

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

Fábio Aquino de Albuquerque, Emília Hamada
e Juliana Oliveira dos Santos

Introdução

Os insetos estão entre os organismos que mais podem ser afetados pelas mudanças climáticas em virtude de o clima ter significativa influência sobre seu desenvolvimento, reprodução e sobrevivência (BALE et al., 2002). Esses artrópodes têm o tempo entre gerações curto e a taxa de reprodução elevada, podendo responder mais rapidamente às mudanças do clima do que outros organismos que têm ciclo de vida mais longo, como as plantas e os vertebrados. O aquecimento pode afetar potencialmente muitos aspectos da ecologia e do ciclo de vida dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados pela energia em forma de graus-dia (temperatura acumulada necessária para o desenvolvimento). Consequentemente, esses organismos podem responder a essas alterações climáticas por meio de mudanças na fenologia, seleção de habitat e da expansão ou redução da distribuição geográfica.

O desequilíbrio nutricional das plantas, que pode comprometer o desempenho dos insetos sobre elas; a alteração no comportamento dos insetos e o aumento médio da temperatura, principal fator abiótico condicionante da vida dos insetos, são os três principais fatores concorrentes para o efeito das mudanças climáticas sobre os insetos. O primeiro fator, o desequilíbrio nutricional das plantas, pode fazer com que os insetos se alimentem mais das plantas, reduzindo a área foliar e, conseqüentemente, diminuindo sua eficiência fotossintética. Se por um lado a maior concentração de CO₂ atmosférico pode favorecer a fotossíntese, até certos limites máximos, por outro pode favorecer a herbivoria. Vários autores observaram que o crescimento de plantas em ambiente com elevada concentração de CO₂ e O₃ altera a composição química das folhas, afetando assim a palatabilidade e a qualidade nutricional delas para os insetos desfolhadores (ALLEN et al., 1988; BEZEMER; JONES, 1998; LINCOLN et al., 1993; NORBY et al., 1999; REID; FISCUS, 1998; WHITTAKER, 1999). Plantas cultivadas em elevada concentração de CO₂ e O₃, frequentemente têm menor concentração de nitrogênio e proteína solúvel (COTRUFO et al., 1998; MULCHI et al., 1992), reduzindo assim a qualidade nutricional para os herbívoros. Hamilton et al. (2005), estudando o efeito do aumento de CO₂ sobre plantas de soja, observaram que a maior concentração de açúcares no tecido foliar incrementou o número de *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) em 31%. Esse incremento deveu-se principalmente à maior necessidade de consumo foliar em razão do desequilíbrio na relação C/N.

A segunda interferência provocada pelas mudanças climáticas é a alteração no comportamento dos insetos, principalmente na orientação para o acasalamento, nas comunicações intra e interespecífica e na localização para oviposição, dentre outras. Guerenstein e Hildebrand (2008) apontaram os principais efeitos do incremento de CO₂ e, conseqüentemente, da temperatura sobre os insetos

e destacaram que algumas espécies de Lepidoptera (mariposas e borboletas) podem perder a orientação para o acasalamento e também para os locais preferenciais de oviposição. Esse tipo de interferência pode comprometer a polinização de espécies florestais, pois muitas espécies dessa ordem são responsáveis pela polinização de plantas.

Finalmente, o aumento médio da temperatura, principal fator abiótico condicionante da vida dos insetos, pois são animais ecotérmicos, ou seja, se ajustam termicamente às condições ambientais. Dentre os fatores abióticos, a temperatura é a que mais influencia o desempenho dos insetos, podendo provocar alterações na duração das fases imaturas, encurtando ou alongando os ciclos biológicos. Isso tem implicações diretas no manejo dos insetos-praga, pois em situações que se têm uma ou duas gerações por ano de determinada praga, um incremento da temperatura proporcionará mais gerações e, conseqüentemente, mais insetos a serem controlados, aumentando os custos do controle e do manejo da cultura.

Em países de clima tropical, como o Brasil, essas alterações na temperatura podem contribuir ainda mais para o incremento dos problemas causados pelos insetos. Basicamente, a temperatura determina qual o nível mais baixo e o mais elevado (temperaturas-base) cujo intervalo é viável ao desenvolvimento do inseto. Mas, é a temperatura acumulada durante um determinado período de tempo (graus-dia) que determina quantas gerações daquele inseto haverá por ano. No clima tropical, é comum haver pragas multivoltinas, aquelas com mais de uma geração por ano. Para as principais espécies cultivadas (soja, milho e algodão) há algo em torno de 40 espécies de insetos causadores de danos econômicos, muitas das quais podem se hospedar em mais de uma cultura.

Uma extensa revisão sobre os efeitos da temperatura sobre insetos foi apresentada por Bale et al. (2002). Nesse trabalho, os autores

exploram os efeitos potenciais da temperatura sobre os insetos herbívoros. Assim, consideram que efeitos diretos da temperatura sobre os insetos diferem entre espécies, dependendo do ambiente e do tipo de vida e sua habilidade em se adaptar. Espécies polífagas que ocupam diferentes habitats em diferentes latitudes e altitudes e possuem elevada plasticidade genotípica e fenotípica, serão menos afetadas pelas mudanças do clima. Contudo, as diversas interações que podem ocorrer não permitem afirmar categoricamente se o incremento na temperatura favorecerá ou não os insetos de uma maneira geral. Dessa forma, os casos devem ser avaliados individualmente e os resultados para uma determinada espécie não poderão ser extrapolados para outras.

No Brasil, os estudos de temperatura sobre insetos são clássicos e bastante conhecidos. Normalmente, esses estudos foram realizados em condições controladas, em câmaras climatizadas, onde a única variável é a temperatura. Considerando apenas essa variável, tem-se que, com o incremento dos valores médios da temperatura haverá mais graus-dia disponíveis para os insetos e, com isso, ocorrerá tendência de encurtamento de ciclo fenológico, de incremento da distribuição para outras áreas e, provavelmente, de novas fontes de alimento para explorar. Obviamente que o incremento médio da temperatura será vantajoso para os insetos até certo limite superior, a partir do qual terá efeito deletério.

Os custos de controle de pragas no algodoeiro situam-se em torno de 25% do custo total de produção (BELOT et al., 2016), como pode ser observado na Tabela 1, para lagartas, bicudo e ácaros. Considerando que o incremento maior entre as pragas ocorreu no custo do controle para os ácaros, é possível ter havido maior quantidade ou intensidade de veranicos no período analisado, fato que pode ser agravado, caso as previsões das mudanças climáticas se confirmem no futuro.

Tabela 1. Número de pulverizações e custo de controle das pragas (por grupos) na cultura do algodoeiro. Safras 2012/2013 e 2013/2014.

Praga	Número de pulverizações		Custo de controle (%)	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Lagartas	11	4	45	7
Bicudo	17	20	29,3	35
Ácaros	2	4	5,2	22

Fonte: Belot et al. (2016).

Espacialização geográfica de pragas do algodoeiro

O algodoeiro atrai e hospeda um complexo significativo de pragas, as quais atacam as raízes, caule, folhas, botões florais, maçãs e capulhos (fibra e sementes) (PEREIRA et al., 2006). A intensidade da injúria será diretamente proporcional às densidades populacionais e/ou ao período de tempo de ocorrência dos insetos e ácaros na cultura (SANTOS, 1998).

Neste capítulo serão avaliadas duas pragas do algodoeiro, o curuquerê-do-algodoeiro e o ácaro-vermelho-do-algodoeiro. A escolha dessas pragas deveu-se a dois aspectos: o primeiro, a importância como praga-chave e, o segundo, a possibilidade de surtos populacionais de pragas secundárias.

Os mapas foram elaborados utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark, EUA, tendo como área de estudo as regiões Nordeste, Centro-Oeste e o Estado do Tocantins, por serem grandes áreas produtoras de algodão na atualidade, no Brasil.

Curuquerê-do-algodoeiro (*Alabama argillacea* Hübner)

Conforme descrito por Pereira et al. (2006) e transcrito a seguir:

“A mariposa do curuquerê apresenta hábito noturno, mede cerca de 30 mm de envergadura, possui cor marrom-palha e apresenta duas manchas circulares escuras na parte central das asas anteriores. Os ovos são muito pequenos, de coloração azul-esverdeada, quando recém-colocados, tornando-se transparente à medida que se aproximam da eclosão. Apresentam formato circular e são achatados, sendo depositados isoladamente, tanto na face superior quanto na face inferior da folha do algodoeiro. A lagarta pode medir até 40 mm de comprimento, com coloração variando do verde-amarelado ao verde-escuro. Apresenta a cabeça amarelada com pontuações pretas e listras longitudinais ao longo do corpo. Quando o nível populacional aumenta, as lagartas se tornam enegrecidas. Locomove-se como “mede-palmo”, saltando quando tocada. Ao final da fase larval, a lagarta enrola a folha onde se encontra e tece uma espécie de casulo, passando todo o período pupal no seu interior. A pupa tem formato reniforme e cor castanho-escura (BLEICHER et al., 1981; DEGRANDE, 1998; LUKEFAHR et al., 1984; ZUCCHI et al., 1993). Kasten Junior (1980), estudando a biologia desta praga, observou uma variação da fase larval de 17,6 a 9 dias para as temperaturas de 20°C e 35°C, respectivamente. De acordo com o autor, o número de instares é variável com a temperatura, apresentando seis instares a 20°C e 25°C e cinco instares a 30°C e 35°C. Verificou ainda que a temperatura ideal, para o desenvolvimento das lagartas de *Alabama argillacea*, foi 30°C, apresentando uma viabilidade média de 96,25%. A 25°C, a fase de pré-pupa durou apenas um dia, com uma viabilidade de 98,63%. Para a fase pupal, a temperatura de 30°C foi considerada ideal, pois possibilitou a redução do período de desenvolvimento; o mesmo foi constatado para a temperatura de 35°C. Todavia, a viabilidade da fase pupal a 30°C (94,9%) foi superior à obtida à 35°C (64,8%). A razão sexual média foi 0,565 e 0,567 a 25°C e 30°C, respectivamente. A longevidade variou entre 23,1 dias (20°C) e 2,4 dias (35°C); nas temperaturas de 25°C e 30°C a longevidade foi de 13,6 a 7,9 dias, respectivamente. Nestas mesmas temperaturas, a fecundidade foi de 327,47 e 178,78 ovos, respectivamente. A 20°C e 35°C não foi observada postura”.

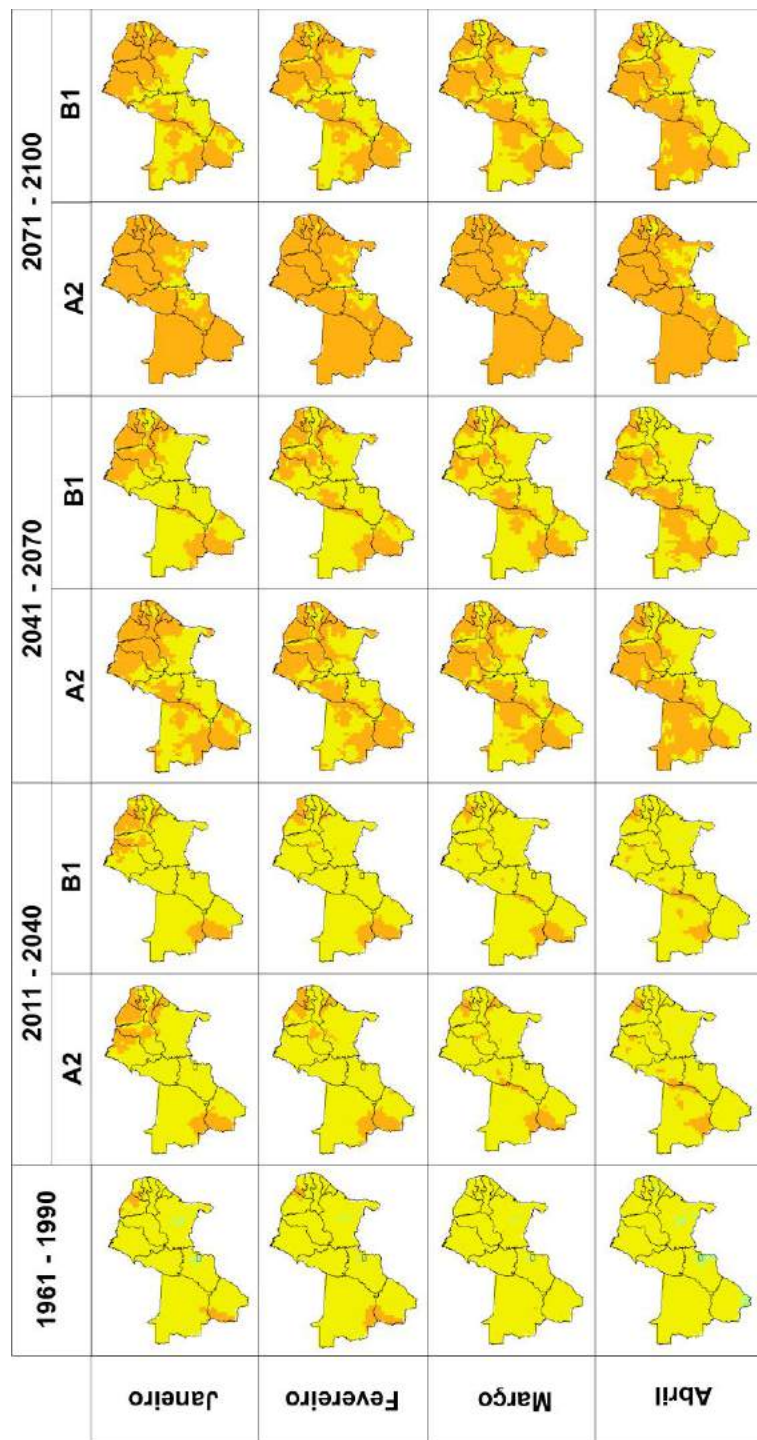
Para estimar o impacto das mudanças climáticas sobre o curuquerê, foram realizados estudos de previsão de gerações e duração das fases do ciclo de vida do inseto, baseados em informações constantes na literatura e análise dos dados gerados com os mapas. Dessa forma, a duração da fase lagarta do curuquerê-do-algodoeiro foi definida baseada na equação obtida por Kasten Junior e Parra (1984):

$$Y = 30,18801 - 0,65491 * X \text{ (Equação 1)}$$

onde: Y é a duração do estágio (dias) e X é temperatura (°C).

Com o emprego do SIG, essa equação foi aplicada ao banco de dados geográfico, por meio de operação de álgebra de mapas e obtendo-se mapas de duração em dias da fase larval para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), para os cenários A2 (incremento de 3,4°C, na melhor estimativa, numa faixa provável de 2,0 a 5,4°C) e B1 (incremento de 1,8°C, na melhor estimativa, numa faixa provável de 1,1 a 2,9°C), para as regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Os mapas de duração em dias da fase larval do curuquerê confeccionados para os climas futuros indicam que, de um modo geral, haverá aumento das áreas de ocorrência de ciclos mais curtos, favorecendo ao desenvolvimento da praga, em relação ao clima de referência, tanto no cenário B1 quanto no A2, em todos os meses do ano (Figuras 1, 2 e 3), mas com o cenário A2 sendo mais destacado. Além disso, esse aumento será progressivo ao longo dos períodos futuros avaliados para a região Nordeste (Figuras 4 e 5) e para a região Centro-Oeste e Estado do Tocantins (Figuras 6 e 7). O ciclo mais curto significa uma melhor capacidade de reprodução e, conseqüentemente, maior número de gerações do inseto.



■ 6 - 9 ■ 9 - 12 ■ 12 - 15 ■ 15 - 18 ■ 21 - 24

Figura 1. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de janeiro a abril nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

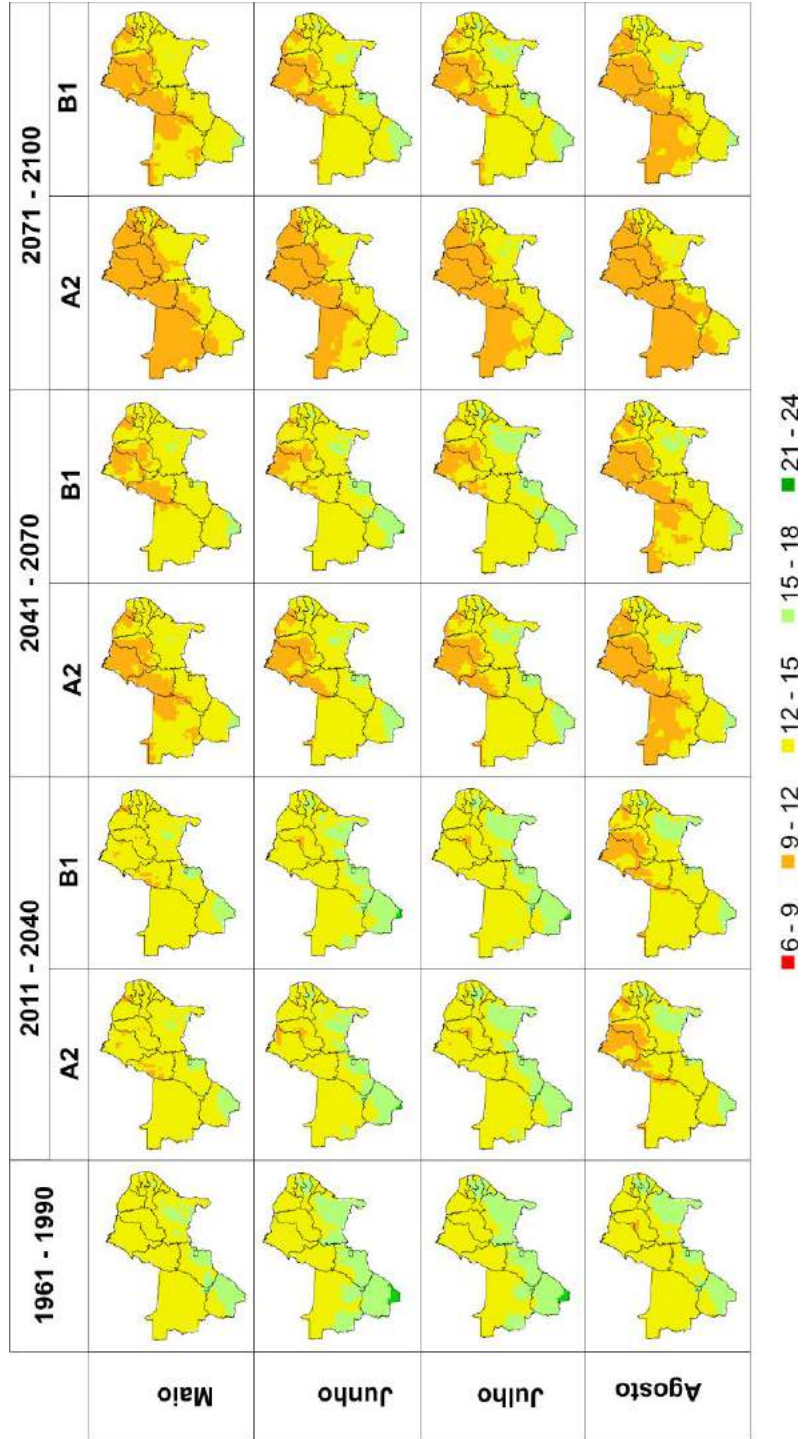


Figura 2. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de maio a agosto nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

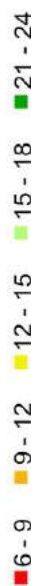
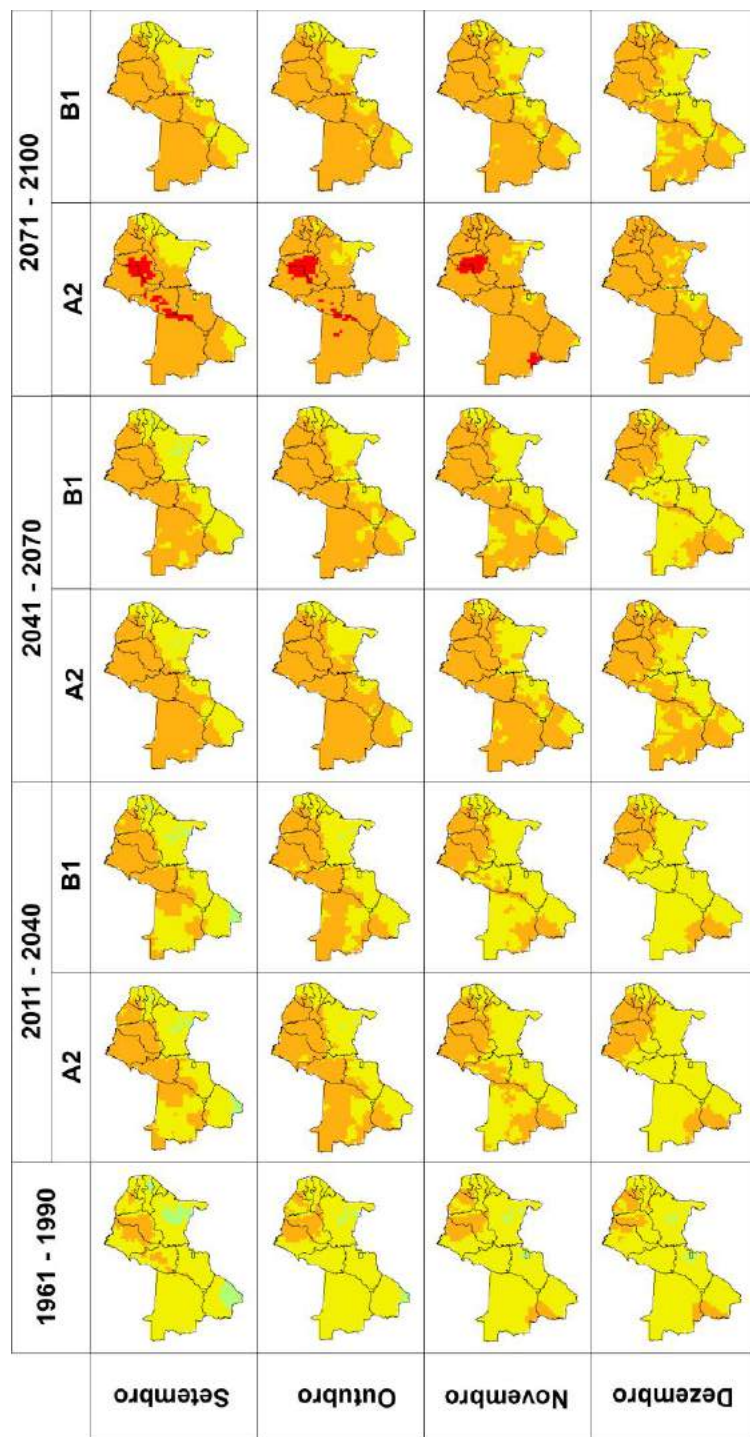


Figura 3. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de setembro a dezembro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

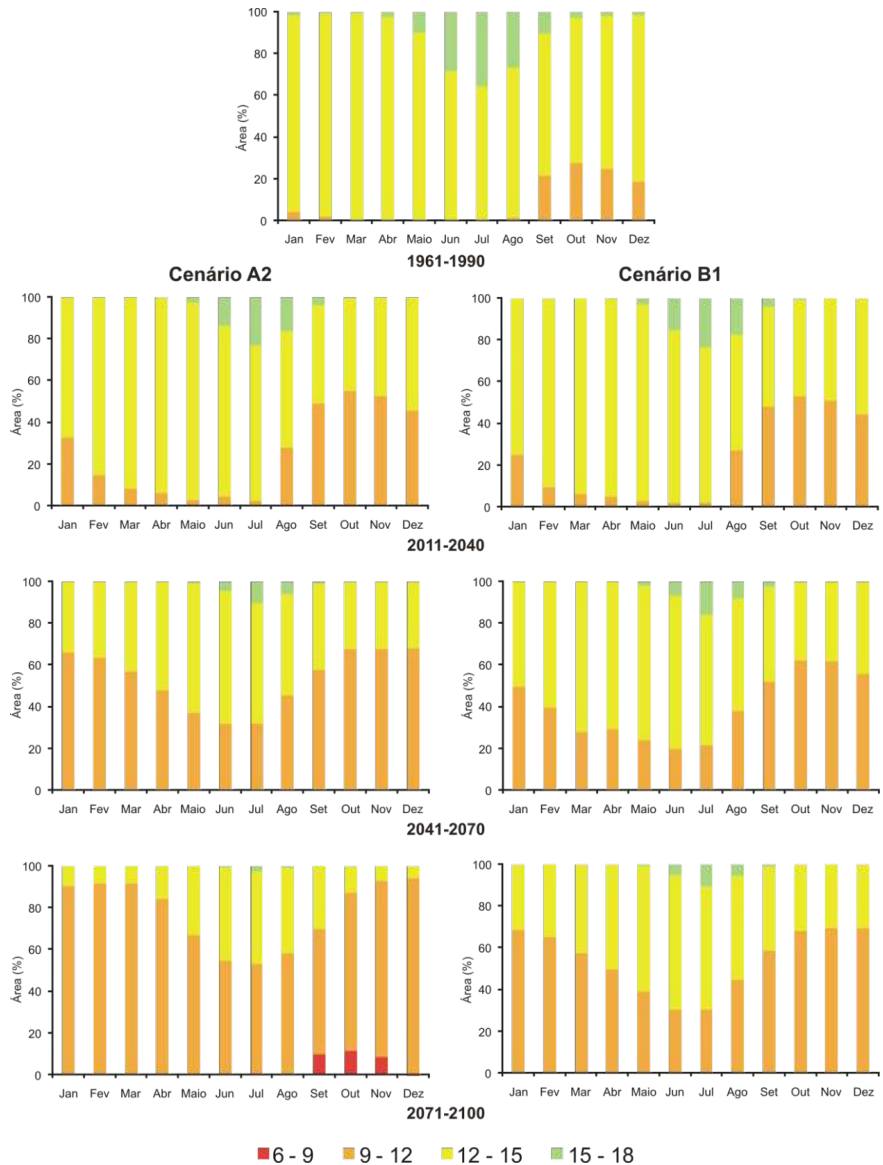


Figura 4. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

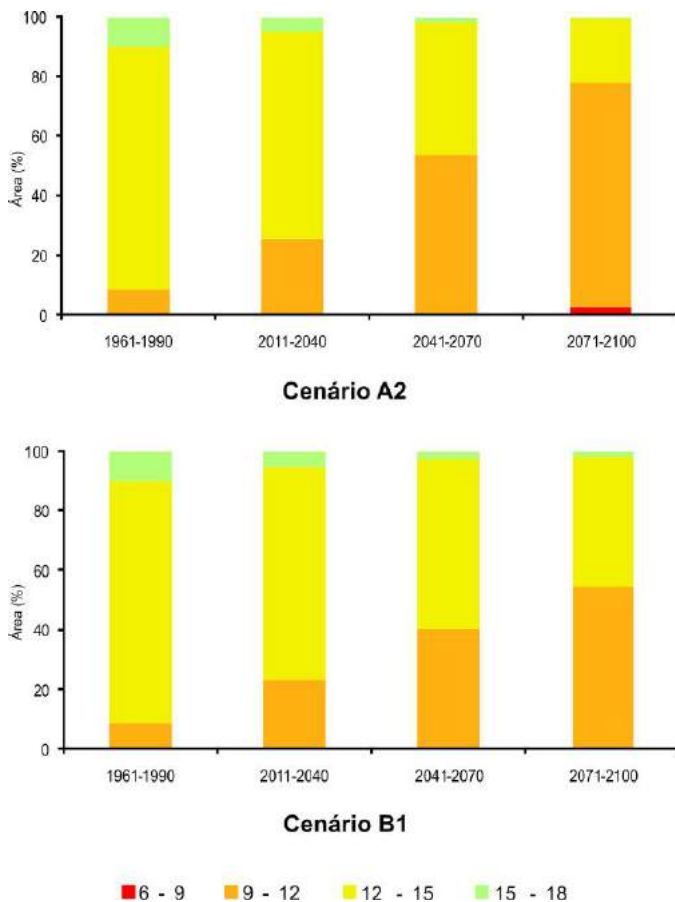


Figura 5. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

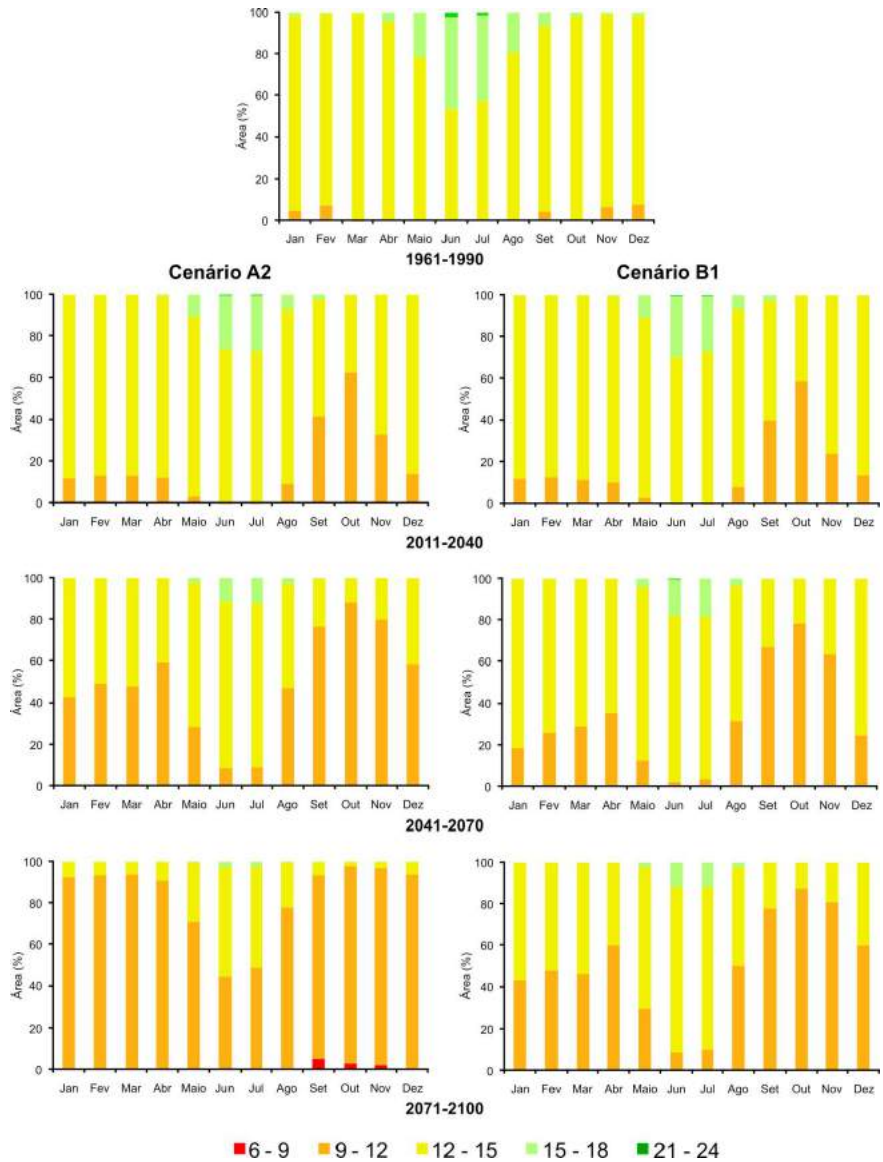


Figura 6. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

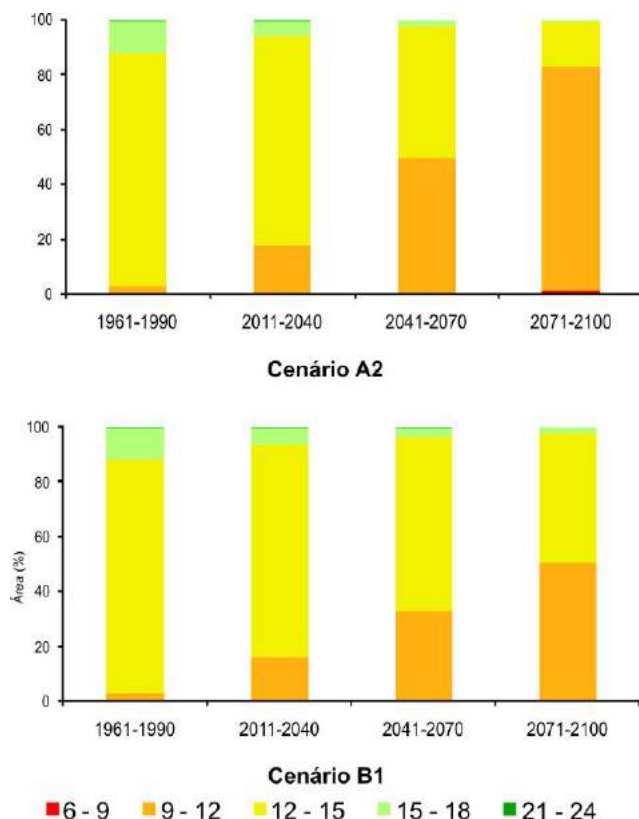


Figura 7. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

No período de referência, de 1961-1990, considerando os meses de outubro a fevereiro, geralmente época de plantio nas diferentes regiões brasileiras, observa-se predominância de área com ciclo de duração de 12 a 15 dias por mês. Porém, no futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), haverá um incremento gradativo nas áreas com predomínio de menor duração do ciclo de 9 a 12 dias por mês, ou seja, as condições serão mais favoráveis para a praga se reproduzir. Por exemplo, o mês de janeiro, em que para as condições do Cerrado o algodoeiro já estaria com 80 a 90 dias após o plantio, para o

período de referência, tem-se que a área com ciclo de 9 a 12 dias por mês seria de apenas 5%, em média, enquanto para o período seguinte (2011-2040), essa área saltaria para 34%. Observa-se que, nas estimativas para as décadas seguintes, o incremento será mais substancial, alcançando no trimestre setembro-outubro-novembro algo próximo a 10% da área com ciclo de 6 a 9 dias por mês. Com esse incremento da área pode-se esperar também a elevação no custo de controle, porém não necessariamente na mesma proporção.

A diferenciação da influência do cenário de emissão de gases de efeito estufa, entre os cenários A2 e B1, será pouco observada em períodos mais curtos, como no período de 211-2040, mas com o efeito acumulativo destacado em médio e longos períodos 2041-2070 e 2071-2100, em função do aumento da previsão de temperatura média no futuro como influência das mudanças climáticas, tanto para a região Nordeste (Figuras 4 e 5), como para a região Centro-Oeste e Tocantins (Figuras 6 e 7). Também é possível observar que apesar do prognóstico de aumento da favorabilidade de desenvolvimento do curuquerê no futuro nas áreas de estudo, o comportamento sazonal ainda manter-se-á, de forma geral.

Para a região Nordeste (Figuras 4 e 5), observa-se que os meses de janeiro a abril do período de 2041-2070, apresentarão maior incremento na favorabilidade, com ciclo de duração de 9 a 12 dias por mês; no cenário B1, os meses de novembro e dezembro terão valores entre 50% e 60% da área ocupada e no cenário A2, esses valores ultrapassarão 60% da área. Mas, a maior consequência é que nos meses seguintes essa porcentagem manter-se-á elevada, ainda acima dos 60%, enquanto para o cenário B1 estes valores não passarão de 50%. Para 2071-2100, a proporção manter-se-á, mas com valores absolutos maiores, alcançando nos meses de setembro a novembro ciclo de 6 a 9 dias.

Para a região Centro-Oeste e o Tocantins (Figuras 6 e 7), observa-se que outubro é o mês que apresentará maior favorabilidade no período de 2011-2040, com valores próximos ao que ocorre com a região Nordeste, contudo no período seguinte a favorabilidade atingirá valores próximos a 80% da área, para o trimestre setembro-novembro, ultrapassando 80% no mês de outubro, para o cenário A2. O mesmo ocorrerá para o período seguinte, 2071-2100, mas para o cenário A2 atingindo quase 100% da área com 9 a 12 dias de ciclo, ao passo que para o cenário B1 manter-se-á próximo aos 80%. É possível observar uma leve tendência à maior favorabilidade de desenvolvimento do curuquerê para a região Centro-Oeste e Tocantins (Figura 7), em comparação com a região Nordeste (Figura 5), com pequena ocorrência da classe de ciclo de duração de 6 a 9 dias para o cenário A2. Contudo, considerando que o Centro-Oeste é, atualmente, a principal região produtora do País, os impactos sobre o cultivo do algodão poderão ser mais impactantes, principalmente em função das extensas áreas contínuas de cultivo, o que contribui para a complexidade do controle das pragas, destacando-se fatores como a logística e os custos operacionais.

O aumento das áreas favoráveis ao desenvolvimento da praga não necessariamente implica em maior ocorrência sobre a cultura. Isso só confirmar-se-á se ao mesmo tempo as cultivares tolerarem ser cultivadas nessas áreas. Comumente, tem-se que a necessidade térmica (graus dias) dos insetos é menor que a das plantas; com essa condição há de se esperar que a praga se beneficie. Outro ponto é a possibilidade de se ter, mantendo-se essa condição, maior contiguidade de área cultivada. Assad et al. (2013) estimaram que o aumento da temperatura praticamente não alterará a área apta para o cultivo do algodoeiro no centro-oeste, principal região produtora. Segundo eles, a redução da área de baixo risco será de 1,5% para aquela região.

Ácaro vermelho (*Tetranychus ludeni* Zacher)

Os ácaros tetraniquídeos apresentam um ciclo de vida bastante curto, principalmente nas condições do Brasil, passando, geralmente, pelas fases de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto. Apresentam, ainda, fases quiescentes entre as fases imaturas denominadas protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida (FLECHTMANN, 1975; KRANTZ, 1978). Podem reproduzir-se sexuada e assexuadamente por partenogênese arrenótoca (EVANS, 1992; HUFFAKER et al., 1969; KRANTZ, 1978). São de tamanho bastante reduzido, o que dificulta sua identificação em campo. Em geral, sabe-se da presença de ácaros nas plantas pela clorose das folhas, que ficam ressequidas e tendem a cair. Seu ataque normalmente se dá em reboleira, ou seja, pontos dentro da plantação.

De acordo com Silva (2002), os períodos de ovo a adulto do ácaro vermelho foram inversamente proporcionais ao aumento da temperatura, variando de 20,77 (20°C) a 8,50 dias (30°C) para fêmeas, e 18,83 (20°C) a 7,75 dias (30°C) para machos. Ainda, segundo Silva (2002), a 30°C verificou-se o maior número de ovos por fêmea/dia (3,47), a maior fecundidade (61,29 ovos) e o menor tempo médio de geração (9,27 dias).

Diferentemente da lagarta, o ácaro vermelho não é considerado uma praga-chave, ou seja, não é uma praga que está sempre presente e que causa danos econômicos constantemente. Contudo, sua presença pode ser um indicativo de veranicos nas áreas de plantio, condição que favorece seu desenvolvimento e crescimento populacional. Esses veranicos são esperados com os distúrbios provocados pelas mudanças no clima; assim, há tendência de favorecimento da praga nessas condições.

Na elaboração dos mapas de favorabilidade à ocorrência do ácaro vermelho, foram utilizadas as regras apresentadas na Tabela 2,

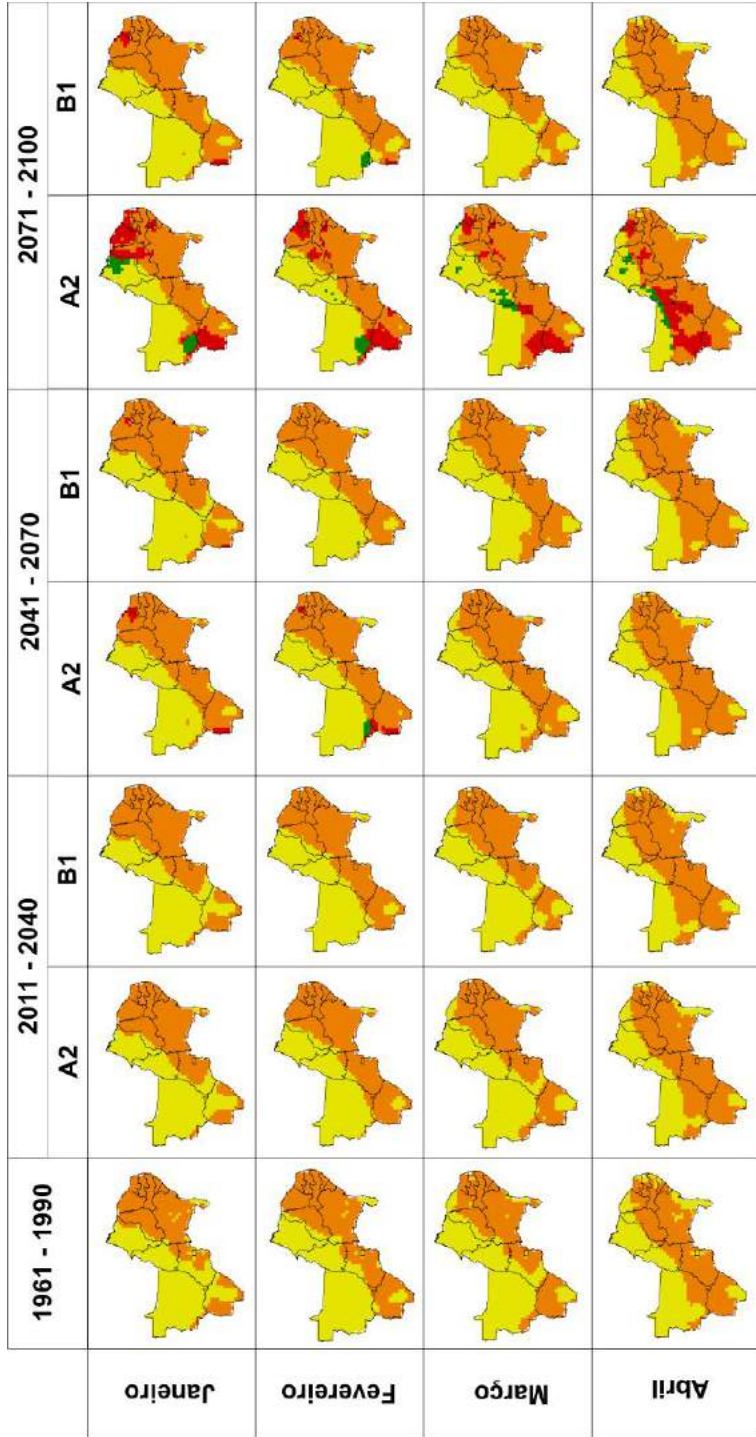
aplicando-as à lógica matemática do SIG. As faixas de temperatura média e de umidade relativa do ar foram baseadas em informações constantes na literatura (SILVA, 2002) e após a validação dos mapas pelos especialistas.

Tabela 2. Faixas de favorabilidade ao desenvolvimento do ácaro vermelho *Tetranychus ludeni*.

Temperatura (°C)	UR (%)		
	UR < 60	60 < UR < 80	UR > 80
< 14	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável
14 < T < 23	Pouco Favorável	Pouco Favorável	Pouco Favorável
23 < T < 30	Favorável	Favorável	Pouco favorável
30 < T < 35	Favorável	Muito favorável	Desfavorável
> 35	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável

Pode-se observar pelas Figuras 8, 9 e 10, de forma geral, que a favorabilidade para ocorrência do ácaro vermelho segue a mesma tendência do curuquerê, com incremento gradativo em 2011-2040, e panorama se agravando para os períodos seguintes. Observa-se ainda que, para o último período de projeções (2071-2100), alguns meses aparecem como desfavoráveis, talvez em função da característica do seu ciclo de vida (ovo-adulto) ser de curta duração e a fase de ovo é a mais susceptível às alterações ambientais, é possível que com o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar, esses ovos venham a dessecar, levando-os à morte.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins



Desfavorável
 Pouco favorável
 Favorável
 Muito favorável

Figura 8. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus ludeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de janeiro a abril no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

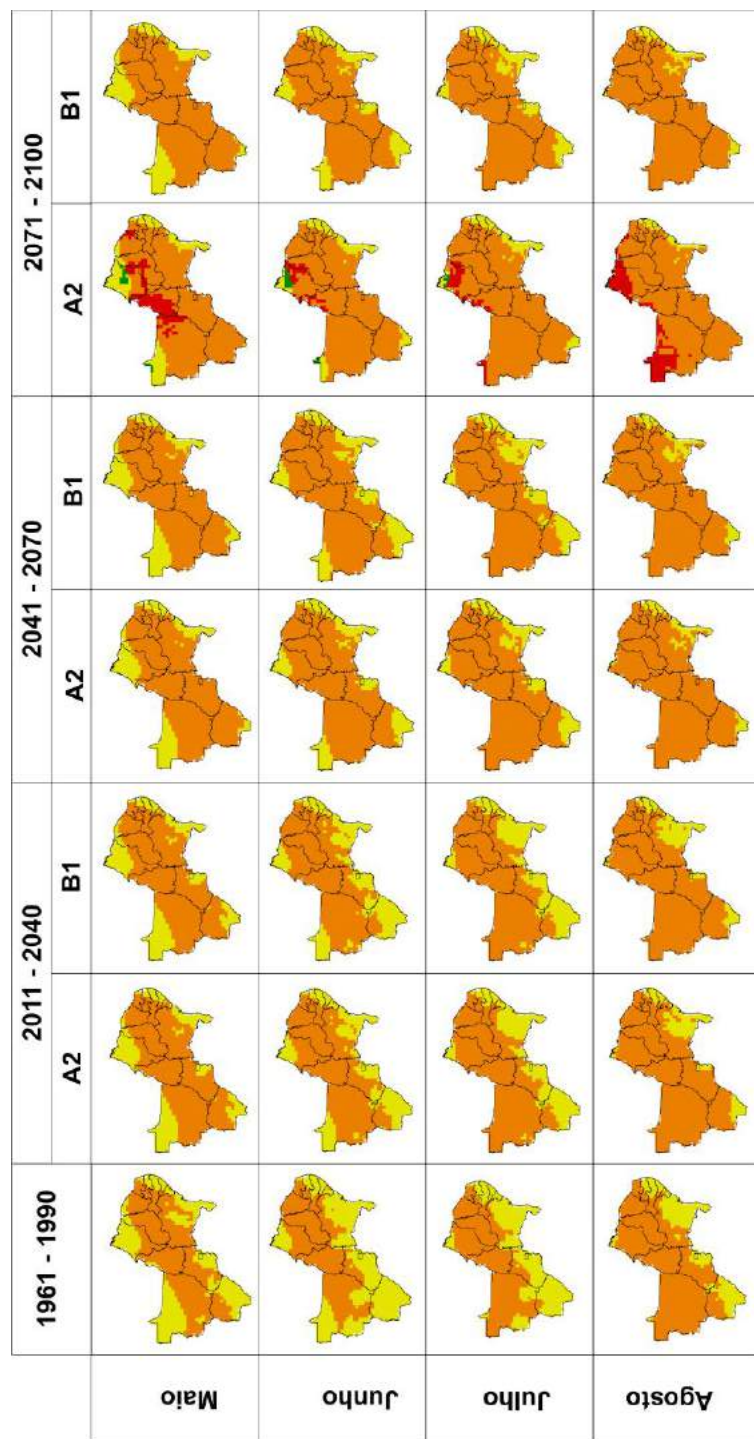


Figura 9. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus ludeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de maio a agosto no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

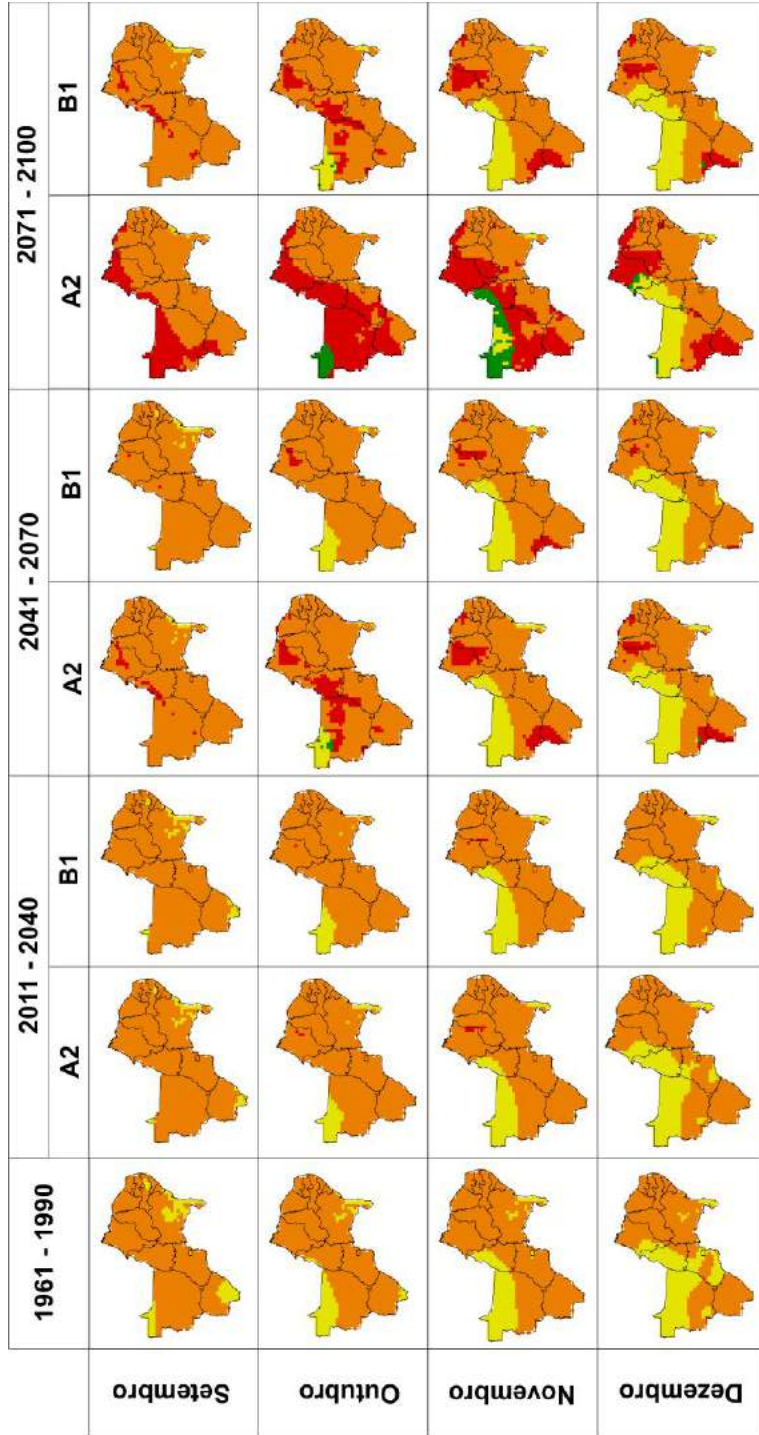


Figura 10. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus ludeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de setembro a dezembro no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

O risco de veranicos associado à maior favorabilidade para o ácaro tendem a favorecer surtos populacionais mais frequentes, aumentando a necessidade de controle, normalmente realizado com produtos fitossanitários, gerando mais custos, maior risco de contaminação ambiental e, como consequência, redução na rentabilidade para os produtores. Observando-se, por exemplo, os meses de janeiro e abril, pode-se verificar que haverá incremento na área favorável em 2011-2040. Os incrementos não são tão elevados, mas se for considerado um incremento de 10% da área em uma população com potencial biótico elevado, pode haver surtos populacionais com maior intensidade.

O risco de pragas secundárias se tornarem pragas-chave reside, dentre outros fatores, na possibilidade de atacar as plantas na fase final de produção, o que tornaria o controle inviável. No caso do algodoeiro, um surto de ácaros na fase em que os capulhos estão abertos (maturação) inviabiliza o controle químico, pois nessa fase haveria molhamento da pluma, comprometendo sua qualidade. Os riscos de pragas secundárias se tornarem pragas-chave estão sempre associados às condições ambientais, janela ecológica, sejam elas otimizadas por fatores bióticos ou abióticos.

De maneira geral, pode-se considerar um padrão parecido com o do curuquerê-do-algodoeiro, mas com menor intensidade para a região Nordeste (Figuras 11 e 12). Possivelmente, isso decorre por essa região já apresentar uma variação climática muito próxima aos limites ótimos para o ácaro vermelho (temperatura média e umidade relativa do ar). Destaca-se que no mês de novembro em 2071-2100, no cenário A2, a classe muito favorável superará os 30% da área.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

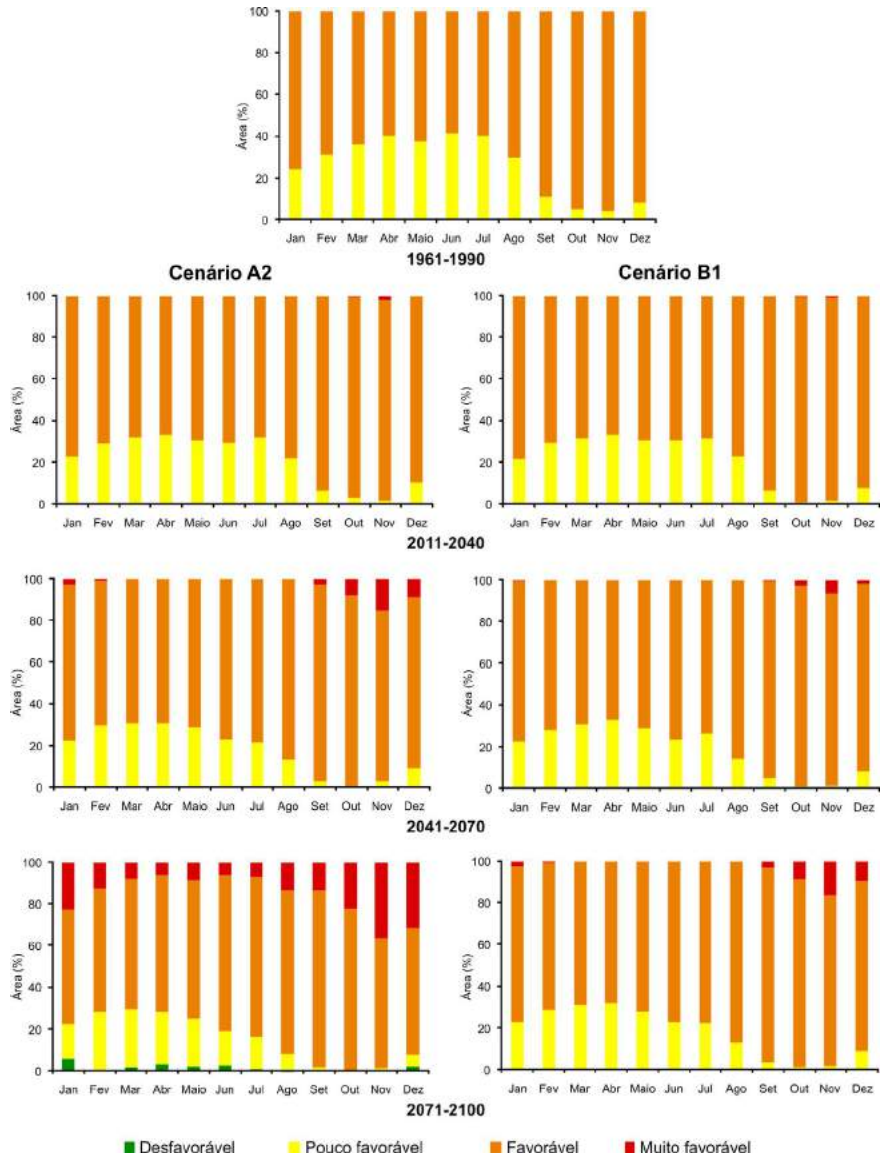


Figura 11. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

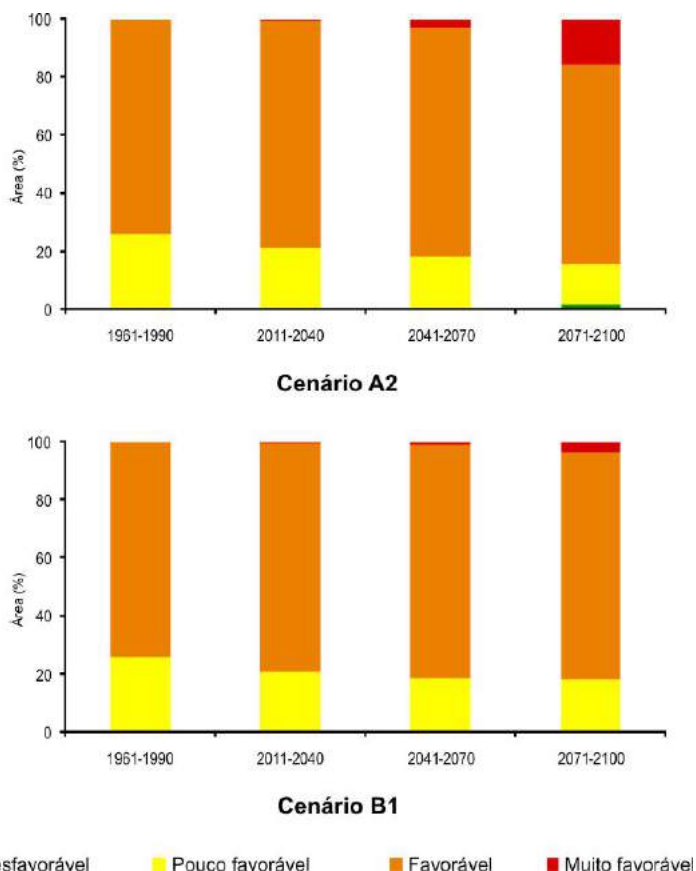


Figura 12. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

Para a região Centro-Oeste e o Estado do Tocantins (Figuras 13 e 14), as variações serão destacadamente maiores. Observa-se que os incrementos na favorabilidade serão intensos tanto na dispersão ao longo do ano como nos meses isoladamente. Para o período de 2011-2040, pouca diferença entre os dois cenários é observada, indicando que as alterações em ambos os casos poderão ser igualmente intensas. Por consequência, a área pouco favorável diminuirá sensivelmente nos dois cenários, chegando a ocorrer no cenário A2, em alguns meses de 2071-2100, área desfavorável. Isso ocor-

re, provavelmente, em decorrência da redução acentuada da umidade relativa do ar, condição extremamente danosa para os ovos dos ácaros. Nesse caso, poderia ser vantajoso, mas proporcionalmente representaria no máximo 20% da área no mês de novembro.

Nota-se que para o ácaro vermelho haverá diferenças mais significativas quando comparado ao curuquerê, podendo ocorrer até mesmo um panorama desfavorável em 2071-2100. Contudo, essa condição seria muito pequena em relação ao total da favorabilidade observada. Pode-se deduzir que as alterações poderão ser muito mais impactantes sobre esses organismos do que sobre insetos de ciclo mais longo, como as lagartas. Outro aspecto a ser considerado é que os ácaros normalmente têm uma gama maior de hospedeiros, aspecto que pode contribuir para sua maior permanência no campo e, conseqüentemente, incrementar seus surtos populacionais.

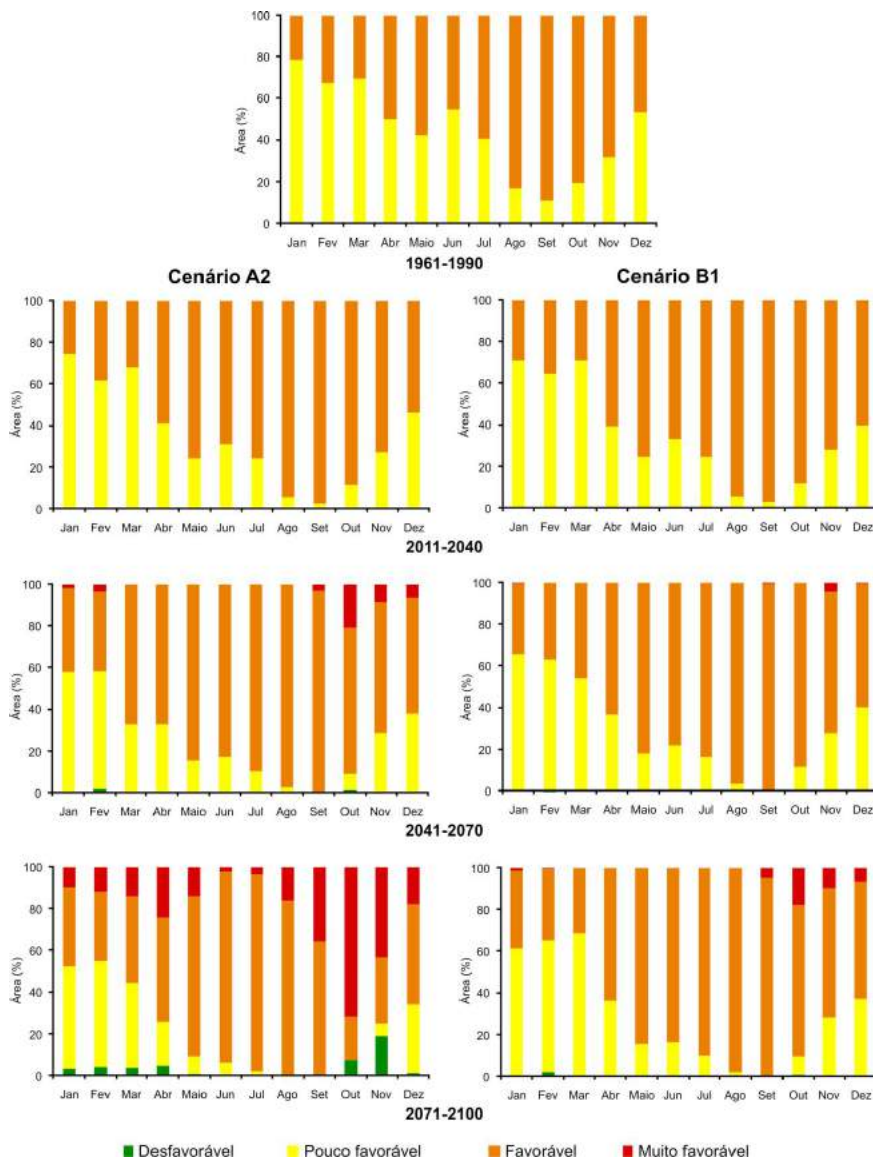


Figura 13. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

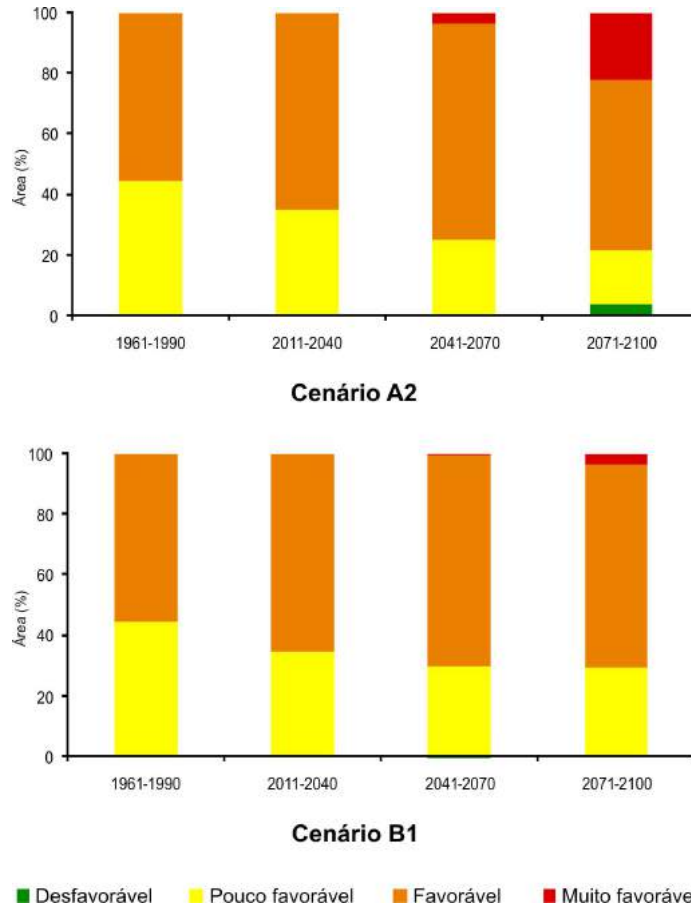


Figura 14. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Considerações finais

Dentre as atividades econômicas consideradas de grande risco, está a agricultura. No mesmo momento em que se observam alterações no clima, que podem afetar a vida na terra, a população é crescente e a disponibilidade de alimento pode se tornar um sério problema com o agravamento das alterações climáticas. A agricultura, principalmente de sequeiro (dependente diretamente de chu-

vas), que é aquela praticada sem irrigação artificial, é a mais propagada e a mais sujeita às intempéries ambientais. Num cenário de aquecimento global, redução dos regimes pluviais e redistribuição das zonas produtoras de alimentos, tem-se associado uma dinâmica de seres que convivem em harmonia ou não com os cultivos agrícolas.

Do ponto de vista de cadeia alimentar terrestre, têm-se que as plantas são as produtoras de alimento e os herbívoros se alimentam delas para suprir suas necessidades nutricionais; reduzindo essa cadeia ao ambiente agrícola, há os cultivos e, associada a eles, uma série de organismos que dependem direta ou indiretamente desses cultivos. Essas relações podem ser drasticamente alteradas com as mudanças no clima, sendo benéficas ou não. Considerando a cultura do algodão, tanto no Cerrado como no Semiárido, há uma perspectiva de grandes impactos negativos em função do incremento nos problemas causados por insetos-praga. Pode-se estimar que os custos de produção podem aumentar de forma significativa, pois o algodoeiro é altamente propenso ao ataque de pragas principalmente pela sua fenologia, disponibilidade de recursos nutricionais para diversos insetos, dentre outros fatores.

Embora ainda não seja possível prever com exatidão o que acontecerá no futuro, as previsões têm, entre outras funções, a de permitir aos pesquisadores, técnicos, governos, etc. monitorar o que está acontecendo para que sejam tomadas as medidas adequadas para a adaptação aos problemas que venham a surgir, ou mesmo prevenir que aconteçam.

Entende-se que as alterações climáticas poderão ser um divisor de água entre os que estiverem ou não preparados, permitindo à agricultura evitar o colapso nos sistemas produtivos, pois os sistemas agrícolas estão entre os setores mais vulneráveis às mudanças climáticas.

Referências

- ALLEN, L.; VU, J.; VALLE, R.; BOOTE, K.; JONES, P. Nonstructural carbohydrates and nitrogen of soybean grown under carbon dioxide enrichment. **Crop Science**, v. 28, n. 1, p. 84-94, 1988.
- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; BELTRÃO, N. E. M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n.1, p. 1-8, 2013.
- 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 effect of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.
- BEZEMER, T. M.; JONES, T. Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. **Oikos**, v. 82, n. 2, p. 212-222, 1998.
- BELOT, J. L.; BARROS, E.; MIRANDA, J. E. Riscos e oportunidades: o bicudo-do-algodoeiro. In: DESAFIOS do Cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade. Cuiabá: Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão, 2016. v. 1, p. 77-118.
- COTRUFO, M. F.; INESON, P.; SCOTT, A. Elevated CO₂ reduces the nitrogen concentration of plant tissues. **Global Change Biology**, v. 4, n. 1, p. 43-54, 1998.
- EVANS, G. O. **Principles of acarology**: reproductive systems. Wallingford: CAB, 1992. 563 p.
- FLECHTMANN, C. H. W. **Elementos de acarologia**. São Paulo: Nobel, 1975. 344 p.
- GUERENSTEIN, P. G.; HILDEBRAND, J. G. Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. **Annual Review of Entomology**, v. 53, p. 161-178, 2007.
- HAMILTON, J. G.; DERMODY, O.; ALDEA, M.; ZANGERL, A. R.; ROGERS, A.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 2, p. 479-485, 2005.

HUFFAKER, C. B.; VRIE, M. van de; McMURTRY, J. A. The ecology of tetranychid mites and their natural control. **Annual Review of Entomology**, v. 14, p. 123-129, 1969.

KASTEN JUNIOR, P.; PARRA, J.R.P. Bioecologia de *Alabama argillacea* L. Biologia em diferentes temperaturas, na cultivar de algodoeiro IAC-17. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 269-280, 1984.

KRANTZ, G. W. **A manual of acarology**. 2.ed. Corvallis: Oregon State University, 1978. 509 p.

LINCOLN, D. E., FAJER, E. D., JOHNSON, R. H. Plant-insect herbivore interactions in elevated CO₂ environments. **Tree**, v. 8, n. 2, p. 64-68, 1993.

MULCHI, C.; SLAUGHTER, L.; SALEEM, M.; LEE, E.; PAUSCH, R.; ROWLAND, R. Growth and physiological characteristics of soybean in open-top chambers in response to ozone and increased atmospheric CO₂. **Agricultural Ecosystems Environmental**. v. 38, n. 1-2, p. 107-118, 1992.

NORBY R. J.; WULLSCHLEGER S. D.; GUNDERSON C. A.; JOHNSON D. W.; CEULEMANS R. Tree responses to rising CO₂ in field experiments: Implications for the future forest. **Plant, Cell & Environment**, v. 22, n. 6, p. 683-714, 1999.

PEREIRA, M. J. B.; ALBUQUERQUE, F. A.; BASTOS, C. S. Pragas do algodoeiro: identificação, biologia e sintomas de ataque. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 3, p. 1073-1117, 2006.

REID, C.; FISCUS, E. Effects of elevated [CO₂] and/or ozone on limitations to CO₂ assimilation in soybean (*Glycine max*). **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 885-895, 1998.

SANTOS, W. J. dos. Problemas e soluções do manejo integrado de pragas do algodão. In: SEMINÁRIO ESTADUAL DO ALGODÃO, 4. 1998. **Anais...** Cuiabá: Fundação-MT, 1998. p. 39-48.

SILVA, C. A. D. Biologia e exigências térmicas do ácaro-vermelho (*Tetranychus ludeni* Zacher) em folhas de algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 573-580, 2002.

WHITTAKER, J. B. Impacts and responses at population level of herbivorous insects to elevated CO₂. **European Journal Entomology**, v. 96, n. 2, p. 149-156, 1999.