC para elaboração do Quarto Relatório de mudança climática, além de provedores de dados Nacionais e Internacionais.

2 - Arquivos: arquivos com saídas de modelos atmosféricos de mudanças climáticas, dos quais serão extraídos as variáveis de interesse. Os nomes dos arquivos de mudanças climáticas seguem a seguinte sintaxe:

[model]_[scenario]_[ensemble-umber]_[variable]_[start-year]-[end-year].nc

3 - Informações do usuário

4 - Extrator de Variáveis Climáticas: com as informações passadas no item 3, um script será capaz de extrair a(s) variável(is) climática(s) do arquivo (formato netCDF) em formato ASCII.

5 - Variáveis climáticas: variáveis climáticas com projeções futuras. Estas variáveis armazenam dados das possíveis modificações do clima devido ao aquecimento global para um certo período e podem ser usadas como entrada no gerador de séries ou modelo de impacto.

6 - Anomalias das variáveis climáticas: arquivo de texto com os valores das anomalias de variáveis climáticas provenientes do item 4.

7 - Download (arquivos de anomalias): o usuário pode optar por baixar os arquivos com os valores de anomalias para seu computador para outros usos (ex. análise gráfica em excel) ou usar como dados de entrada em um modelo de geração de série de tempo.

8 - Número de séries: informar o tamanho das séries sintéticas desejadas (geralmente quantidade de anos) da variável climática.

9 - Cenário de referência: fornecer ao gerador de série, uma série de dados observados (cenário de referência) para os locais que se deseja perturbar com as anomalias extraídas.

10 - Geradores de séries sintéticas: é o modelo de geração de séries de tempo (weather generator - WG), que através de metodologias específicas para geração de cada variável climática, será responsável pela geração de uma quantidade de séries sintéticas definida pelo usuário no item 8.

11 - Séries sintéticas: são as diversas séries sintéticas em formato ASCII geradas no item 9, que poderão ser armazenadas no repositório ou baixadas para uma máquina local do usuário.

12 - Download (pacote de arquivos): o usuário pode baixar todas as séries sintéticas em um pacote de arquivos compactados ou as séries desejadas.

13 - Modelos de impacto: esses modelos receberão as séries sintéticas e poderá gerar possíveis cenários de impactos frente às mudanças climáticas globais.

A Figura 28 ilustra os níveis de aplicação dos modelos, conforme descrito nos itens anteriores.

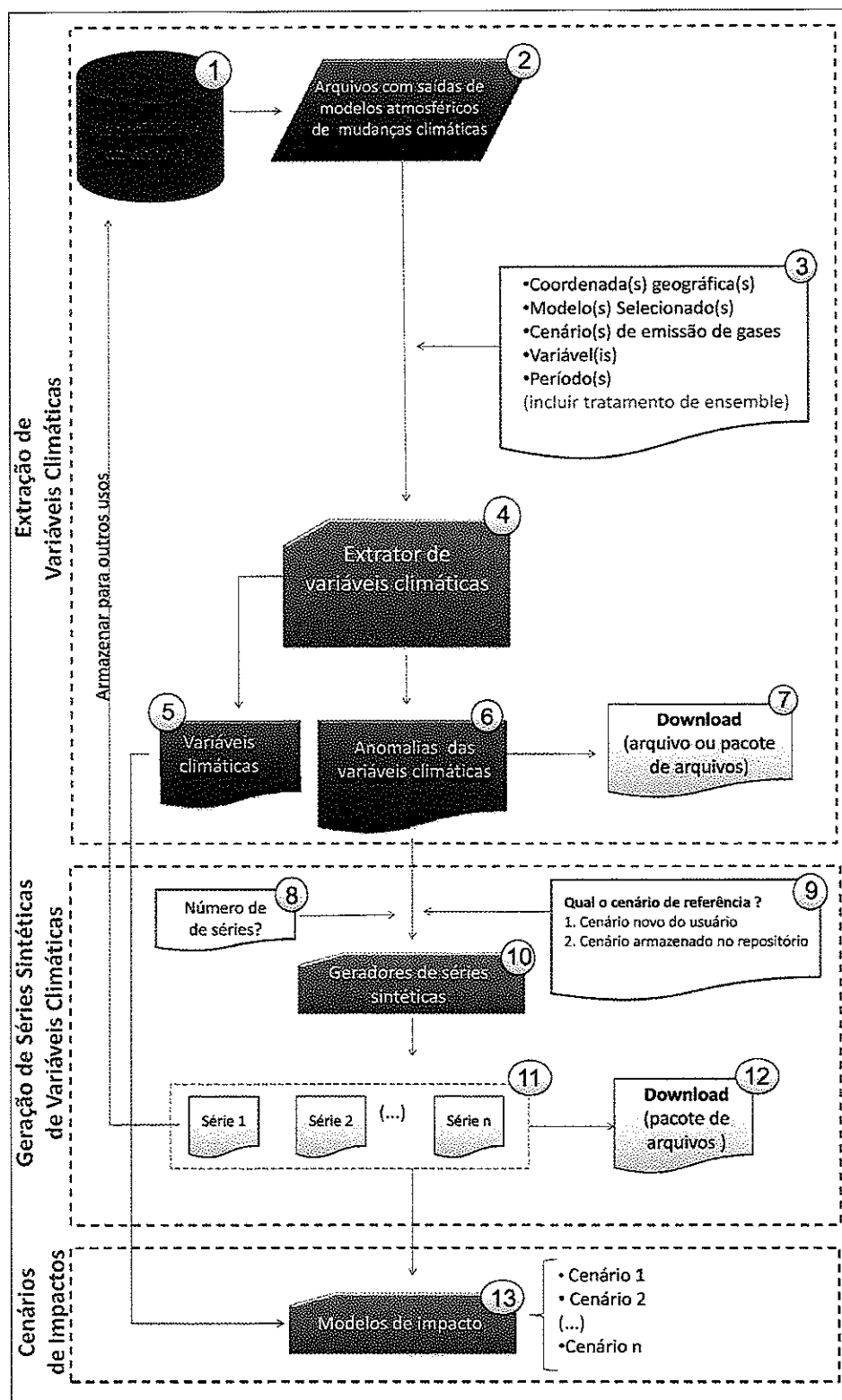


Figura 28 - Níveis de aplicação do modelo.
Fonte - Fernandes e Nóbrega (2008).

3.3 CENÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Os cenários de emissão de gases de efeito estufa descritos no *Special Report on Emissions Scenarios* - SRES (<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>) são classificados em A1, A2, B1 e B2, apresentando as seguintes características principais (INTERGOVERNMENTAL...; TASK..., 2007):

- **Cenário A1:** É uma família de cenários que descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, onde a globalização é dominante com a introdução de tecnologias novas e mais eficientes;
- **Cenário A2.** É uma família de cenários que descrevem um mundo muito heterogêneo com regionalização dominante, crescimento populacional alto e com crescimento econômico mais fragmentado e menor que os outros cenários;
- **Cenário B1.** É uma família de cenários que descrevem um mundo convergente com a mesma população global onde ocorre a introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental;
- **Cenário B2.** É uma família de cenários que descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental com continuo crescimento populacional (menor que A2) e desenvolvimento econômico imediato.

Neste trabalho foram utilizados os cenários A2 e B1, como forma de representarem as altas emissões e as baixas emissões, respectivamente. A Figura 29 ilustra os tipos de cenários do IPCC, em função da conscientização e governança.

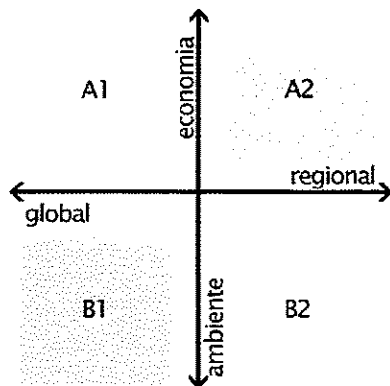


Figura 29 - Tipos de cenários a longo prazo do estudo das alterações climáticas em função do tipo de governação e valores preponderantes.

Fonte - Marengo, 2007.

A Figura 30 expressa a variação do aquecimento global, nos diversos cenários. O sombreado na Figura 30 denota a faixa de desvio-padrão para as médias anuais individuais dos modelos.

A linha alaranjada representa o experimento em que as concentrações foram mantidas constantes nos valores do ano 2000. As colunas cinza à direita indicam a melhor estimativa (linha sólida dentro de cada coluna) e a faixa provável avaliada para os seis cenários do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (RECE) – Intergovernmental..., 2000.

A avaliação da melhor estimativa e das faixas prováveis nas colunas cinzas compreende os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera-Oceano (AOGCMs) na parte esquerda da figura, bem como os resultados de uma hierarquia de modelos independentes e restrições das observações.

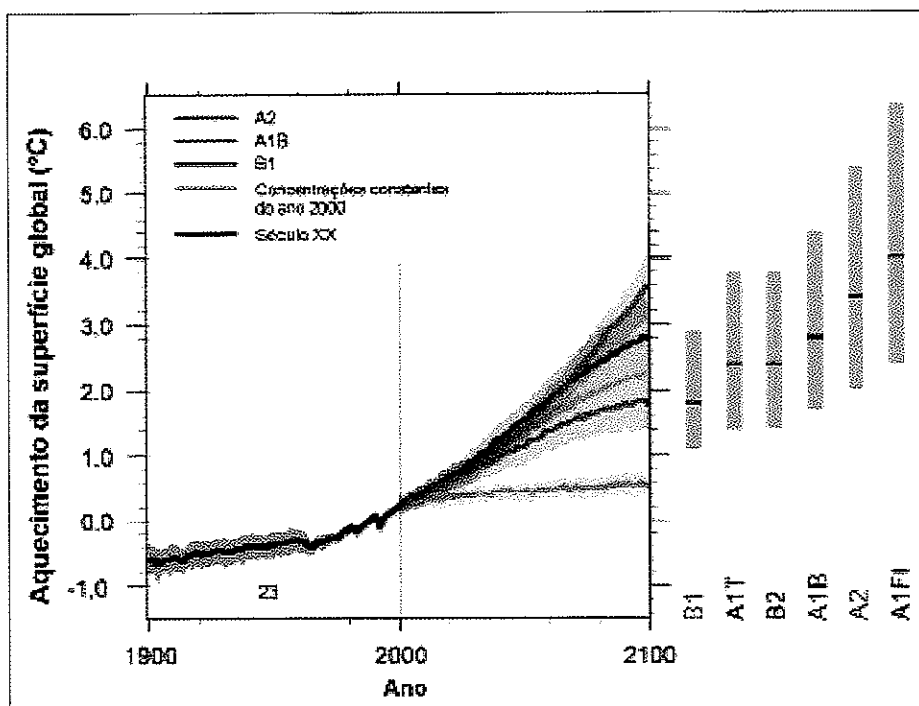


Figura 30 - Projeções futuras do aquecimento global em função dos cenários de alteração climática (SRES).

Fonte - Marengo, 2007.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Simulação decadal do número de gerações anual de *a. woglumi* nos cenários de emissões a2 e b1

As Figuras 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38 ilustram os resultados dos impactos das mudanças climáticas, nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, baseado nos cenários B1 e A2 de emissão de gases de efeito estufa, através das simulações do modelo de mudanças climáticas global CCSM 3.0.

No ano de 2030 (Figura 31), o cenário de menor emissão, simula o estado com uma grande área centro sul, com índices ecoclimáticos de 17 a 18 gerações anuais, valores que constituem a média do potencial do estado, conforme comentado no capítulo anterior. Entretanto, nos municípios de Prainha, Almeirim e Porto de Moz, esses valores chegam a 22 gerações. No cenário A2, de altas emissões, essa área se expande, e no seu centro surge uma outra área que chega a 24 gerações.

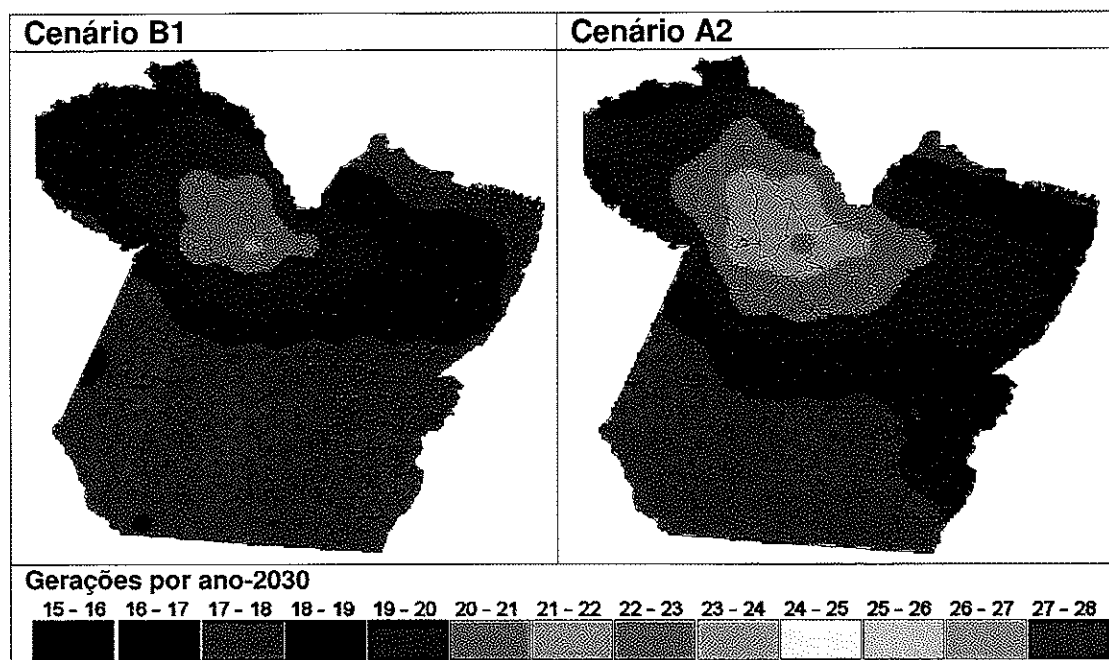


Figura 31 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2030.

Na década seguinte, 2040, o cenário de menor emissão assemelhou-se ao de maior emissão, da década anterior. Entretanto, o cenário A2, em 2040, aumentou os valores no sudeste do estado para 20 gerações. Os maiores valores observados nessa década ficaram concentrados em municípios do sul da região do Baixo Amazonas, com valores de 23 gerações (Figura 32).

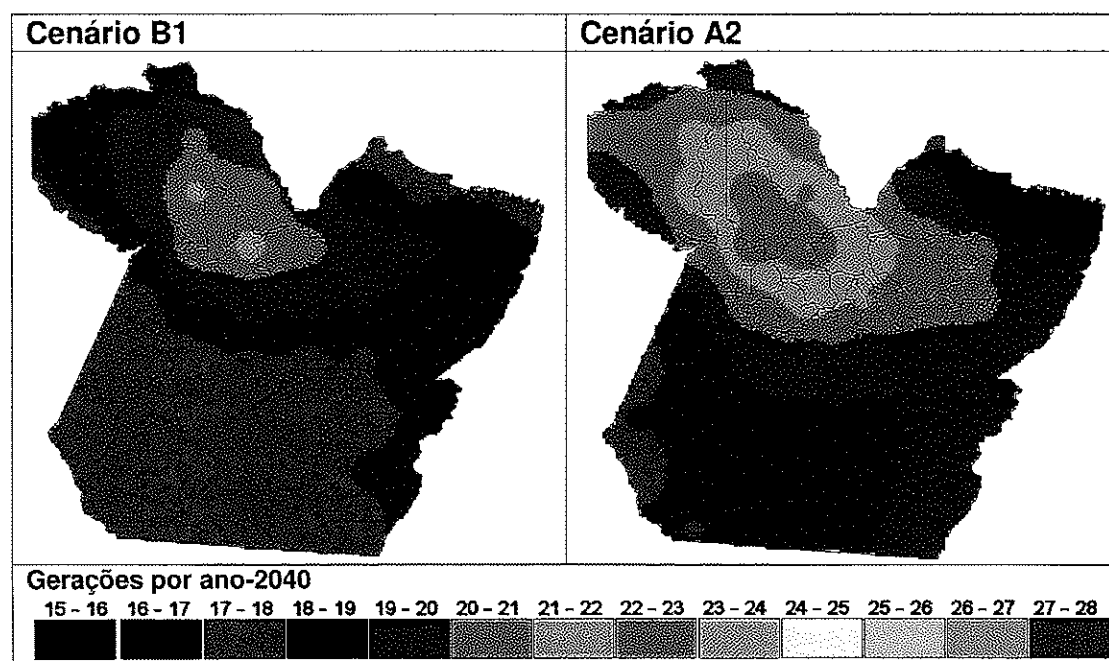


Figura 32 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2040.

Na década de 2050, a média ecoclimática do estado, que é de 18 gerações, fica reduzida apenas ao sudoeste do estado, simulado pelo cenário B1. No cenário A2, nessa década, essa média ecoclimática é inexistente, com os menores valores de 19 gerações, no extremo sudeste e maiores, ainda localizados na região sul do baixo Amazonas (Figura 33). Ainda nessa década, a área que expressa valores de até 20 gerações é ampliada desde com Marajó, passando pelo centro do estado, indo até o sul do município de São Félix do Xingu.

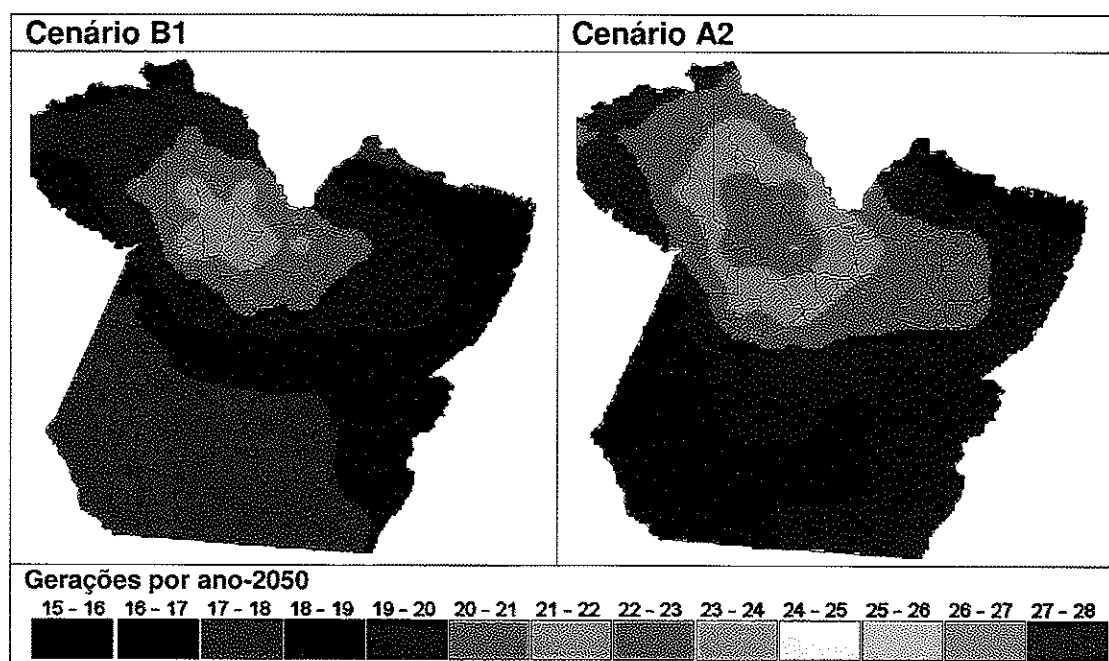


Figura 33 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2050.

Em 2060, os valores médios de 18 gerações, simuladas pelo cenário B1, ficam restringidos apenas a uma parte dos municípios de Jacareacanga e Itaituba. Ainda nesse cenário, é observado o surgimento de duas pequenas áreas de 23 gerações, no centro do município de Prainha e divisa de Alenquer e Santarém. Já no cenário A2, aparece uma área de até 25 gerações, em Prainha e, no sudeste, região de fronteira, até 21 gerações (Figura 34)

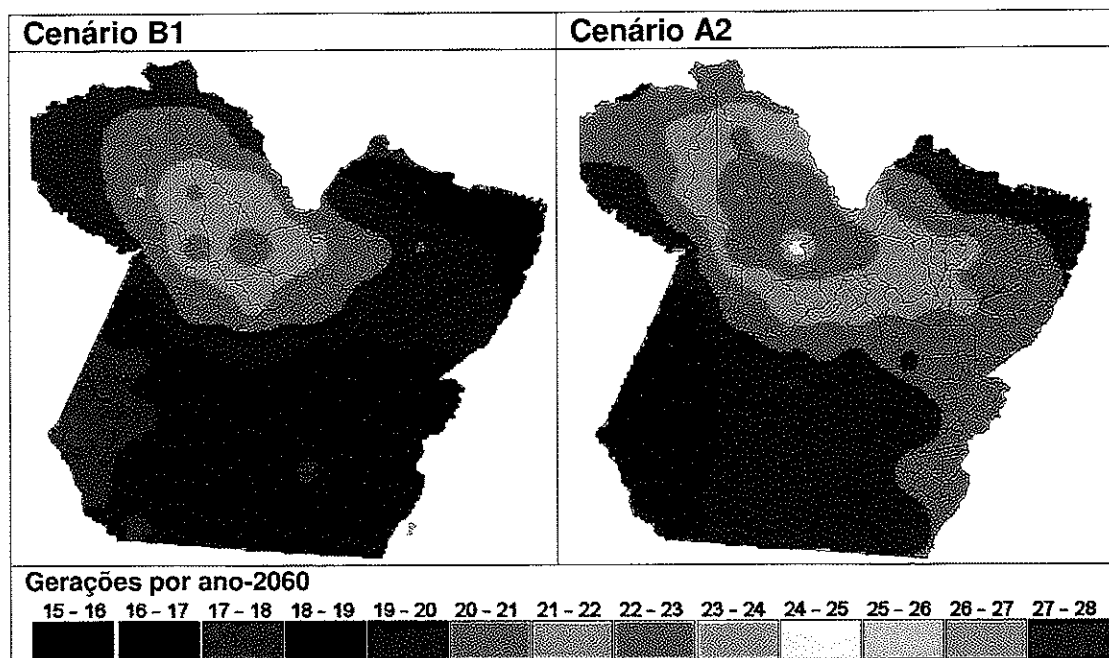


Figura 34 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2060.

A década de 2070 será caracterizada pelo aumento da área de 25 gerações. Essa área, representada pelo cenário A2, atingirá grande parte dos municípios de Prainha, Almeirim e Monte Alegre. No sudeste, surgirá o aumento de gerações para 22 (Figura 35).

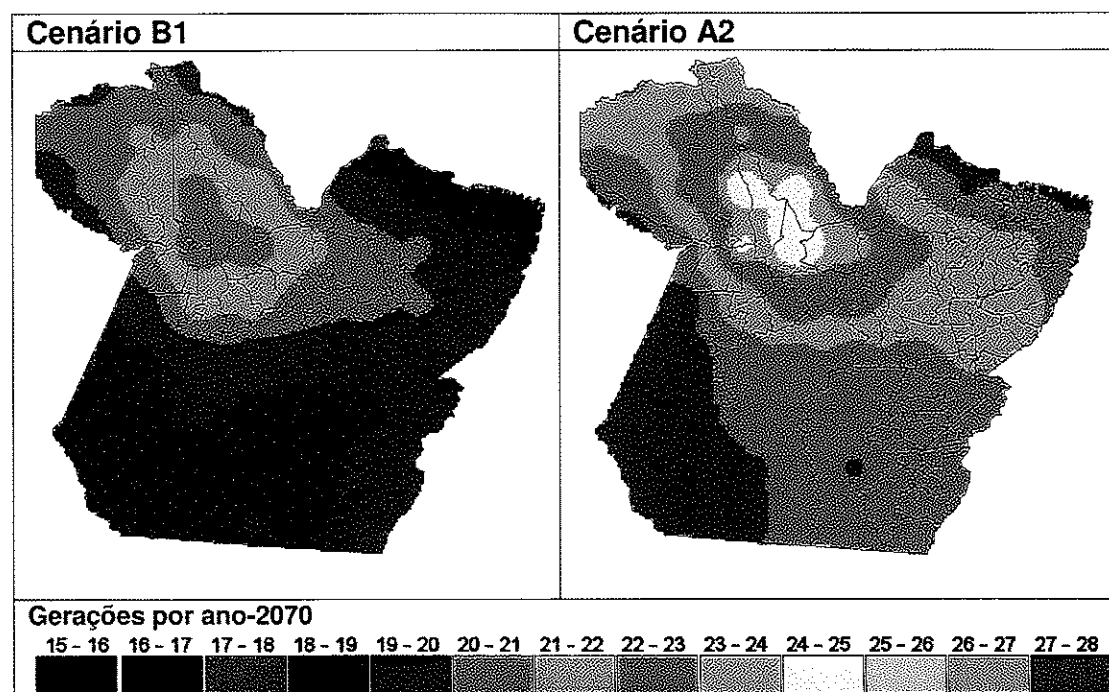


Figura 35 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2070.

Em síntese, na década de 2080, o cenário B1 retrocedeu no extremo sudoeste e se intensificou no Baixo Amazonas. O valor médio ecoclimático do estado, de 18 gerações por ano, reaparecerá novamente em Jacareacanga e Itaituba, conforme simulado pelo modelo, no cenário B1 (Figura 36). No cenário A2, pode ser observada a intensificação da área de maior potencial, sul do Baixo Amazonas, para 26 gerações, na região central de Prainha.

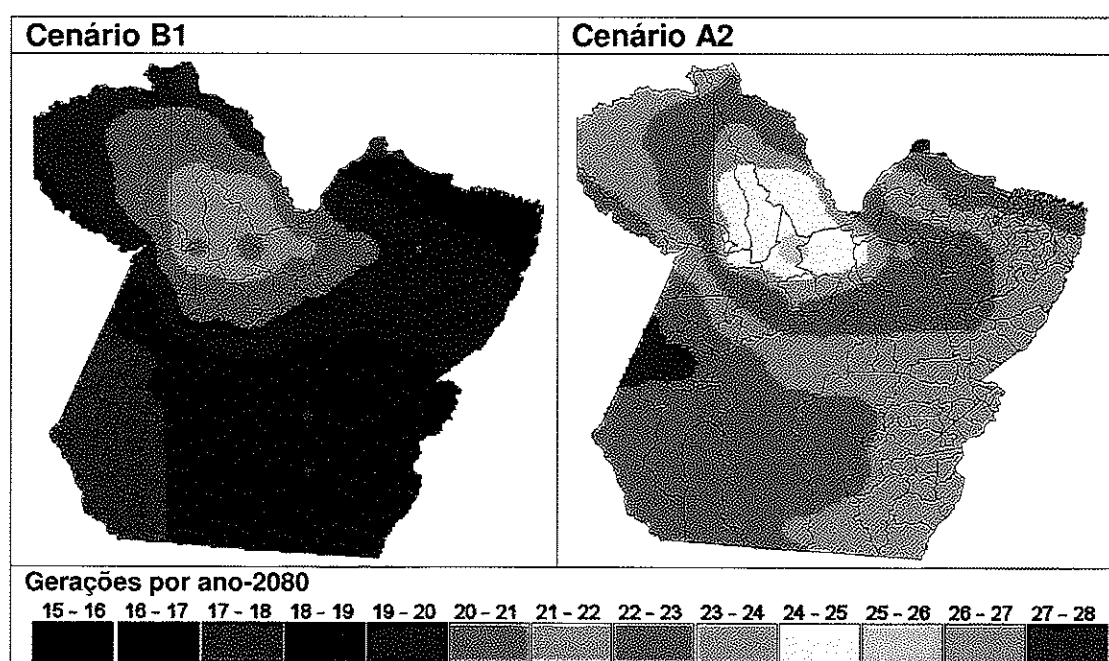


Figura 36 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2080.

Na década de 2090, a média ecoclimática fica limitada a uma pequena região central de Jacareacanga, observada pela simulação do cenário B1, entretanto, em Prainha, área crítica, surge o intervalo compreendido entre 26 e 27 gerações. A região sudeste chega as 23 gerações anuais (Figura 37).

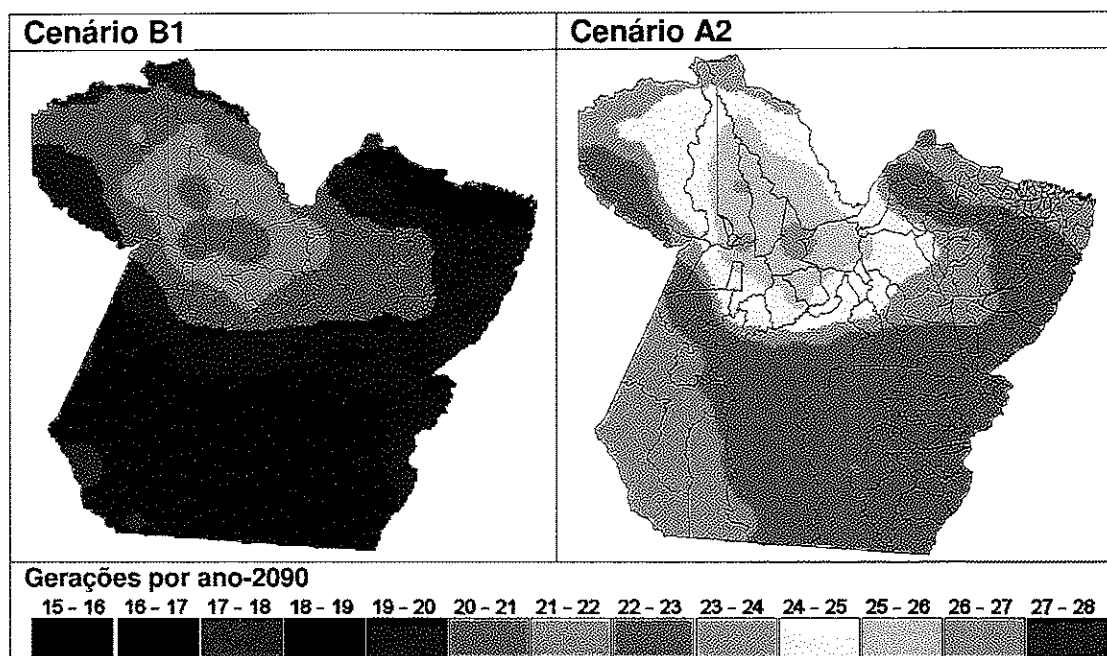


Figura 37 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2090.

Na última simulação do modelo, ano de 2100 (Figura 38), o cenário B1 apresentou valores similares aos da década de 2080, contudo, os resultados do modelo, simulados pelo cenário A2, mostraram o pico máximo estudado, de até 28 gerações a cada ano, nessa década. Esse valor é superior a 10 gerações, dos valores padrões ecoclimáticos encontrados no capítulo anterior. A região sudeste, centro sul e parte do sudoeste oscilaram entre 22 e 23 gerações anuais.

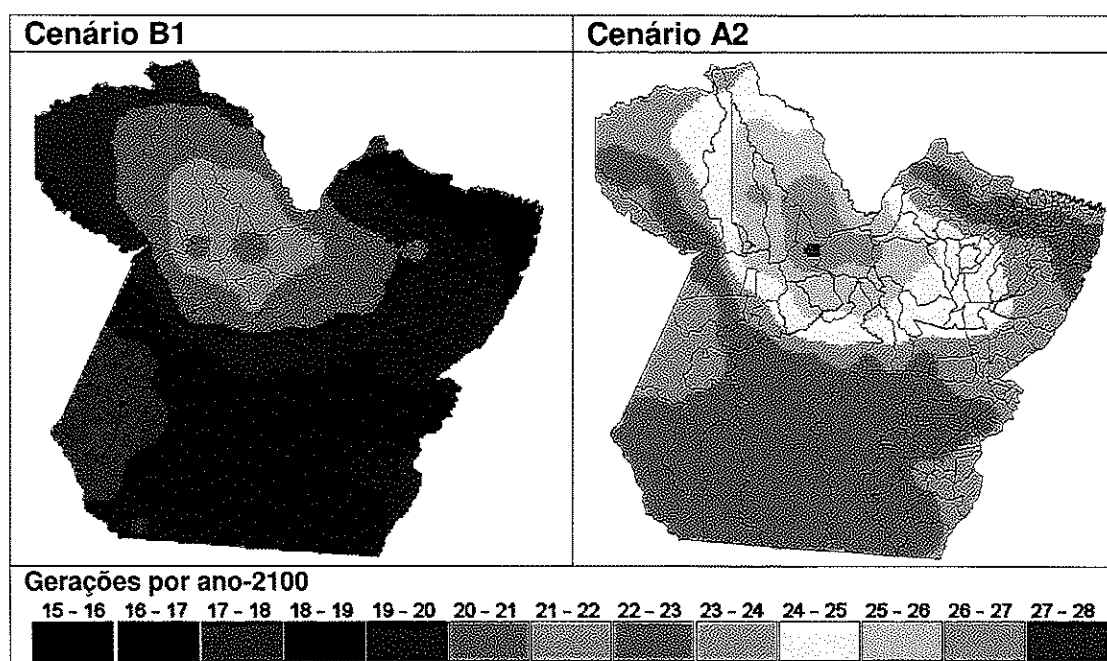


Figura 38 - Simulação dos impactos das mudanças climáticas nos padrões da ecoclimatologia da *A. woglumi* no Estado do Pará, através do modelo climático global CCSM 3.0, para a década de 2100.

3.4.2 Estatística descritiva entre os pontos de simulação do modelo ccsm 3.0

A estatística descritiva, dos 156 pontos simulados pelo modelo, é apresentada nos Tabela 5 e 6, para os cenários B1 e A2 respectivamente. É observado que nos dois cenários, os valores médios da primeira década simulada, ficam compreendidos entre o valor do intervalo ecoclimático histórico do estado.

No cenário A1, a média dos valores variou de 18 a 19, com valores máximos chegando a 23, 1 e mínimos, de apenas 14. Os valores de maiores coeficientes de variação ocorreram entre os pontos simulados pelo cenário A2, 0,07. A curtose apresentou maiores valores nos pontos do B1, com até 1,6 em 2030. A maior variância ocorreu na década de 2090, no cenário A2.

Tabela 5 - Estatística descritiva entre os pontos simulados pelo modelo CCSM 3.0, através do cenário B1, no Estado do Pará.

Cenário B1	Anos							
Estatística	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Média	18,0	18,3	18,5	19,0	19,4	19,0	19,2	19,1
Máximo	21,7	21,9	22,5	23,2	23,4	22,9	23,3	23,1
Mínimo	14,7	14,8	15,2	15,4	16,0	15,6	15,5	15,2
Coef variação	0,059	0,061	0,063	0,065	0,063	0,061	0,066	0,063
Desv Pad	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
Curtose	1,6	1,6	1,6	1,6	1,2	1,3	1,2	1,5
Variância	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5	1,4	1,6	1,4

Tabela 6 - Estatística descritiva entre os pontos simulados pelo modelo CCSM 3.0, através do cenário A2, no Estado do Pará

Cenário A2	Anos							
Estatística	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Média	18,5	19,3	19,6	20,0	20,8	21,4	22,6	23,0
Máximo	22,8	23,5	23,6	24,2	25,0	25,6	26,6	27,2
Mínimo	14,7	15,6	15,9	16,8	17,2	18,0	19,0	19,4
Coef variação	0,070	0,070	0,063	0,061	0,061	0,058	0,061	0,059
Desv Pad	1,3	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
Curtose	1,4	0,8	1,4	1,0	1,2	0,9	0,4	0,6
Variância	1,69	1,83	1,50	1,48	1,62	1,56	1,89	1,84

3.4.3 Anomalias decadais do número de gerações anuais nos cenários de emissões a2 e b1.

As anomalias ecoclimáticas são flutuações, simuladas pelo modelo, em torno dos padrões normais observados, utilizando-se uma série de dados climatológicos, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade. Pelas anomalias (Figura 39) é possível identificar, espacialmente e dinamicamente, as áreas onde ocorreram tais flutuações.

Foi observado que em todas as décadas simuladas pelo modelo, ocorreram anomalias positivas, no número de gerações do inseto estudado, com um crescente aumento, a cada década, de aproximadamente 2 a 4 gerações.

Na década de 2030, no cenário B1, foi observada uma pequena área no norte do município de Itaituba que seguiu os padrões ecoclimáticos do estado. Nessa mesma década, os dois cenários não apresentaram anomalia significativa, na região sul e sudoeste do estado. Entretanto, no Baixo Amazonas são observadas anomalias de 6 a 8 gerações, através das simulações do modelo, no cenário A2.

Em 2040, no cenário B1, o comportamento não difere significativamente da decana anterior, porém no A2, a área correspondente a 4-6 gerações se expande para toda a região do Baixo Amazonas, norte do município de Altamira e sul do Marajó.

Na década seguinte, as principais anomalias são as observadas no sudeste e extremo noroeste do estado, no cenário B1, com o aumento de abrangência das áreas. No cenário A2, apenas a diminuição da área de anomalias não significativas, no norte do município de Itaituba.

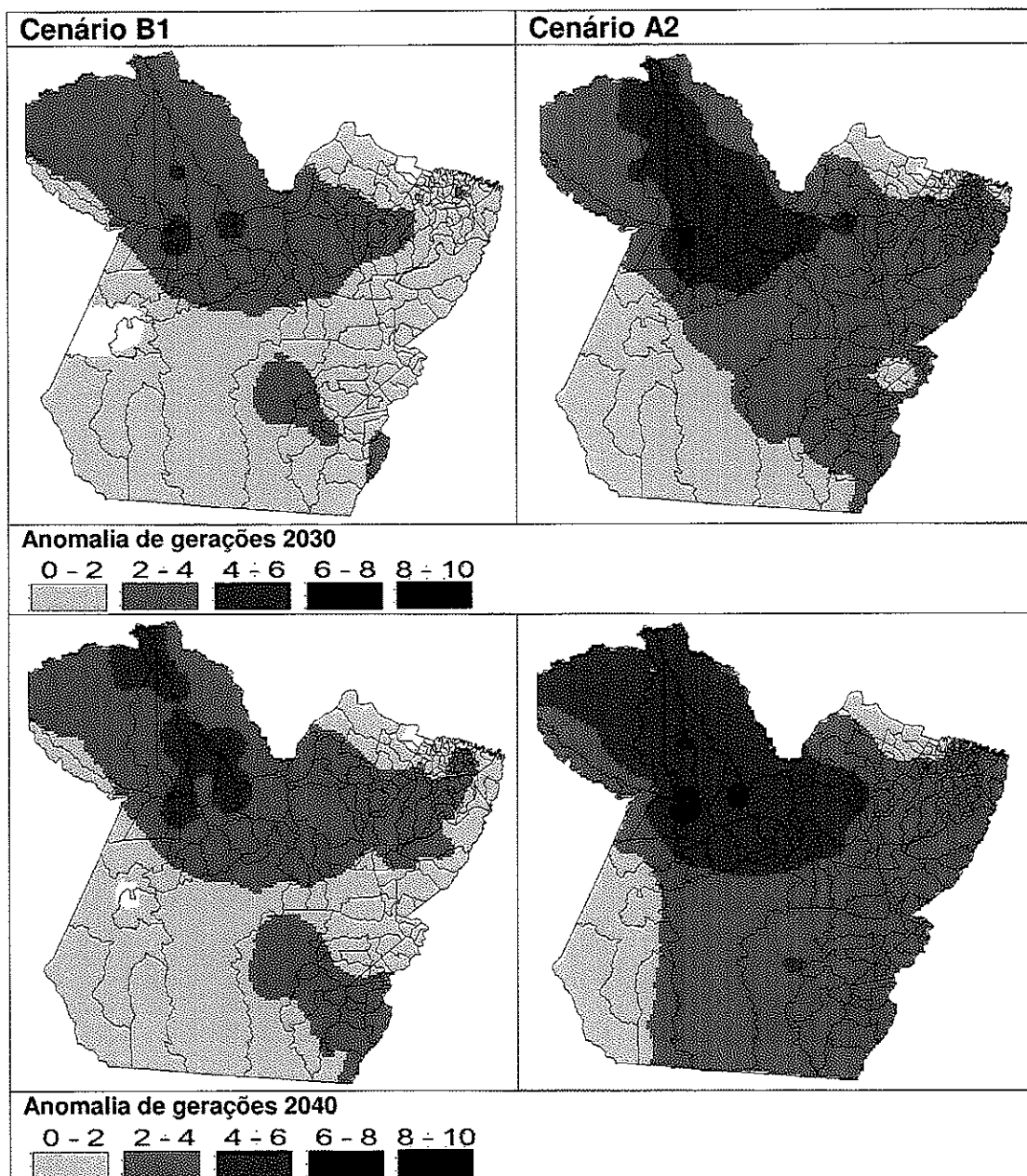
Em 2060 surge uma nova área de 4 a 6 gerações, nos municípios localizados no extremo sudeste e centro norte de São Félix do Xingu.

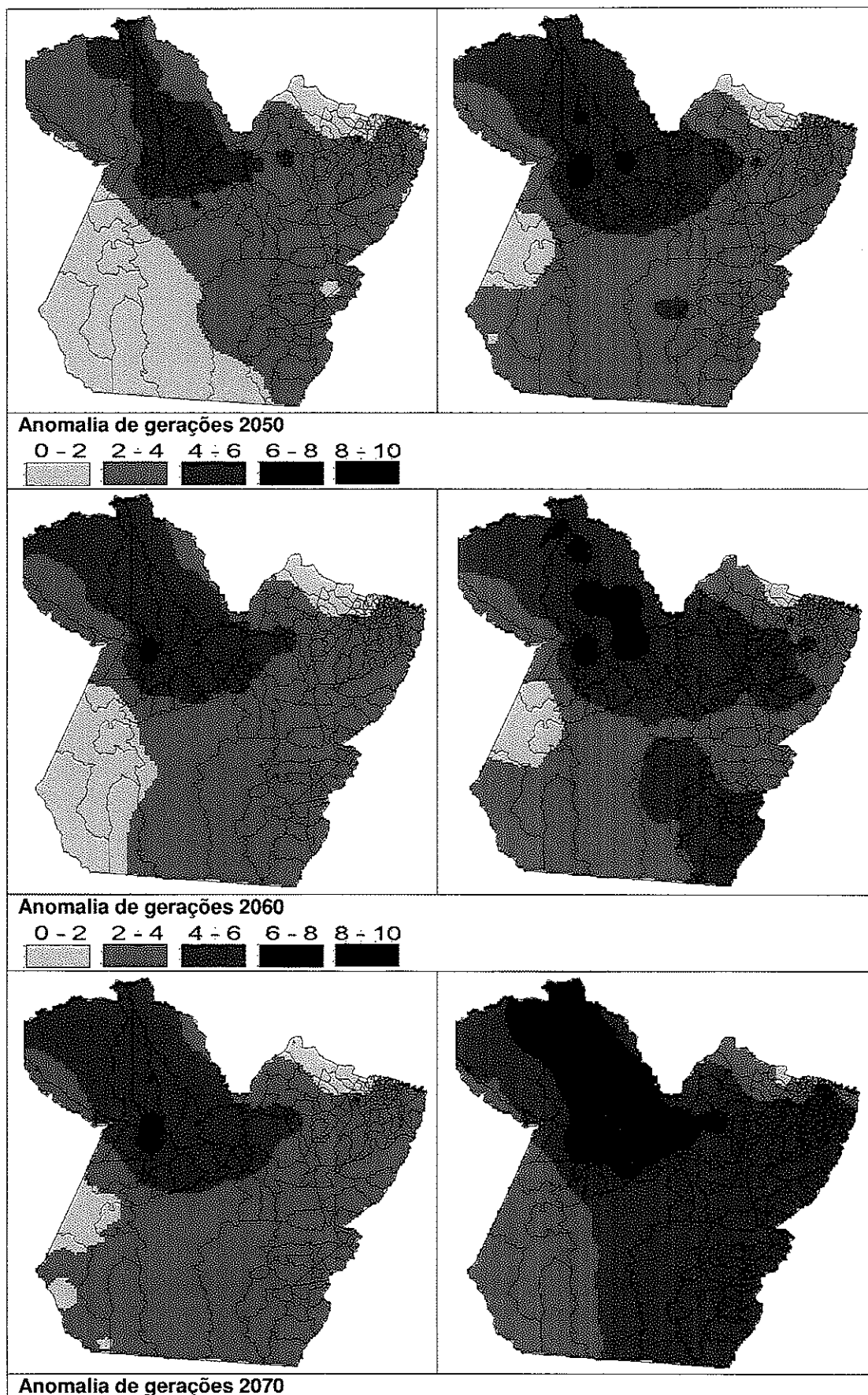
Na década de 2070, as anomalias do cenário B1 são similares as da década de 2060, excetuando as não significativas, que ficam restritas ao norte da região do Marajó e do município de Itaituba. Já cenário A2, as anomalias compreendidas no intervalo de 6 a 8 gerações positivas, ficam compreendidas em quase toda a extensão da região do Baixo Amazonas.

É observado um retrocesso, nas anomalias não significativas, no cenário B1, em 2080. Na década anterior, essas anomalias situavam-se apenas no norte de

Itaituba, porém essa área aumentou e abrangeu os municípios de Novo Progresso, Trairão, Aveiro e Jacareacanga, seguindo tal situação até a última simulação, na década de 2100. Nessa mesma década, surgem as maiores anomalias, compreendidas entre o intervalo de 8 a 10 geração.

Nas últimas duas décadas simuladas, as anomalias de 8 a 10 gerações configuraram uma longa faixa espacial, que teve início do norte do município de Oriximiná e se prolongou até o norte do município de Altamira.





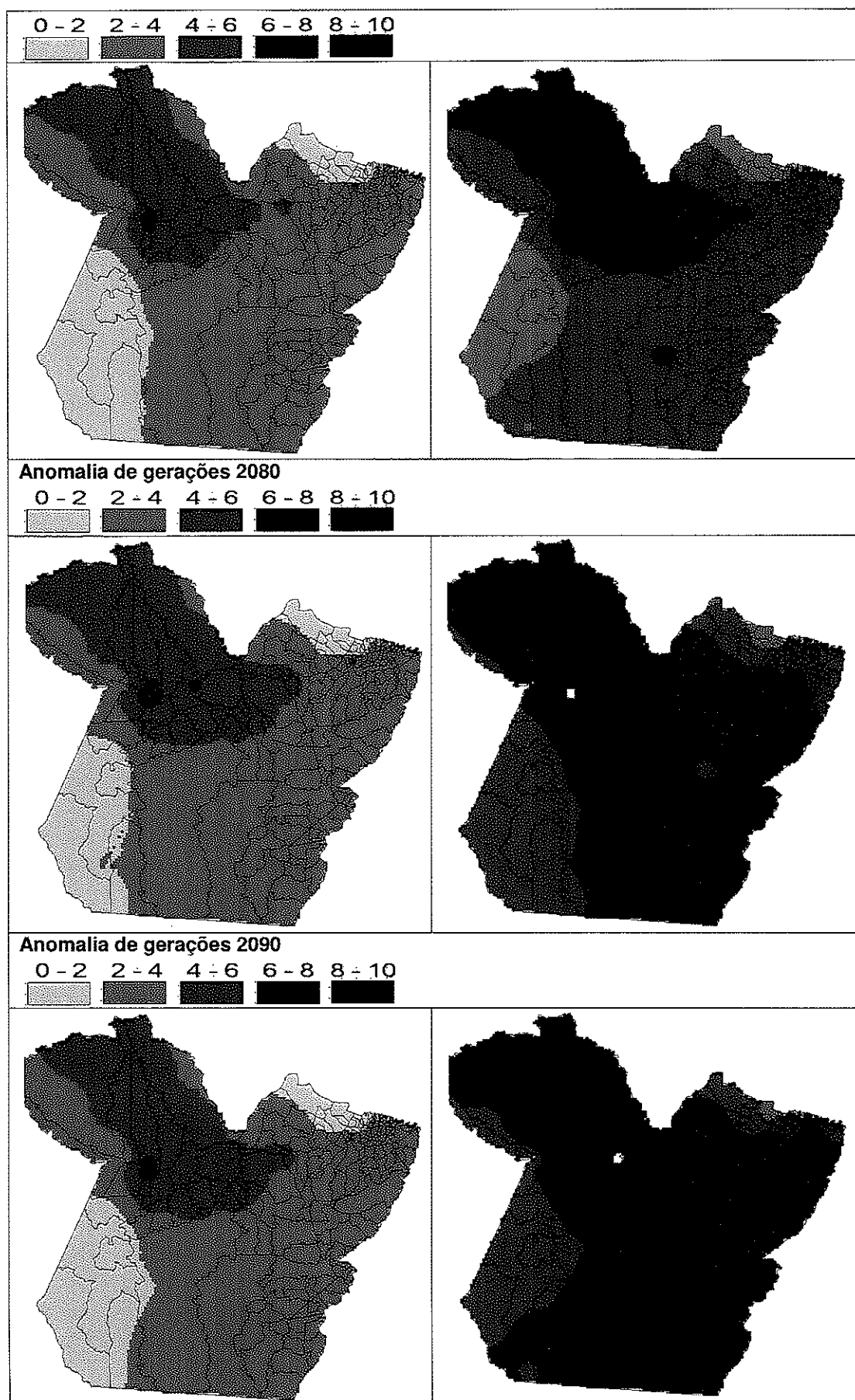




Figura 39 - Variação espacial e temporal das anomalias do número de gerações anuais, nas décadas simuladas pelo modelo CCSM 3.0, nos cenários A2 e B2.

3.4.4 Calibração do modelo

Para a calibração do modelo, os dados anuais do número de gerações, do período compreendido entre 2001 e 2007, que foram obtidos através dos dados mensais de temperatura do ar, das 15 localidades listadas na Tabela 3 e ilustradas na Figura 8, foram utilizados (Figura 40). Nessa etapa, os cartogramas do número de gerações anual, de 2001 a 2007 foram obtidos conforme descritos na metodologia.

Foi processado para todos os mapas interpolados a seguinte expressão, através da rotina **Map Calculator**, contida no menu de **Analysis**:

[Dados Grid]-([Dados Grid]/[Dados Grid])*[Dados inteiros Grid interpolado]

Equação 14

O resultado dessa expressão é o mapa de erros. Pela análise dos histogramas e das tabelas associadas a cada um dos mapas, avaliou-se a correlação entre valores interpolados do modelo e originais, segundo metodologia recomendada por Isaaks e Srivastava (1989).

Foi observado que somente erros positivos ocorreram, na mesoregião do Baixo Amazonas, sul do Marajó e norte de Altamira, em 2001. O ano de 2002 assemelhou-se a 2001. Já em 2003 a área de erros ficou reduzida, entretanto o ano que apresentou menor erro foi o de 2005. Nos demais anos os pontos de erros foram similares, variando em torno de 2000 pontos de resolução de 0,5 X 0,5°.

De uma forma geral, observou-se que os erros ficaram compreendidos entre as latitudes de 1° à 4° sul e 56° à 52° oeste de longitude.

Foi então obtido o mapa de erros médio do período de 2001 a 2007. O fator de correção foi aplicado na grade do modelo, para os pontos indicados no mapa e realizada a calibração.



Figura 40 - Calibração do modelo CCSM 3.0 no Estado do Pará.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo climático global CCSM3 apresentou-se bastante estável no recurso de processamento utilizado. Também realizou excelentes simulações para o Estado do Pará, com exceção da Região do Baixo Amazonas e norte da região Sudoeste do estado, onde os valores de temperatura superestimaram os valores observados.

Entretanto esses valores superestimados, transformados para o número de gerações do inseto, não superaram os 10% de margem de erro, aceitável nos estudo de bioclimatologia. Esses valores foram ajustados no modelo.

A saída das informações são de fáceis gerenciamentos e aplicáveis a arquivos do tipo bando de dados (DBF).

A previsibilidade e o grau do aquecimento global, inclusive as suas conseqüências, envolvem questões bastante complexas, sobre as quais os próprios especialistas ainda não formaram um consenso.

Essas questões, das mudanças climáticas em relação ao aquecimento global, contribuíram também para dividir a comunidade científica em dois grandes grupos: a dos céticos e a dos credores.

Certamente que com o aumento de temperatura, caracterizado nesse trabalho, e em outros de referências, como sendo o fator primordial para o desenvolvimento de insetos, respondendo por cerca de 73% desse processo, ocorrerá também um aumento do número de insetos.

Regiões como o Baixo Amazonas e áreas de fronteiras com o Maranhão, poderão ser consideradas como áreas de altos riscos de disseminação de insetos pragas, por apresentarem condições altamente favoráveis a instalação, manutenção, desenvolvimento e migração desses insetos.

Dessa forma, podemos concluir que será prevista uma redução das colheitas no Estado do Pará, principalmente as de âmbito familiar, comum em grande parte do estado, e em maior parte das regiões tropicais, que possuem condições climáticas semelhantes a do Estado do Pará.

Uma proposta para futuros estudos seria a análise mensal dos resultados simulados, em cada década, analisando a redução dos ciclos, o de vida dos insetos sintetizada nesse trabalho e o ciclo vegetativo da cultura, hipoteticamente lançado, correlacionando com a diminuição de precipitação, simulada pelos modelos do IPCC.

Tal hipótese, da redução de ciclo vegetativo, seria explicada devido ao aumento de temperatura simulado pelo modelo. As plantas reagiriam então, atingindo mais brevemente as suas respectivas exigências térmicas e graus dias. Ainda nesse contexto, com o aumento de concentrações de CO₂, as culturas aumentariam ainda mais a produtividade do ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ALLEY, R. **Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima:** Sumário para os Formuladores de Políticas. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas>. Acesso em: 05 dez. 2009.
- BALE, J. S.; BLOCK, W.; WORLAND, M. R. Thermal tolerance and acclimation response of larvae of the sub-Antarctic beetle *Hydromedion sparsutum* (Coleoptera: Perimylopidae). **Polar Biology**, v.23, n.2, p. 77-84, 2000.
- BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNILOUDIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n.1, p. 1-16, 2002.
- BILTON, D. T.; SPICER, J. I.; AND ATFIELD, A. Thermal tolerance and geographical range size in the *Agabus brunneus* group of European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). **Journal of Biogeography**, v. 35, p. 295-305, 2008.
- BITZ, C.; HOLLAND, M.; EBY, M.; WEAVER, A. Simulating the ice-thickness distribution in a coupled climate model. **J. Geophys. Res.**, v. 106, p. 2441–2463, 2001.
- BOVILLE, B. A.; P. R. GENT. The NCAR Climate System Model, version one. **Journal of. Climate**, v. 11, p. 1115–1130, 1998.
- BOVILLE, B. A.; RACH, P. J.; HACK, J. J.; MCCAA, J. R. Representation of clouds and precipitation processes in the Community Atmosphere Model version 3 (CAM3). **Journal of. Climate**, v. 19, p. 2184–2198, 2006.
- BJERKNES, J. Atlantic air-sea interaction. **Adv. Geophys.**, v. 10, p. 1–82, 1964.
- BRIEGLEB, B.; BLITZ, C.; LIPSCOMB, W.; HOLLAND, M.; SCHRAMM, J.; MORITZ, R. Scientific Description of the sea ice component in the Community Climate System Model, Version three. **NCAR Technical Note**, v.463, p.78, 2005.
- CAUGHLEY, G.; SHORT, J.; GRIGG, G. C.; NIX, H. Kangaroos and climate: an analysis of distribution. **Journal of Animal Ecology**, v.56, p.751-761, 1987.
- CCSP. *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate*. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. In: KARL, Thomas R.; MEEHL, Gerald A.; MILLER, Christopher D.; HASSOL, Susan J.; WAPLE, Anne M.; MURRAY, William L. (Ed.) **A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research**. Washington, 2008. p.164.

COLLINS, W.; BITZ, C.; BLACKMON, M.; BONAN, G.; BRETHERTON, C.; CARTON, J.; CHANG, P.; DONEY, S.; HACK, J.; HENDERSON, T.; KIEHL, J.; LARGE, W.; MCKENNA, D.; SANTER, B.; SMITH, R. The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3). **Journal of Climate**, v.19 n.11, p. 2122–2143, 2006.

_____; RASCH, P.; BOVILLE, B.; HACK, J.; MCCA, J.; WILLIAMSON, D.; KIEHL, J.; BRIEGLEB, B.; BITZ, C.; LIN, S.; ZHANG, M.; DAI, Y. Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM3). **NCAR Technical Note**, v. 464, 226 p, 2004.

CALOSI, P.; BILTON, D.T.; SPICER, J. I. ; ATFIELD, A. Thermal tolerance and geographical range size in the *Agabus brunneus* group of European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). **Journal of Biogeography**, v. 35, n.2, p. 295–305, feb. 2008.

CRAIG, A.; JACOB, R.; KAU-AMAN, B.; BETTGE, T.; LARSON, J.; ONG, E.; DING, C.; HE, Y. Cp16 The new extensible high-performance parallel coupler for the Community Climate System Model. **Int. J. High Perform. C.**, v.19,n.3, p.309-328, 2005.

DICKINSON, R.; OLESON, K.; BONAN, G.; HO-MAN, F.; VERTENSTEIN, M.; YANG, Z.-L.; ZENG, X. The Community Land Model and its climate statistics as a component of the Community Climate System Model. **J. Clim.**,v.19, n.11, p.2302-2324, 2006.

DRAKE, J.; JONES, P.; CARR, G. Overview of the software design of the CCSM. **Int. J. High Perform. C.**,v.19, n.3, p.177-186, 2005.

FIELDS, P. A.; GRAHAM, J. B.; ROSENBLATT, R. H.; SOMERO, G. N. Effects of expected global climate change on marine faunas. **Trends in Ecology & Evolution**, v 8, n.10, p. 361-367, out.1993.

GENT, P.; BRYAN, F.; DANABASOGLU, G.; LINDSAY, K.; TSUMUNE, D.; HECHT, M.; DONEY, S. Ocean Chlorofluorocarbon and Heat Uptake During the 20th Century in the CCSM3. **J. Clim.**, v.19, n.11, p.2366-2381, 2006.

GHALAMBOR, C. K.; HUEY, R. B.; MARTIN, P. R.; TEWKSBURY, J. J.; WANG, G. Are mountain passes higher in the tropics? Janzen's hypothesis revisited. **Integrative and Comparative Biology**, v. 46, p. 5-17, 2006.

GILLOOLY, J. F.; DODSON, S. I. The relationship of egg size and incubation temperature to embryonic development time in univoltine and multivoltine aquatic insects. **Freshwater Biology**, v. 44, p.595-604, 2000.

_____; BROWN, J. H.; WEST, G. B.; SAVAGE, M. V.; CHARNOV, E. L. Effects of size and temperature on metabolic rate. **Science**, v. 293, p. 2248-2251, 2001.

_____; _____. Effects of size and temperature on developmental time. **Nature**, v. 417, p. 70-73, 2002.

HEIKKINEN, R. K.; LUOTO, M.; VIRKKALA, R.; PEARSON, R. G.; KÖRBER, J. H. Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 754-763, 2007.

HELMUTH, B.; KINGSOLVER, J. G.; CARRINGTON, E. Biophysics, physiological ecology, and climate change: Does mechanism matter? **Annual Review of Physiology**, v. 67, p. 177-201, 2005.

HICKLING, R.; ROY, D. B.; HILL, J. K.; FOX, R.; THOMAS, C. D. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. **Global Change Biology**, v. 12, p. 450-455, 2006.

HILBISH, T. J. Demographic and temporal structure of an allele frequency cline in the mussel *Mytilus edulis*. **Marine Biology**, v. 86, n.2, p. 163-171, 1985.

HODKINSON, I. D.; BIRD, J.; MILES, J. E.; BALE, J. S.; LENNON, J. J. Climatic signals in the life histories of insects: the distribution and abundance of heather psyllids (*Strophingia* spp.) in the UK. **Functional Ecology**, v. 13, p. 83-95, 1999.

HOLT, R. D. The microevolutionary consequences of climate change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 5, 315 p., 1990.

HOLTSLAG, A. A. M.; BOVILLE, B. A. Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model, **Journal of Climate**, v. 6, p. 1825-1842, 1993.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, p. 56-61, 2000.

HUNKE, E.; DUKOWICZ, J. An elastic-viscous-plastic model for sea ice dynamics. In: **American Meteorological Society**, v.27, p.1849-1867, set.1997.

_____; _____. The sea-ice momentum equation in the free drift regime. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 27, p. 1849-1867, 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE; TASK GROUP ON SCENARIOS FOR CLIMATE IMPACT ASSESSMENT. **General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment**. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/guidelines/TGICA_guidance_sdciaa_v2_final.pdf>. Acesso: em 10 Jan. 2010.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

IVERSEN, J. *Viscus, Hedera and Ilex as climate indicators*. **Geologiska Foreningens**, v. 66, p. 463-483, 1994.

KASUGA, S.; AMANO, H. Spatial distribution of *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae) in agricultural soils under greenhouse conditions. **Applied Entomology and Zoology**, v.40, p.507-511, 2005.

KERR, J. T.; KHAROUBA, H. M.; CURRIE, D. J. The macroecological contribution to global change solutions. **Science**. v.316, p. 1581-1584, 2007.

KIEHL; GENT, P. R. The Community Climate System Model, Version Two. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3666-3682, 2004.

KIRBY, R. R.; BERRY, R. J.; POWERS, D. A. Variation in mitochondrial DNA in a cline of allele frequencies and shell phenotype in the dog-whelk *Nucella lapillus* (L.). **Biological Journal of the Linnean Society**, v.62, p. 299-312, 1997.

KLOK, C. J.; CHOWN, S. L. Resistance to temperature extremes in sub-Atlantic weevils: interspecific variation, population differentiation and acclimation. **Biological Journal of the Linnean Society**, v.78, n.3, p. 401-414, mar. 2003.

LIPSCOMB, W. Remapping the thickness distribution in sea ice models. **J. Geophys. Res.**, v.106, p. 13989-14000, 2001.

MARENGO J, A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T.; **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI.** (Sumário Técnico). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas>. Acesso em: 05 Dez. 2009.

MCLAUGHLIN, J. F.; HELLMANN, J. J.; BOGGS, C. L.; EHRLICH, P. R. Climate change hastens population extinctions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, p. 6070-6074, 2002.

MUSOLIN, D. M. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. **Global Change Biology**, v. 13, p. 1565-1585, 2007.

OLESON, K.; DAI, Y.; BONAN, G.; DICKINSON, R.; DIRMEYER, P.; HO-MAN, F.; HOUSER, P.; LEVIS, S.; NIU, G.-Y.; THORNTON, P.; VERTENSTEIN, M.; YANG, Z.-L.; ZENG, X. Technical Description of the Community Land Model (CLM). **NCAR Technical Note**, v. 461, 174 p., 2004.

OHLMANN, J. Ocean radiant heating in climate models. **Journal of. Climate**, v. 16, p. 1337-1351, 2004.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, p. 37-42, 2003.

ROBINSON, T.; ROGERS, D.; WILLIAMS, B. Univariate analysis of tsetse habitat in the common fly belt of Southern Africa using climate and remotely sensed vegetation data. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 11, p. 223-234, 1997.

ROOT, T. L. Environmental factors associated with avian distributional boundaries. **Journal of Biogeography**, v. 15, p. 489-505, 1988.

SLABBER, S.; WORLAND, R. M.; LEINAAS, P. H.; CHOWN, S. L. Acclimation effects on thermal tolerances of springtails from sub-Antarctic Marion Island: Indigenous and invasive species. **Journal of Insect Physiology**, v. 53, n.2, p. 113-125, 2007.

SMITH, R. D.; P. GENT. Reference manual for the Parallel Ocean Program (POP). **Los Alamos Unclassified Report LA-UR**, p. 02-2484, 2002.

SOBERON, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, p. 1115-1123, 2007.

TERBLANCHE, J. S.; SINCLAIR, B. J.; KLOK, C. J.; MCFARLANE, M. L.; CHOWN, S. L. The effects of acclimation on thermal tolerance, desiccation resistance and metabolic rate in *Chirodica chalconota* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Insect Physiology**, v. 51, n.9, p. 1013-1023, sep. 2005.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F. N.; SIQUEIRA, M. F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; JAARSVELD, A. S.; MIDGLEY, G. F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, v.427, p. 145-148, jan. 2004.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAUJO, M. B.; SYKES, M. T.; PRENTICE, I. C. Climate change threats to plant diversity in Europe. **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA**, v. 102, p. 8245-8250, 2005.

WALTHER, G. R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J. C.; FROMENTIN, J. M.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, v. 416, p. 389- 395, 2002.

WILLOTT, S. J.; HASSALL, M. Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. **Functional Ecology**, v. 12, 232-241, 1998.

WILSON, R. J.; GUTIÉRREZ, D.; GUTIÉRREZ, J.; MARTÍNEZ, D.; AGUDO, R.; MONSERRAT, V. J. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. **Ecology Letters**, v. 8, p. 1138-1146, 2005.

WORLAND, M. R.; CONVEY, P. Rapid cold hardening in Antarctic microarthropods. **Functional Ecology**, v. 15, n.4, p. 515-524, aug. 2001.

ZENG, L. Technical description of the Community Land Model (CLM). **NCAR Technical Report.**, 174 p., 2004.