

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Zoneamento de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas**

**Marisol Giraldo Jaramillo**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutora em Ciências. Área de concentração:  
Entomologia

**Piracicaba  
2016**

**Marisol Giraldo Jaramillo**  
**Engenheira Agrônoma**

**Zoneamento de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas**  
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutora em Ciências. Área de concentração:  
Entomologia

**Piracicaba**  
**2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Giraldo Jaramillo, Marisol

Zoneamento de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas / Marisol Giraldo Jaramillo. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2016.

156 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Broca-do-café
2. Bicho-mineiro do cafeeiro
3. Temperaturas
4. Exigências térmicas
5. Sistema de Informação Geográfica I. Título

CDD 632.768  
G516z

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Dedico a meu filho **JUAN SEBASTIAN GIRALDO JARAMILLO**, desde que ele nasceu, salvou minha vida, obrigada por tudo filho.

A minha filha **LAURA MARIANA GIRALDO GARCIA**, Deus sabe como faz as coisas acontecer, você é nosso anjinho.

A minha mãe **CONSUELO JARAMILLO GIRALDO**, por acreditar sempre em mim.

A **JAVIER GARCIA GONZALEZ**, por caminhar a meu lado nesta aventura, chamada vida.

Ao meu pai **FRANCISCO ANTONIO GIRALDO TOVAR**, pela ajuda

Ao meu avô **ALFREDO JARAMILLO GIRALDO** (*in memoriam*) e minhas tias **DORA JARAMILLO GIRALDO** e **RUBY JARAMILLO GIRALDO**.



## AGRADECIMENTOS

Ao professor **JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA**, pela orientação, ensinamentos e paciência, um grande ser humano, obrigada.

À **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)**, da Universidade de São Paulo pela oportunidade no curso e excelente infraestrutura.

Ao programa **PEC-PG** da **CAPES**, pela concessão da bolsa de estudos.

À **NEIDE ZÉRIO**, pela ajuda na elaboração da dieta de broca-do-café e por ser minha amiga nestes anos.

Aos que foram estagiários das pesquisas que muito me ajudaram: **ANGIE GAMEZ** (UNAL-Bogotá) e **BRUNO CARVALHAIS** (Graduando em Agronomia).

A meus companheiros de **CENICAFE-Colômbia**, em especial a Dra. **ESTHER CECILIA MONTOYA RESTREPO**, pela ajuda nas análises estatísticas, a Dr. **PABLO BENAVIDES MACHADO**, Dr. **JUAN CARLOS GARCIA**, Dr. **ALVARO JARAMILLO ROBLEDO**, Dr. **ANDRES PEÑA**, Disciplina de Agrometeorologia pela ajuda nos diferentes momentos da pesquisa.

A Dra. **JOHANNA BAJONERO CUERVO**, obrigada por tudo.

Ao mestre **ADRIANO GOMES GARCIA** (ESALQ-USP) e biólogo **AUDBERTO QUIROGA** (CENICAFE) pelo auxílio na confecção dos mapas e **ELIANA GARCIA**, biblioteca ESALQ, pela ajuda, **CARLOS HERNAN BARRERA ROJAS**..

A meus amigos **ALINE ROCHA**, **LEANDRO GEREMIAS**, **CAROLINA DIJORGE**, **CAROLINA REGIADA**, **GABRIEL RUNGO** pela ajuda em todo momento.

Aos grandes companheiros do laboratório de Biologia de insetos, com os quais convivi durante esses anos: **Cris Jensen**, **Jaci Vieira**, **Aline Bertin**, **Patrícia Milano**, **Laís**, **Fernanda**, **Aloisio**, **Luan**, **Cristiane**, **Lucas**, **Guilherme**.

Aos professores **Wesley Godoy**, **Sinval Silveira Neto**, **Paulo Sentelhas** (Dep. de Biosistemas ESALQ), **Francisco André Tanaka** pela amizade, ajuda, orientações dadas.

Ao **Instituto Agrônomo de Campinas IAC**, pela ajuda com as coletas de broca-do-café.

A todas as pessoas que apoiaram a estadia de nossa família no Brasil: **Karla Capeletti**, **CCIN**, sempre estarei agradecida.



**Caminante, son tus huellas  
el camino y nada más;  
Caminante, no hay camino,  
se hace camino al andar.  
Al andar se hace el camino,  
y al volver la vista atrás  
se ve la senda que nunca  
se ha de volver a pisar.  
Caminante no hay camino  
sino estelas en la mar.**

Extracto de Proverbios y cantares (XXIX)

**Antonio Machado**





## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO.....   | 13 |
| ABSTRACT.....   | 15 |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 17 |
| Referências.....  | 19 |
| 2 BIOLOGIA E TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE <i>Hypothenemus hampei</i><br>(Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) EM TEMPERATURAS<br>CONSTANTES.....                                      | 21 |
| Resumo.....   | 21 |
| Abstract.....   | 21 |
| 2.1 Introdução.....   | 22 |
| 2.2 Material e Métodos.....   | 23 |
| 2.2.1 Dieta artificial para <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari, 1867) .....  | 23 |
| 2.2.2 Criação de manutenção de <i>H. hampei</i> .....   | 25 |
| 2.2.3 Biología de <i>H. hampei</i> em diferentes temperaturas.....  | 26 |
| 2.2.4 Tabela de vida de fertilidade de <i>H. hampei</i> em diferentes temperaturas.....   | 26 |
| 2.3 Resultados e Discussão.....   | 28 |
| 2.3.1 Avaliação de dieta artificial .....   | 28 |
| 2.3.2 Biologia de <i>H. hampei</i> em diferentes temperaturas.....  | 29 |
| 2.3.3 Tabela de vida de fertilidade de <i>H. hampei</i> em diferentes<br>temperaturas.....  | 36 |
| 2.4 Conclusões .....  | 39 |
| Referências.....  | 39 |
| 3 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari, 1867) (Coleoptera:<br>Curculionidae) PARA SEU ZONEAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO -<br>BRASIL E NA REGIÃO CAFEEIRA DA COLÔMBIA..... | 43 |
| Resumo.....   | 43 |
| Abstract.....   | 43 |
| 3.1 Introdução.....   | 44 |
| 3.2 Material e Métodos.....   | 46 |
| 3.2.1 Determinação das exigências térmicas de <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari,<br>1867).....  | 46 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.2.2   | Analises estatísticas dos parâmetros biológicos.....  | 48  |
| 3.2.3   | Número de gerações de <i>H. hampei</i> .....  | 48  |
| 3.2.3.1 | Número de gerações de <i>H. hampei</i> com base nas normais climatológicas de temperatura.....  | 48  |
| 3.2.3.2 | Obtenção da informação climática.....   | 48  |
| 3.2.4   | Utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinação do número de gerações de <i>H. hampei</i> para o Estado de São Paulo - Brasil e para a região cafeeira da Colômbia..... | 50  |
| 3.3     | Resultados e Discussão.....   | 54  |
| 3.3.1   | Determinação das exigências térmicas de <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari, 1867).....   | 54  |
| 3.3.2   | Número de gerações de <i>H. hampei</i> .....  | 61  |
| 3.3.2.1 | Para o estado de São Paulo, Brasil.....   | 61  |
| 3.3.2.2 | Para a região cafeeira da Colômbia.....   | 77  |
| 3.4     | Conclusões.....   | 95  |
|         | Referências.....  | 96  |
| 4       | BIOLOGIA E TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) EM TEMPERATURAS CONSTANTES.....                                       | 103 |
|         | Resumo.....   | 103 |
|         | Abstract.....   | 103 |
| 4.1     | Introdução .....  | 103 |
| 4.2     | Material e Métodos.....   | 105 |
| 4.2.1   | Criação de manutenção de <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842)...105   |     |
| 4.2.2   | Biologia de <i>L. coffeella</i> em diferentes temperaturas.....   | 106 |
| 4.2.3   | Tabela de vida de fertilidade de <i>L. coffeella</i> em diferentes temperaturas.....  | 106 |
| 4.3     | Resultados e Discussão.....   | 108 |
| 4.3.1   | Biologia de <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842) em diferentes temperaturas.....  | 108 |
| 4.3.1.1 | Fase de ovo .....   | 108 |
| 4.3.1.2 | Fase larval.....  | 109 |
| 4.3.1.3 | Fase pupal.....   | 110 |
| 4.3.1.4 | Razão sexual.....   | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.1.5. Período ovo-adulto.....   | 112 |
| 4.3.1.6 Fase adulta.....   | 114 |
| 4.3.2 Tabela de vida de fertilidade de <i>L.coffeella</i> em diferentes temperaturas.....  | 117 |
| 4.4 Conclusões.....  | 119 |
| Referências.....   | 119 |
| 5 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-Mèneville, 1842)<br>(Lepidoptera: Lyonetiidae) PARA SEU ZONEAMENTO NO ESTADO DE SÃO<br>PAULO - BRASIL.....  | 123 |
| Resumo.....  | 123 |
| Abstract.....  | 123 |
| 5.1 Introdução.....  | 123 |
| 5.2 Material e Métodos.....  | 125 |
| 5.2.1 Determinação das exigências térmicas de <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-<br>Mèneville, 1842).....  | 125 |
| 5.2.2 Análises estatísticas dos parâmetros biológicos.....   | 127 |
| 5.2.3 Número de gerações de <i>L. coffeella</i> .....  | 128 |
| 5.2.3.1 Número de gerações de <i>L. coffeella</i> com base nas normais climatológicas de<br>temperatura.....   | 128 |
| 5.2.3.2 Obtenção da informação climática.....  | 128 |
| 5.2.4 Utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinação<br>do número de gerações de <i>L. coffeella</i> para o estado de São Paulo - Brasil..... | 128 |
| 5.3 Resultados e Discussão.....  | 129 |
| 5.3.1 Determinação das exigências térmicas de <i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin-<br>Mèneville, 1842).....  | 129 |
| 5.3.2 Número de gerações de <i>L. coffeella</i> para o estado de São Paulo, Brasil.....  | 136 |
| 5.5 Conclusões.....  | 152 |
| Referências .....  | 152 |



## RESUMO

### **Zoneamento de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas**

A cafeicultura representa uma das atividades agrícolas de maior importância para o Brasil e para a Colômbia e ultimamente tem sido impactada negativamente, devido às condições climáticas desfavoráveis com desvios da normalidade da precipitação pluviométrica e de altas temperaturas do segundo semestre do 2015 no caso do Brasil e na Colômbia, na safra 2015-2016, foi altamente impactada pelos efeitos do evento climático El Niño que aumentou os níveis de infestação da broca-do-café e com a seca prolongada, que tem afetado a qualidade do grão. O presente trabalho tem como objetivo estabelecer o zoneamento de *Hypothenemus hampei* e *Leucoptera coffeella*, pragas no cafeeiro em Brasil e na Colômbia, com base nas suas exigências térmicas. Os resultados obtidos para *H. hampei*, mostraram que a praga se desenvolve na faixa térmica de 15 a 32°C; a 25°C foram observados os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e da razão finita de aumento ( $\lambda$ ); sendo que  $R_0$  foi maior nesta temperatura, pois, a cada geração a população de *H. hampei* aumentou 127,8 vezes. O estudo das exigências térmicas de *H. hampei* indicaram que o limite térmico de desenvolvimento ou temperatura base ( $T_b$ ) é de 13°C e a constante térmica ( $K$ ) de 312 GD. Com a determinação das exigências térmicas de *H. hampei* e mediante a utilização de um Sistema de Informação Geográfica, foi possível obter mapas de distribuição do desenvolvimento deste inseto para o estado de São Paulo no Brasil e para a região produtora de café na Colômbia. Assim, para o estado de São Paulo, podem ocorrer de 4,56 a 9,25 gerações/ano, levando-se em consideração as exigências térmicas desta praga. A maior incidência da praga deve coincidir com o aumento da temperatura e com a disponibilidade de frutos de café aptos a serem infestados. Para a Colômbia, o número de gerações/ano pode ser de 5,85 a 13,55; sendo que 93% da cafeicultura deste país, pode apresentar a broca-do-café o ano todo. O bicho-mineiro do cafeeiro, *L. coffeella*, se desenvolve na faixa térmica de 15 a 32°C; a 28°C foram observados os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e da razão finita de aumento ( $\lambda$ ); o valor de  $R_0$  foi visivelmente maior nesta temperatura, pois, a cada geração a população de *L. coffeella* aumentou 22,23 vezes. O estudo das exigências térmicas de *L. coffeella*, mostrou que o limite térmico de desenvolvimento ou temperatura base ( $T_b$ ) é de 13°C e a constante térmica ( $K$ ) de 259 GD. Com a determinação, em condições de laboratório, das exigências térmicas de *L. coffeella* e mediante a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível obter mapas de distribuição do desenvolvimento deste inseto para o estado de São Paulo no Brasil. Assim, podem ocorrer de 5,12 a 14,17 gerações/ano, levando-se em consideração as exigências térmicas desta praga. Os dados obtidos no presente trabalho poderão auxiliar na estimativa do número de gerações mensais e anuais para o fortalecimento dos programas de manejo integrado destes insetos.

Palavras-chave: Broca-do-café; Bicho-mineiro do cafeeiro; Temperaturas; Exigências térmicas; Sistema de Informação Geográfica



## ABSTRACT

### **Zoning for *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) and *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), coffee pests in Brazil and Colombia, based on their thermal requirements**

Coffee culture is one of the main agriculture activities for Brazil and Colombia, with recently negative impacts due to unfavorable climatic conditions as the result of subnormal rain period and increased temperatures during the second half of 2015. In both the mentioned countries, 2015 -2016 yields has been affected by the dry climatic effect of the “el Niño” phenomena favoring the coffee berry borer infestation and the the grain quality decrease. The present research aimed to establish the climatic zoning for *Hypothenemus hampei* and *Leucoptera coffeella* based on their thermal requirements. Results showed for *H. hampei* developed into the thermal range between 15 and 32°C; at 25°C were observed the higher liquid net reproduction rate (Ro) and increase finite rate ( $\lambda$ ), being the Ro 127,8 times. Thermal requirements estimated for *H. hampei* showed the temperature threshold (Tt) as 13°C and the thermal constant (K) as 312 DD. Estimation of the thermal requirements for *H. hampei* in laboratory and with the use of Geographic Information System tool (GIS), were obtained insect lifetime distribution maps at the Sao Paulo state and the coffee production region at Colombia. In this way, at Sao Paulo state 4,56 to 9,25 generations/year can be obtained. Higher pest incidence should be coincident with both temperature increases and coffee fruit availability to be infested. At the Colombian coffee crop region, 5,85 to 13,55 generations/year can be obtained between 18 to 24°C temperature range, with that 93% of the coffee crop can be infested with the coffee berry borer whole of the year. The leaf miner *L. coffeella*, develops at thermal requirements between 15 to 32°C, being the 28°C temperature with the higher net reproduction rate (Ro) and increase finite rate ( $\lambda$ ); showing a population increase per generation of 22,23 times. Thermal requirements for *L. coffeella* showed the temperature threshold (Tt) is 13°C and the thermal constant (K) of 259 DD. Using the before mentioned variables in laboratory and using the Geographic Information System tool, insect lifetime distribution maps were obtained at the Sao Paulo state in Brazil. 5,12 to 14,17 generations/ year can occur. Data obtained could contribute in the monthly and yearly generation pest generations determination for the integrated pest management programs of these pests.

**Keywords:** Coffee berry borer; Coffee leaf miner; Temperatures; Thermal requirement; Geographic information System





## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura representa uma das atividades agrícolas de maior importância para o Brasil com uma receita superior a US\$ 5,9 bilhões para a safra 2015 (SAFRA, 2016) e uma produção total de 43,24 milhões de sacas de 60 Kg, com uma queda no volume total de produção de 5,3%, quando comparado com a safra de 2014, devido às condições climáticas desfavoráveis com um desvio da precipitação pluviométrica e de altas temperaturas do segundo semestre do 2015 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). O Estado de São Paulo seguiu a mesma tendência brasileira, com uma redução de 11,4% (524,9 mil sacas) em relação à safra de 2014, devido às condições climáticas existentes, sejam de déficit hídrico ou de altas temperaturas (CONAB, 2015).

No caso da Colômbia, a produção da safra 2015-2016 foi de 14,4 milhões de sacas de 60 kg (FNC, 2016), com um valor de US\$ 1,9 bilhão de dólares; a safra deste biênio foi altamente impactada pelos efeitos do evento climático El Niño que aumentou os níveis de infestação da broca-do-café e a seca prolongada, que entre outros fatores, tem afetado a qualidade do grão (FNC, 2016). Pela sua localização geográfica, a Colômbia é altamente influenciada pelo Índice Oceânico El Niño (ONI), o qual pode determinar o evento El Niño que se caracteriza pela diminuição das chuvas e incremento da temperatura; pode ser também afetada pelo evento La Niña que apresenta aumento nas chuvas e diminuição na temperatura ou ainda pelo evento Neutro que tem condições normais de chuva e de temperatura (CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE - CENICAFE, 2016).

A temperatura é o fator físico mais importante, pois afeta aspectos biológicos do inseto como a reprodução, a fecundidade, a duração do período de desenvolvimento, a taxa de emergência e a longevidade dos mesmos (HARRISON; KING; OUZTS, 1985; NOLDUS, 1989).

Os estudos sobre o impacto das mudanças climáticas na agricultura têm aumentado sua importância nos últimos anos, embora as informações existentes sobre estes impactos não sejam bem claras, sendo necessário estabelecer os parâmetros climáticos que afetam as pragas agrícolas.

As análises destes possíveis efeitos climáticos nas populações dos insetos-praga são fundamentais para os programas de gestão do risco neste setor produtivo, já que fornecem informações que permitirão o fortalecimento das plataformas de

informação ao produtor de café, bem como a geração de alertas sanitários em estações de aviso que orientarão os cafeicultores sobre tomadas de decisão para o plantio e o controle das principais pragas de cafeicultura. A previsão da distribuição potencial de pragas representa um instrumento importante para se determinar os efeitos da variação climática nos agro-ecossistemas.

Potencialmente, as mudanças climáticas podem afetar vários aspectos do ciclo e ecologia dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados por variáveis de disponibilidade de energia como graus-dia. Por conseguinte, possíveis respostas incluem mudanças nos padrões fenológicos, mudanças na seleção de habitat e expansão geográfica da área de ocorrência dos insetos (HUGHES, 2000; MENENDEZ, 2007). É interessante ressaltar que isoladamente o desenvolvimento da praga não é suficiente para se obter a previsão de sua ocorrência, pois se excluem muitas outras interações; com os inimigos naturais, os simbiossiontes, a planta, o solo que deverão ser levados em consideração numa análise mais global (HANCE et al., 2007). Portanto, trata-se de uma análise isolada das pragas, porém de fundamental importância para a realização de estudos futuros que envolvam os outros aspectos.

Embora existam várias pragas de importância econômica para a cultura do café na Colômbia e no Brasil, neste trabalho será desenvolvido o zoneamento para a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) e do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae).

A broca-do-café *H. hampei* (Ferrari) é considerada a praga mais importante na cultura do café no mundo, por atacar diretamente o grão e ocasionar perdas de peso, depreciando o grão e gerando problemas de qualidade da bebida, reduzindo significativamente os lucros dos produtores (BUSTILLO, 2002).

O bicho-mineiro-do-cafeeiro, *L. coffeella*, é a principal praga do cafeeiro no Brasil, devido à sua ocorrência generalizada e aos prejuízos econômicos causados (GALLO et al., 2002). Na Colômbia, é considerada uma praga potencial para a cafeicultura, sendo comumente encontrada em cultivos localizados em baixas altitudes (< 1.200 m), ocorrendo em épocas secas e quando as pulverizações com inseticidas levam a desequilíbrios ecológicos, acarretando surtos da citada praga (BUSTILLO, 2008; BENAVIDES et al., 2013).

O presente trabalho tem como objetivo; estabelecer o zoneamento destas duas pragas do cafeeiro no Brasil e na Colômbia, ou seja, *H. hampei* para Brasil e Colômbia e *L. coffeella* no Brasil, com base nas suas exigências térmicas.

## Referências

BENAVIDES, P.; GIL, Z.N.; CONSTANTINO, L.M.; VILLEGAS, C. GIRALDO-JARAMILLO, M. Plagas del café: broca, minador, cochinitas harinosas, arañita roja y monalón. In: GAST, F.; BENAVIDES, P.; SANZ, J.R.; HERRERA, J.C.; CRISTANCHO, M.A.; MARIN, S.M. (Ed.). **Manual cafetera colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. Chinchiná: Legis, 2013. t. 2, p. 215-260.

BUSTILLO, A.E. **El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia**. Chinchiná: FNC - Cenicafé, 2002. 40 p. (Boletín Técnico, 24).

\_\_\_\_\_. El minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana**. Chinchiná: Cenicafé, 2008. p. 360-363.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. **Plataforma agroclimática**. Disponível em: <<http://www.cenicafe.org>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015**: quarto levantamento. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. **Estadísticas históricas**. Disponível em: <<http://www.federaciondefeteros.org>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 920 p.

HANCE, T.; BAAREN, J.V.; VERNON, P.; BOIVIN, G. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 52, p. 107-12, 2007

HARRISON, W.W.; KING, E.G.; OUZTS, J.D. Development of *Trichogramma exiguum* and *T. pretiosum* at five temperature regimes. **Environmental Entomology**, College Park, v. 14, p. 118-121, 1985.

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

MENENDEZ, R. How are insects responding to global warming? **Tijdschrift voor entomologie**, Gravenhage, v. 150, p. 355-365, 2007.

NOLDUS, L.P.J.J. Semiochemicals, foraging behavior and quality of entomophagus insects for biological control. **Journal of Applied Entomology**, College Park, v. 108, p. 425-451, 1989.

SAFRA. Pesquisa aponta redução dos estoques privados de café da safra 2014/2015. **Revista Safra**. Goiânia. Disponível em: <<http://www.revistasafra.com>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

## 2 BIOLOGIA E TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) EM TEMPERATURAS CONSTANTES

### Resumo

*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) é uma das principais pragas da cultura do café em nível mundial. Neste estudo, foi avaliada a utilização da dieta artificial modificada para manutenção e produção deste inseto, e nela foram determinados alguns aspectos sobre a biologia, tabela de vida de fertilidade e as condições ideais para o desenvolvimento e reprodução em condições de laboratório. A dieta artificial não afetou o período de desenvolvimento, a viabilidade e razão sexual quando comparada com a dieta natural de café em pergaminho. Nas temperaturas de 25 e 28°C, observou-se o menor tempo de desenvolvimento e maior viabilidade de *H. hampei*. Este inseto se desenvolveu na faixa térmica de 15 a 32°C; na temperatura de 35°C só houve desenvolvimento embrionário com uma baixa viabilidade. A 25°C foram observados os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e da razão finita de aumento ( $\lambda$ ), sendo que  $R_0$  foi maior nesta temperatura, pois, a cada geração a população de *H. hampei* aumentou 127,8 vezes, número superior àquele obtido nas demais temperaturas.

Palavras-chave: Dieta artificial; Desenvolvimento; Taxa líquida de reprodução; Razão finita de aumento

### Abstract

*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) is considered one of the main insect pests of coffee crops worldwide. The present research aimed to evaluate the modified artificial diet for maintaining and rearing the insect pest. Some insect biological variables were determined by using the artificial diet, the life table of fertility was constructed, and the ideal conditions for development and reproduction were determined. The artificial food source did not affect either the insect lifetime or the sexual rate when compared with the natural food source as coffee parchment. At temperatures between 25 to 28°C were observed the lesser lifetime and the higher viability of *H. hampei*. The insect pest totally developed at temperature ranges between 15 to 32 °C, exhibiting just the embryonic development at 35°C. The higher net reproduction rate ( $R_0$ ) and increase finite rate ( $\lambda$ ) were observed at 25°C when compared to the other temperatures, with a  $R_0$  of 127,8.

Keywords: Food artificial diet; Development; Net reproduction rate; Increase finite rate

## 2.1 Introdução

O café é uma das principais "*commodities*" do mundo (VEGA, 2008), sendo que para 2015-2016 a produção mundial estará em torno de 143.371.000 de sacas de 60 kg, de acordo com a Organização Internacional do Café (ICO, 2016), sendo o Brasil o principal produtor com uma área plantada de 2.246.700 hectares, onde 78% são de café arábico (*Coffea arabica*) e os 22% restantes de café conillon (*Coffea canephora*), com uma produção estimada de 43.235.000 de sacas de 60 kg (ICO, 2016; CONAB, 2015). A Colômbia é o quarto produtor mundial e o primeiro produtor de café tipo suave, com uma área plantada de 948.000 hectares em 2015 e uma produção de 14.400.000 sacas de 60 kg no período de março de 2015 a março de 2016 (FNC, 2016).

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), é considerada a praga mais importante do cafeeiro no mundo, por atacar diretamente o grão e ocasionar perda de peso, depreciação do grão e problemas de qualidade da bebida, reduzindo significativamente os lucros dos produtores (BENAVIDES et al., 2013; BUSTILLO, 2002; JARAMILLO; BORGEMEISTER; BAKER, 2006; ROMERO; CORTINA, 2007).

Diversos trabalhos têm sido feitos para determinar o ciclo de vida de *H. hampei* no fruto do cafeeiro (ovo-adulto) em condições de laboratório, em dieta natural (BERGAMIN, 1943; MUÑOZ, 1989; DAMON, 2000; JARAMILLO et al., 2009), em dieta artificial (BRUN et al., 1993; PORTILLA, 1999; PORTILLA; STRETT, 2006; PORTILLA et al., 2014) e em campo (RUIZ-CÁRDENAS; BAKER, 2010), concluindo-se que o desenvolvimento dos estágios imaturos e a sobrevivência do adulto dependem principalmente da temperatura e da presença do alimento.

As taxas de natalidade e de mortalidade em uma população de insetos são determinadas por diferentes condições como qualidade do alimento, temperatura, umidade relativa e fotoperíodo (SILVEIRA-NETO; NAKANO; BARBIN, 1976). Assim, o estudo da tabela de vida de fertilidade em diferentes temperaturas é de grande valia para a compreensão da dinâmica populacional da espécie visada, já que permite uma visão integrada das características biológicas de uma população, sob condições ambientais determinadas (COPPEL; MERTINS, 1977).

O presente trabalho teve por objetivo estudar em oito temperaturas constantes, aspectos da biologia e a tabela de vida de fertilidade para estabelecer as condições

ideais para o desenvolvimento e reprodução de *H. hampei* em condições de laboratório.

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Dieta artificial para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)

A técnica de criação de *H. hampei* foi adaptada de Portilla e Strett (2006), utilizando-se a dieta artificial Cenibroca (PORTILLA, 1999). A dieta artificial foi modificada em alguns de seus componentes (Tabela 1). Assim, antes de iniciar os diferentes experimentos, foi avaliada se essas modificações afetavam o desenvolvimento de *H. hampei*. Foi realizada a comparação desta nova dieta com a dieta natural de café arábica em pergaminho com umidade do 50% aproximadamente e em condições de temperatura de  $25\pm 2$  °C, UR de  $65\pm 10\%$  e escotofase de 24 horas, mantidas em laboratório.

A preparação da dieta foi feita baseando-se em Portilla (1999), onde a carragenina foi dissolvida na água destilada a uma temperatura de 65°C e misturada com os demais ingredientes com o auxílio do liquidificador para homogeneizar a mistura. A seguir, a dieta foi colocada em placas de cultura de 24 poços da Techno plastic products® referência 920024 com 3-4 ml de dieta/poço, sendo tal dieta colocada para secagem numa estufa MA 033 Marconi® mantida a  $45\pm 5$ °C, por um período de 12-15 horas, até se obter uma umidade final de  $55\pm 10\%$ . Após o resfriamento da dieta, procedeu-se à transferência dos ovos com 24 horas de idade, sendo colocados dois ovos por poço, procedentes de frutos de café pergaminho mantidos no Laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ-USP.

Para a avaliação nos frutos de café em pergaminho foi usada a metodologia de Romero e Cortina (2007), na qual em cada fruto de café com uma umidade de  $50\pm 10\%$ , foi realizado um orifício de 7 mm de profundidade e 1 mm de diâmetro aproximadamente, onde foram depositados dois ovos de *H. hampei* com 24 horas de idade; os frutos foram acondicionados individualmente nas placas de cultura, as mesmas utilizadas para a dieta artificial.



Tabela 1 - Componentes da dieta artificial para *Hypothenemus hampei* segundo Portilla (1999) e Portilla e Street (2006) com modificações utilizadas na presente pesquisa

| <b>Dieta artificial segundo Portilla (1999) e Portilla e Street (2006)<sup>1</sup></b> | <b>Dieta modificada</b>                         |
|--|---|
| Ágar<br>10 g   | Carragenina<br>10 g.                            |
| Água destilada<br>993 mL.  | Água destilada<br>993 mL.                       |
| Café<br>150 g.   | Café<br>150 g.                                  |
| Açúcar<br>10 g.  | Açúcar<br>10 g.                                 |
| Caseína<br>15g.  | Caseína 1<br>5g.                                |
| Levedura de torula<br>15 g.  | Levedura de cerveja<br>15 g.                    |
| Etanol 96%<br>10 mL.   | -   |
| Ácido benzoico<br>1 g.   | Ácido benzoico<br>1 g.                          |
| Solução vitamínica de Vanderzant<br>7,4 mL.  | Solução vitamínica <sup>2</sup><br>7,4 mL.      |
| Sais de Wesson<br>0,8 g.   | Sais de Wesson<br>0,8 g.                        |
| Formaldeído<br>2650 µL.  | Formaldeído<br>2650 µL.                         |
| Fungicida comercial (Benomil®)<br>1,33 g.  | Metil parahidroxibenzoato (Nipagin®)<br>1,33 g. |

<sup>1</sup> Volume de preparação: um litro de dieta

<sup>2</sup> Solução vitamínica composta por: Niacinamida 1,00 g; Pantotenato de cálcio 1,00 g; Riboflavina 0,50g; Tiamina 0,25 g; Piridoxina 0,25 g; Biotina 0,02 mg; Vitamina B12 (1000 mg/mL.) 2,00 mL

Foi comparado o desenvolvimento na dieta natural de café em pergaminho e na dieta artificial modificada, com 300 unidades experimentais por tratamento. Para acompanhamento diário de ovo até a fase adulta, a cada dia, 10 unidades experimentais por tratamento, escolhidas ao acaso, foram dissecadas sob microscópio-estereoscópico (10X) Stemi SV<sup>6</sup> Zeiss®, contabilizando-se a duração do desenvolvimento de ovo até adulto, viabilidade, número de machos e fêmeas, os quais foram determinados de acordo com Bustillo et al. (1994) (Figura 1), avaliando-se também a razão sexual ( $rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$ ).

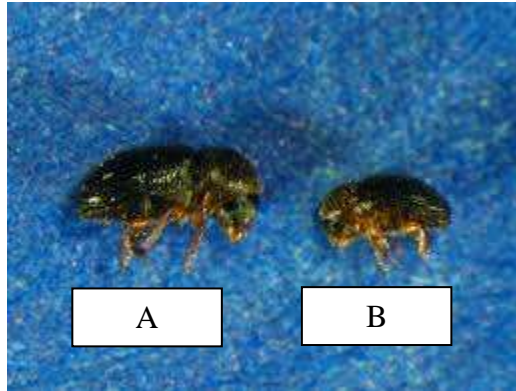


Figura 1 - Diferenciação de fêmea (A) e macho (B) de *Hypothenemus hampei* pelo tamanho (BUSTILLO et al., 1994)

Os parâmetros biológicos duração e viabilidade foram comparados pelo modelo linear generalizado GLM (família Poisson); foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) no programa SAS, Statistical Analyses System (2010). Os dados de razão sexual foram analisados pelo modelo GLM (família Poisson), e em seguida foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste  $X^2$  ( $P \leq 0,05$ ), no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### 2.2.2 Criação de manutenção de *H. hampei*

Para início da pesquisa, os insetos de *H. hampei* foram coletados em campo nos municípios de Piracicaba (latitude  $-22^{\circ}42'51,0366''S$ , longitude  $-47^{\circ}37'41,556''O$ ) e Campinas (latitude  $-22^{\circ}52'30,8274''S$ , longitude  $-47^{\circ}41'44,5584''O$ ) no Estado de São Paulo, Brasil. Os insetos foram mantidos no Laboratório de Biologia dos Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia, da USP ESALQ e dispostos em caixas cobertas com tecido *voile* branco, onde se iniciou a coleta diária das fêmeas, que emergiram do material coletado; esses insetos foram mantidos em frutos de café arábica em pergaminho com umidade do 60% aproximadamente, em condições de temperatura de  $25 \pm 2$  °C e UR de  $65 \pm 10\%$  e escotofase de 24 horas, para posterior recuperação de fêmeas.

As fêmeas (F1) coletadas dos frutos de café arábica em pergaminho foram recuperadas e transferidas para recipientes de vidro (borossilicato 24-400, tipo screw transparente de volume 20mL e dimensões 28x57mm e tampa com rosca fenólica com revestimento em PTFE/borracha, para recipientes de vidro 24-400, cor branca)

contendo 5 mL. de dieta artificial modificada, para obtenção de ovos e fêmeas para serem utilizados nos experimentos.

### **2.2.3 Biologia de *H. hampei* em diferentes temperaturas**

Os parâmetros biológicos de *H. hampei* foram avaliados nas temperaturas de 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32 e 35±1 °C, mantidas em câmaras climatizadas em condições de UR de 65±10% e escotofase de 24 horas. Para atingir este objetivo, os ovos procedentes da geração F1, foram colocados individualmente, em placas de cultura de 24 poços da Techno plastic products® referência 920024, contendo a dieta artificial modificada (3-4 mL. de dieta/poço).

Para acompanhamento diário até a fase adulta, para cada temperatura, foi avaliada uma repetição, constituída por uma parcela de 600 indivíduos, onde foram avaliados diariamente: duração de desenvolvimento de ovo até adulto, viabilidade, número de machos e fêmeas e razão sexual ( $rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$ ).

A normalidade e homocedasticidade dos dados de duração, viabilidade das fases de ovo, larva, pré-pupa e pupa, número de machos e fêmeas e a razão sexual de *H. hampei*, foram verificadas por meio dos testes de Bartlett ( $P < 0,05$ ) e Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ).

Os parâmetros biológicos duração e viabilidade foram comparados pelo modelo linear generalizado GLM (família Poisson); foram feitas comparações múltiplas por contraste com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) no programa SAS, Statistical Analyses System (2000). Os dados de razão sexual foram analisados pelo modelo GLM (família Poisson), e em seguida foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste  $X^2$  ( $P \leq 0,05$ ), no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### **2.2.4 Tabela de vida de fertilidade de *H. hampei* em diferentes temperaturas**

Foi avaliada a fecundidade de *H. hampei* nas diferentes temperaturas anteriormente mencionadas (18, 20, 22, 25, 28, 30, 32 e 35±1 °C).

Para a instalação do experimento, foram obtidas fêmeas de *H. hampei* de 35 dias de idade procedentes da criação de acordo com a metodologia de Romero e

Cortina (2007) e Jaramillo et al. (2009). As fêmeas foram individualizadas em cada poço que continha 3-4 mL da dieta artificial modificada. As placas foram mantidas nas câmaras climatizadas reguladas nas diferentes temperaturas, UR 65±10% e escotofase de 24 h.

De acordo com a metodologia empregada por Jaramillo et al. (2009), diariamente, foram avaliadas 15 fêmeas escolhidas ao acaso sendo contabilizado o número de fêmeas vivas, mortas e o número de ovos. As dietas foram analisadas em microscópio-estereoscópico (10X). As avaliações foram concluídas quando foram observados ovos da geração seguinte. Nas temperaturas de 18, 20 e 22°C foram feitas avaliações por 65 dias, nas de 25 e 28°C, por 45 dias e nas de 30 e 32°C por 35 dias.

O cálculo da fecundidade diária foi feito para cada uma das temperaturas nos tempos anteriormente mencionados pelo modelo linear generalizado (MLG), seguindo a distribuição de Poisson, e em seguida foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ , no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015)). Foi calculada a taxa de oviposição ao longo da vida de fêmea, com base na form. (1)

$$\text{Taxa de oviposição} = \frac{\text{Número de ovos por dia}}{\text{Número total de ovos}} \times 100 \quad (1)$$

Foi estimado o ritmo da oviposição acumulada ao longo do tempo para quatro temperaturas (18, 22, 25 e 32°C) e os intervalos de confiança para a média em cada tempo de avaliação.

Para a confecção das tabelas de vida de fertilidade, calculou-se o número médio de ovos por fêmea ( $m_x$ ) em cada data de oviposição ( $x$ ) considerando-se o total de fêmeas, o índice de sobrevivência acumulado de fêmeas ( $l_x$ ) e o número de descendentes que atingiram a idade  $x$  na idade seguinte ( $l_x \times m_x$ ). Os dados de sobrevivência e fecundidade foram sistematizados em uma tabela de vida de fertilidade seguindo o modelo proposto por Maia, Luiz e Campanhola (2000). Assim, estimou-se o intervalo entre gerações ( $T$ ), taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ). Para estimar os parâmetros da tabela de vida foram utilizados os seguintes algoritmos: taxa líquida

de reprodução ( $R_0$ ) form. (2); razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ), form. (3); intervalo entre gerações ( $T$ ), form. (4); e razão finita de aumento ( $\lambda$ ), form. (5).

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x \quad (2)$$

$$r_m = \text{Ln} \frac{R_0}{T} \quad (3)$$

$$T = \text{Ln} \frac{R_0}{r_m} \quad (4)$$

$$\lambda = e^{-r_m} \quad (5)$$

Os parâmetros de tabela de vida de fertilidade foram comparados pela análise de Bootstrap segundo Meyer, Igersoll e MacDonald (1986) no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Avaliação de dieta artificial

A dieta artificial desenvolvida por Portilla (1999) e modificada em alguns dos seus componentes nesta pesquisa, não afetou o período de desenvolvimento ovo-adulto de *H. hampei*, que foi de 24,1 dias, nem a viabilidade total e a razão sexual, quando comparada com a dieta natural de café em pergaminho (Tabela 2).

De acordo com Portilla (1999) a dieta artificial, fornece os nutrientes necessários para o desenvolvimento ovo-adulto, com taxas de crescimento, peso e tamanho constantes no decorrer das 15 gerações estudadas, além, de ser barata e fácil de preparar.

Tabela 2 - Duração média das fases de ovo, larva, pré-pupa pupa e ciclo total (ovo-adulto), viabilidade total (%) e razão sexual ( $\pm$ EP) de *Hypothenemus hampei*, em dieta artificial modificada vs. dieta natural composta de café em pergaminho. Temp.25 $\pm$ 2C°UR: 65 $\pm$ 10% e escotofase: 24 horas

| Dieta                          | Duração (dias) <sup>1</sup> |                  |                  |                  |                  | Viabilidade Total (%) <sup>1,3</sup> | Razão sexual <sup>2</sup> |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|
|                                | Ovo                         | Larva            | Pré-pupa         | Pupa             | Ovo-adulto*      |                                      |                           |
| <b>Natural</b>                 |                             |                  |                  |                  |                  |                                      |                           |
| <b>(Café em pergaminho)</b>    | 4,3 $\pm$ 0,05 a            | 8,6 $\pm$ 0,17 a | 5,1 $\pm$ 0,12 a | 5,2 $\pm$ 0,12 a | 24,5 $\pm$ 0,9 a | 83 $\pm$ 2,9 a                       | 0,85 $\pm$ 0,01 a         |
| <b>Artificial (Modificada)</b> | 4,1 $\pm$ 0,04 a            | 8,4 $\pm$ 0,20 a | 4,8 $\pm$ 0,13 a | 5,9 $\pm$ 0,09 a | 24,1 $\pm$ 0,7a  | 85 $\pm$ 3,5 a                       | 0,82 $\pm$ 0,07 a         |
| F, X <sup>2</sup>              | 4,19                        | 1,71             | 5,17             | 1,87             | 3,69             | 1,19                                 | 2,50                      |
| gl                             | 1                           | 1                | 1                | 1                | 1                | 1                                    | 1                         |
| P                              | 0,04                        | 0,19             | 0,02             | 0,17             | 0,05             | 0,317                                | 0,02                      |

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05\*) <sup>2</sup>(X<sup>2</sup>, P<0,05\*\*), <sup>3</sup>Viabilidade total é o produto das viabilidades de ovo, larva, pré-pupa e pupa. O número de repetições foi dado pelo valor de n. \*Ovo-adulto é o somatório das médias das fases de ovo, larva, pré-pupa e pupa

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que está dieta artificial modificada pode ser usada para a manutenção da criação estoque de *H. hampei* e para a obtenção dos ovos e de fêmeas para serem utilizadas nos diferentes experimentos, por ser comparável à dieta natural (Tabela 2).

### 2.3.2 Biologia de *H. hampei* em diferentes temperaturas

A faixa ótima de desenvolvimento biológico de *H. hampei* situou-se entre 18 e 30°C; na temperatura de 35°C só houve desenvolvimento da fase de ovo (Tabela 3). O tempo de desenvolvimento decresceu significativamente com o incremento térmico na faixa de 18 a 30°C, sendo que o desenvolvimento dos diferentes estágios foi altamente influenciado pela temperatura, com diferenças significativas para a maioria das temperaturas avaliadas pelo teste de Tukey (P<0.05) (Tabela 3).

Assim, para a fase de ovo foi registrada eclosão na faixa de 18 a 35°C, com diferenças significativas entre temperaturas e duração do desenvolvimento embrionário, sendo inversamente proporcional ao aumento da temperatura na faixa de 18 a 30°C (Tabela 3). Portanto, o estágio de ovo de *H. hampei* suporta altas

temperaturas, desde que Jaramillo et al. (2009), também observaram desenvolvimento embrionário a 33°C.

A partir de 30°C, observou-se um incremento no período embrionário, mostrando uma inadequação das condições térmicas mais elevadas, já registrada por diversos autores (BERGAMIN, 1943; DAMON, 2000; JARAMILLO et al., 2009; PORTILLA et al., 2014).

Para a fase larval, a faixa térmica favorável situou-se também entre 18 e 30°C, com um alongamento do período a partir de 32°C, mostrando uma estabilização entre 25 e 28°C; estes valores se aproximam aos resultados obtidos por Jaramillo et al. (2009) e por Bergamin (1943), embora tais autores não tenha observado desenvolvimento larval a partir de 32°C.

Para o desenvolvimento de pré-pupa e pupa de *H. hampei* observou-se a mesma tendência das fases anteriores, ou seja, desenvolvimento entre 18 e 30°C, e um incremento na duração a partir de 32°C, que deve ser um valor que está próximo ao limite térmico superior de *H. hampei*. Aparentemente, a origem de *H. hampei* afeta tais exigências térmicas, pois populações de África (JARAMILLO et al., 2009) e do Brasil (BASTOS, 1985) mostraram resultados semelhantes aos obtidos na presente pesquisa; por outro lado, populações da Colômbia (RUIZ-CARDENAS; BAKER, 2010) e do México (BAKER et al., 1994) apresentaram resultados diferentes dos aqui relatados.

A duração do ciclo total é um reflexo das diferentes fases, observando-se que a faixa térmica ideal se situa entre 18 e 30°C, dando uma indicação de que o limite térmico superior de desenvolvimento está próximo a 32°C.

Tabela 3 - Duração média das fases de ovo, larva, pré-pupa, pupa, ciclo total (ovo-adulto) e razão sexual ( $\pm$ EP) de *Hypothenemus hampei*, em oito temperaturas constantes em dieta artificial. UR:  $65\pm 10\%$  e escotofase: 24 horas

| Temperatura<br>°C | Duração (dias) * |                   |     |                   |     |                   |     |                  |     |            | Razão sexual**     |
|-------------------|------------------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----|------------|--------------------|
|                   | N                | Ovo               | N   | Larva             | N   | Pré-pupa          | N   | Pupa             | n   | Ovo-adulto |                    |
| 18                | 600              | 14,8 $\pm$ 0,03 a | 523 | 25 $\pm$ 0,05 a   | 476 | 16 $\pm$ 0,05 a   | 455 | 16 $\pm$ 0,06 a  | 441 | 71,8       | 0,91 $\pm$ 0,003 a |
| 20                | 600              | 10,2 $\pm$ 0,03 b | 582 | 17,1 $\pm$ 0,03b  | 544 | 14,6 $\pm$ 0,05 b | 506 | 14 $\pm$ 0,04 b  | 455 | 55,9       | 0,87 $\pm$ 0,01 ab |
| 22                | 600              | 6,2 $\pm$ 0,02 c  | 597 | 14,9 $\pm$ 0,03c  | 545 | 8,3 $\pm$ 0,04 c  | 460 | 8,3 $\pm$ 0,04 c | 457 | 37,7       | 0,83 $\pm$ 0,03 b  |
| 25                | 600              | 4,1 $\pm$ 0,03 f  | 590 | 8,6 $\pm$ 0,03 e  | 534 | 5 $\pm$ 0,04 f    | 503 | 5,3 $\pm$ 0,03 f | 498 | 23         | 0,82 $\pm$ 0,001 b |
| 28                | 600              | 4,2 $\pm$ 0,02 e  | 588 | 8,7 $\pm$ 0,03 e  | 546 | 4,9 $\pm$ 0,04 f  | 514 | 5,2 $\pm$ 0,02 f | 509 | 23,0       | 0,83 $\pm$ 0,01 b  |
| 30                | 600              | 2,8 $\pm$ 0,01 h  | 534 | 6,7 $\pm$ 0,03 f  | 523 | 6,1 $\pm$ 0,02 e  | 518 | 6,5 $\pm$ 0,02 e | 420 | 22,1       | 0,87 $\pm$ 0,01 ab |
| 32                | 600              | 5,6 $\pm$ 0,04 d  | 348 | 13,5 $\pm$ 0,03 d | 292 | 7,2 $\pm$ 0.04 d  | 272 | 7,4 $\pm$ 0,03 d | 263 | 33,7       | 0,92 $\pm$ 0,01 a  |
| 35                | 600              | 3,1 $\pm$ 0,1 g   | 47  |                   |     |                   |     |                  |     |            |                    |
| F, $X^2$          |                  | 1338,68           |     | 607,72            |     | 555,61            |     | 188,86           |     |            | 10,81              |
| gl                |                  | 7                 |     | 6                 |     | 6                 |     | 6                |     |            | 6                  |
| P                 |                  | <0,0001           |     | <0,0001           |     | <0,0001           |     | <0,0001          |     |            | <0,0001            |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey,  $P < 0,05^*$ ) ( $X^2$ ,  $P < 0,05^{**}$ ). O número de repetições é dado pelo valor de n. Ovo-adulto é o somatório das médias das fases de ovo, larva, pré-pupa e pupa



Os valores de razão sexual obtidos nesta pesquisa (0,83-0,92) encontram-se dentro das faixas relatadas por diversos autores em diferentes temperaturas (BAKER; BARRERA; RIVAS, 1992; BERGAMIN, 1943; FERNANDEZ; CORDERO, 2007). A temperatura afetou diferentemente os sexos, pois a 18 e 32°C (temperaturas menos adequadas) houve menor número de machos ( $X^2 > 0,05$ ) (Figura 4).

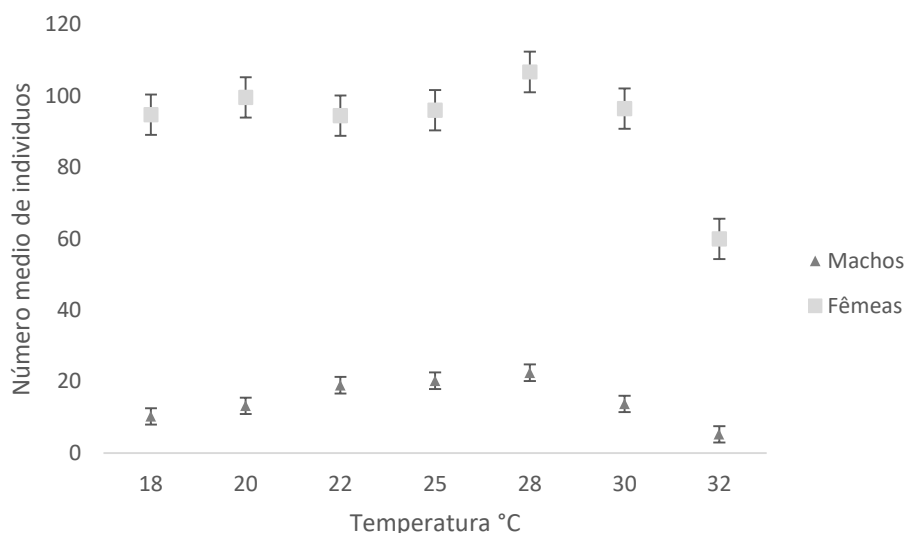


Figura 4 - Número médio ( $\pm$ E.P) de fêmeas e machos de *Hypothenemus hampei* em sete temperaturas constantes em dieta artificial. UR:  $65 \pm 10\%$  e escotofase: 24 horas

Quando se considerou a viabilidade, a faixa de 18 a 30°C mostrou-se adequada para o desenvolvimento ovo-adulto de *H. hampei*, com maior mortalidade a 32°C; embora tenha ocorrido eclosão a 35°C, nesta temperatura registrou-se baixa viabilidade (Tabela 4). Para a fase larval embora tenha havido desenvolvimento a 30 e 32°C, nestas temperaturas houve decréscimo da viabilidade; as fases de pré-pupa e pupa, não tiveram a viabilidade afetada. Estes valores se aproximam dos relatos de Costa e Villacorta (1989) e de Jaramillo et al. (2009), embora estes autores não tenham observado desenvolvimento das referidas fases em valores superiores a 33°C.

O período de pré-oviposição de *H. hampei* foi significativamente afetado pela temperatura, diminuindo com o incremento térmico (Tabela 5). Assim, a 18°C, as fêmeas de *H. hampei* demoram em média 5,8 dias para iniciarem a postura, enquanto que a 32°C este período é de 1,4 dias. Os períodos de pré-oviposição relatados por Jaramillo et al. (2009) são maiores do que os obtidos na presente pesquisa.

Tabela 4 - Viabilidade (%) das fases de ovo, larva, pré-pupa, pupa e ciclo total (ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* em oito temperaturas constantes em dieta artificial modificada. UR: 65±10% e escotofase: 24 horas

| Temperatura<br>°C | Estágios de desenvolvimento |           |          |           |             |
|-------------------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|-------------|
|                   | Ovo                         | Larva     | Pré-pupa | Pupa      | Ovo-adulto* |
| 18                | 86±0,5 b                    | 91±1,56 a | 95± 2,1a | 96±2,9 a  | 72 a        |
| 20                | 94±0,19 a                   | 93±1,65 a | 89±2,6 a | 90±1,4 a  | 81 a        |
| 22                | 99±0,03 a                   | 91±2,19 a | 94±2,9 a | 99±1,5 a  | 83 a        |
| 25                | 98±0,05 a                   | 90±1,71 a | 94±1,8 a | 98±1,3 a  | 81 a        |
| 28                | 97±0,03 a                   | 93±1,45 a | 94±1,5 a | 98±1,6 a  | 83 a        |
| 30                | 98±0,02 a                   | 89±1,10 b | 98±1,7 a | 99±1,1 a  | 84 a        |
| 32                | 58±1,38 c                   | 84±1,35 b | 93±1,6 a | 97±1,01 a | 44 b        |
| 35                | 7±0,30 d                    | -         | -        | -         | -           |
| F                 | 135,24                      | 5,67      | 0,82     | 0,77      |             |
| gl                | 6                           | 6         | 6        | 6         |             |
| P                 | <0,0001                     | <0,0001   | 0,5693   | 0,6030    |             |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes no modelo linear generalizado (MLG) ( $P < 0,05$ ). - Não apresentou desenvolvimento. Ovo-adulto\* é o produto das viabilidades medias das fases de ovo, larva, pré-pupa e pupa

A broca-do-café, além de ser altamente influenciada pela temperatura, também é afetada pela consistência do substrato para oviposição (BUSTILLO, 2002); deste modo, o período de pré-oviposição observado em campo, em frutos com altos teores de água (frutos de 60 a 90 dias) é maior quando comparado com frutos mais velhos (>150 dias), já que o início da oviposição está relacionado com o teor de matéria seca acumulada (SALAZAR et al., 1993). Na presente pesquisa a dieta artificial modificada se encontrava em condições ótimas para oviposição. Este fator, possivelmente afetou a duração do período de pré-oviposição, levando a valores menores em relação aos relatados em outros trabalhos, já que a dieta artificial é aparentemente, um substrato alimentar muito mais fácil para o inseto penetrar quando comparada com o fruto de café.

As oviposições acumuladas das brocas fundadoras, até os 65 dias para as temperaturas de 18 e 22°C, até os 40 dias na temperatura de 25°C e até os 35 dias na temperatura de 30°C, foram ajustadas a funções quadráticas (Figura 5); os intervalos de confiança de 95% para a média em cada avaliação apresentaram diferenças estatísticas entre as temperaturas avaliadas. As oviposições nas diferentes temperaturas foram menores a 18 e 30°C, quando comparadas com as

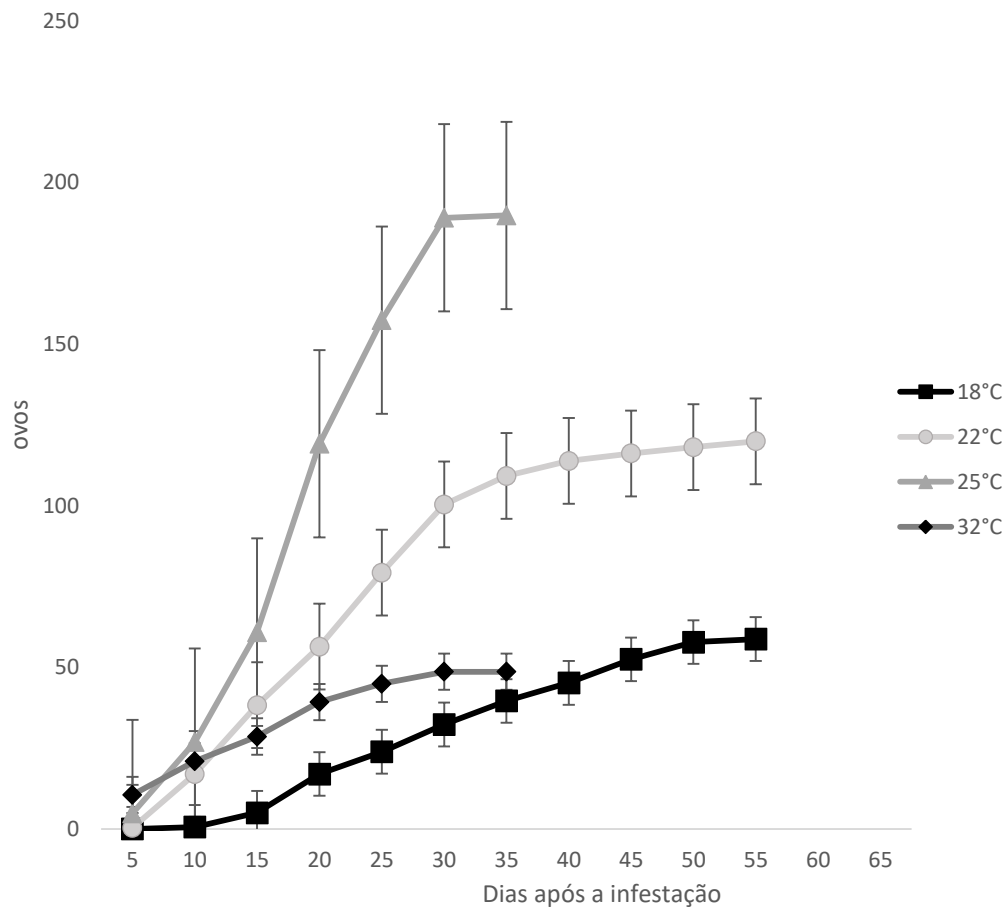
temperaturas de 22 e 25°C. A fecundidade total, medida pelo número de ovos colocados pelas fêmeas antes de iniciar as posturas de fêmeas da geração F1, ficou entre 55,9 e 189,85, apresentando um maior número de ovos acumulados nas temperaturas de 25 e 28°C (Figura 5). Os resultados revelam uma queda no desempenho reprodutivo do inseto nas temperaturas de 18°C e a partir de 30°C, a oviposição média diária de *H. hampei* apresentou o mesmo padrão observado na oviposição acumulada (Tabela 5).

Tabela 5 - Media ( $\pm$ EP) do período de pré-oviposição, fecundidade diária de *Hypothenemus hampei* em sete temperaturas constantes em dieta artificial modificada. UR: 65 $\pm$ 10% e escotofase: 24 horas

| Parâmetro   | Temperatura °C |                |                |                |                |                |                |                                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
|   | 18             | 20             | 22             | 25             | 28             | 30             | 32             |                                |
| Período de pré-oviposição (dias)                      | 5,8 $\pm$ 0,6b | 5,3 $\pm$ 0,4b | 4,5 $\pm$ 0,1b | 2,4 $\pm$ 0,7a | 1,3 $\pm$ 0,7a | 1,6 $\pm$ 0,8a | 1,4 $\pm$ 0,2a | F= 135,34<br>gl= 6<br>P>0,0001 |
| Fecundidade diária*                                   | 0,9 $\pm$ 0,1c | 1,6 $\pm$ 0,2b | 1,8 $\pm$ 0,2b | 4,2 $\pm$ 0,6a | 3,9 $\pm$ 0,6a | 1,5 $\pm$ 0,2b | 1,6 $\pm$ 0,2b | F= 834,97<br>gl= 6<br>P>0,0001 |
| Oviposição acumulada (Número médio de ovos por fêmea) | 58,73          | 102,8          | 119,6          | 189,85         | 177,98         | 54,78          | 55,9           |                                |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05). \*Media de ovos por fêmea por dia

Os valores da fecundidade acumulada diferem dos resultados apresentados por Jaramillo et al. (2009), que referiram valores mais altos (até 296,94 $\pm$ 9,4 ovos/fêmea) do que os encontrados na presente pesquisa. Tais diferenças podem ser devido às diferenças metodológicas utilizadas pelos autores (BAKER; BARRERA; RIVAS, 1992).



$$18^{\circ}\text{C} (x) = -0,1094x^2 + 8,0146x - 12,811 \quad (R^2=0,98, \text{ g.l.:}4,3; P>0,0001)$$

$$22^{\circ}\text{C} (x) = -1,470x^2 + 30,198x - 34,563 \quad (R^2=0,99, \text{ g.l.:}4,3; P>0,0001)$$

$$25^{\circ}\text{C} (x) = -1,885x^2 + 49,938x - 55,184 \quad (R^2=0,98, \text{ g.l.:}4,3; P>0,0001)$$

$$32^{\circ}\text{C} (x) = -1,15x^2 + 15,312x - 4,6043 \quad (R^2=0,99, \text{ g.l.:}4,3; P>0,0001)$$

Figura 5 - Oviposição acumulada de fêmeas de *Hypothenemus hampei* em quatro temperaturas constantes em dieta artificial modificada. UR:  $65 \pm 10\%$  e escotofase: 24 horas. As linhas verticais representam os intervalos de confiança para a média ( $P=95\%$ )

O ritmo de postura de *H. hampei*, variou de acordo com a temperatura; nas temperaturas mais baixas (18, 20 e 22°C), este inseto apresentou dois picos de postura; nas temperaturas intermediárias (25, 28 e 30°C) um pico de postura, e na temperatura mais elevada (32°C) observou-se um comportamento errático (Figura 6).

O período de tempo para atingir 50% da oviposição total também foi afetado pela temperatura (Figura 6); nas temperaturas menores este valor foi obtido no período de 21 a 28 dias, nas temperaturas de 25, 28, 30 e 32°C este porcentual foi

registrado entre 12 e 17 dias; padrões similares de postura foram observados por Bergamin (1943) e Romero e Cortina (2007).

Os picos da atividade de postura foram bem diferentes para cada temperatura. Assim, nas temperaturas de 18, 20 e 22°C, foram observados dois picos, o primeiro deles, em média, no décimo dia e o segundo, em média, 11 dias depois. Por outro lado, nas temperaturas de 25, 28 e 30°C, foi observado um só pico que ficou entre os dias 11 e 17. Na temperatura de 32°C, não foi possível determinar tais picos, já que foram encontrados até três picos no período da avaliação (Figura 6).

### **2.3.3 Tabela de vida de fertilidade de *H. hampei* em diferentes temperaturas**

O parâmetro de uma tabela de vida de fertilidade mais fácil de ser visualizado é a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), pois ela dá uma ideia de quantas vezes a população aumenta a cada geração. O maior crescimento populacional ocorreu para *H. hampei* na faixa de 20 a 28°C, com uma variação de aumento de 76,67 a 127,80 vezes a cada geração (Tabela 6); estes valores se aproximam dos resultados obtidos por Portilla et al. (2014) e por Jaramillo et al. (2009).

Baseando-se no tempo de uma geração, pode-se observar uma analogia com os dados biológicos, ou seja, uma relação inversa entre a duração e o incremento térmico, porém apenas no intervalo de 18 a 30°C, apresentando uma estabilização a partir desta temperatura (Tabela 6), sendo similar aos resultados encontrados por outros autores (JARAMILLO et al., 2009; PORTILLA et al., 2014; ROMERO; CORTINA, 2007).

A razão finita de aumento ( $\lambda$ ) indica o número adicionado à população por fêmeas que darão fêmeas. Portanto, de grande importância, embora muitas vezes difícil de ser visualizado por ser um valor logarítmico, no presente estudo os valores obtidos no intervalo de 20 a 32°C, foram semelhantes e estes valores encontram-se dentro das faixas relatadas por diversos autores (JARAMILLO et al., 2009; PORTILLA et al., 2014; ROMERO; CORTINA, 2007).

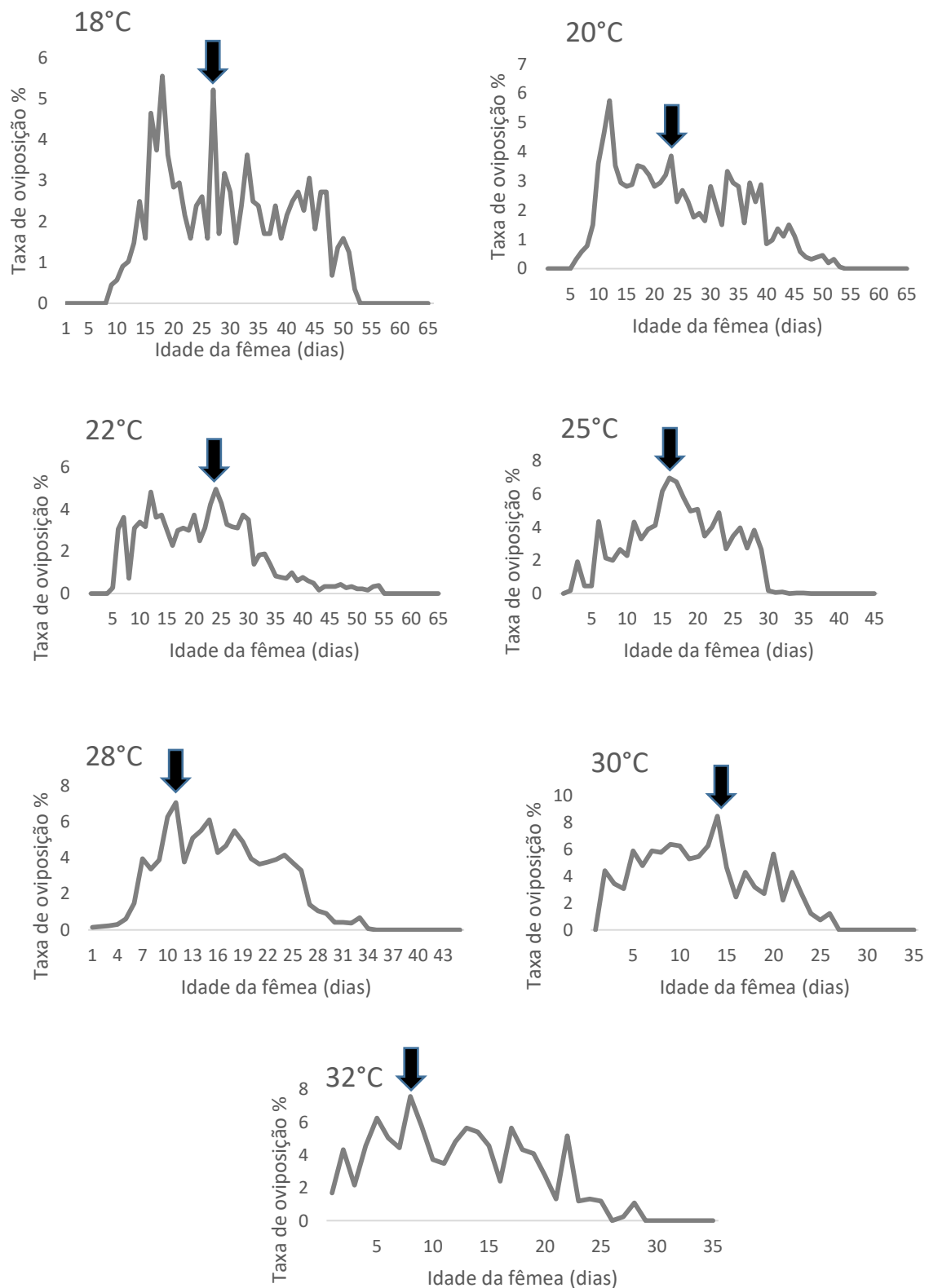


Figura 6 - Ritmo de oviposição de *Hypothenemus hampei* em dieta artificial modificada em diferentes temperaturas constantes. UR:  $65 \pm 10\%$  e escotofase: 24 horas. A seta indica o momento em que se obteve 50% do total de ovos

Os valores da razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) mostraram diferenças entre tratamentos, com as temperaturas de 18 e 32°C apresentando os menores valores (Tabela 6). Trabalhos desenvolvidos com populações da Colômbia (RUIZ-CARDENAS; BAKER, 2010) e da África (JARAMILLO et al., 2009) apresentaram resultados diferentes aos encontrados nesta pesquisa, pois estes últimos autores relataram que este parâmetro diminuiu em temperaturas superiores a 26°C.

A razão infinitesimal de aumento depende do tempo de uma geração, da sobrevivência e da fecundidade (BIRCH, 1948), determinando as diferenças de crescimento das populações. As temperaturas extremas de 18, 20 e 32°C foram aquelas nas quais o inseto teve pior desempenho; este parâmetro demográfico é um caráter genético, que reflete a capacidade de multiplicação de uma população (RABINOVICH, 1980).

Tabela 6 - Média (Intervalos de confiança) dos parâmetros de crescimento populacional de *Hypothenemus hampei* em sete temperaturas constantes em dieta artificial modificada. UR: 65±10% e escotofase: 24 horas

| Parâmetro | Temperatura °C                |                                |                                |                                |                                |                               |                               |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|           | 18                            | 20                             | 22                             | 25                             | 28                             | 30                            | 32                            |
| $R_o$     | <b>40,17 a</b><br>(28,1-54)   | <b>76,67 b</b><br>(56,4-99,89) | <b>83,54 b</b><br>(57,3-114,2) | <b>127,8 b</b><br>(79,7-185,8) | <b>106,8 b</b><br>(66,1-151,1) | <b>34 a</b><br>(21,1-48)      | <b>24,54 a</b><br>(15,2-34,1) |
| $T$       | <b>64,14 a</b><br>(59,2-68,1) | <b>59,03 ab</b><br>(54,4-63,)  | <b>56,74 ab</b><br>(52,4-60,6) | <b>51,79 bc</b><br>(48,4-55,1) | <b>51,26 bc</b><br>(47,9-54,7) | <b>46,8 c</b><br>(43,3-50,4)  | <b>46,5 c</b><br>(43,29-56,1) |
| $\Lambda$ | <b>1,05 a</b><br>(1,05-1,06)  | <b>1,07 b</b><br>(1,06-1,08)   | <b>1,08 b</b><br>(1,07-1,09)   | <b>1,09 b</b><br>(1,08-1,108)  | <b>1,09 b</b><br>(1,08-1,10)   | <b>1,08 b</b><br>(1,07-1,08)  | <b>1,07 b</b><br>(1,06-1,08)  |
| $r_m$     | <b>0,06 a</b><br>(0,05-0,07)  | <b>0,07 ab</b><br>(0,06-0,09)  | <b>0,08 b</b><br>(0,07-0,09)   | <b>0,09 b</b><br>(0,08- 0,1)   | <b>0,09 b</b><br>(0,08-0,10)   | <b>0,08 ab</b><br>(0,06-0,09) | <b>0,07 ab</b><br>(0,06-0,08) |

$R_o$ = taxa líquida de reprodução;  $T$ = tempo de uma geração;  $\lambda$ = razão finita de aumento;  $r_m$ = taxa infinitesimal de aumento

Autores, como Bale et al. (2002), sugerem que os efeitos diretos da temperatura são muito mais marcantes e importantes quando comparados com outros fatores relacionados a mudanças climáticas como CO<sub>2</sub>, regimes de chuva, etc.; por isso, determinar os limites de tolerância térmica dos insetos é fundamental para poder prever as épocas de ocorrência. A avaliação das tabelas de vida de fertilidade é uma das várias formas de se conhecer os potenciais de crescimento das populações, permitindo avaliar quais seriam os impactos dos fatores bióticos e abióticos.

As diferenças nos resultados encontrados nesta pesquisa com os relatados na literatura podem dever-se a vários aspectos como: as populações utilizadas nos

diferentes trabalhos, já que existe, de acordo com Gauthier (2010), a possibilidade de existir um complexo de espécies para *H. hampei*, o qual pode influir em diferentes aspectos bioecológicos desta praga, bem como as metodologias de criação empregadas pelos diferentes autores.

## 2.4 Conclusões

1. A dieta artificial modificada para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) é adequada para a manutenção da criação e obtenção dos indivíduos necessários para os diferentes experimentos;
2. *H. hampei* se desenvolve na faixa térmica de 18 a 32°C, sendo o intervalo de temperaturas de 22 a 28°C o mais adequado por proporcionar uma maior viabilidade ao período ovo-adulto;
3. Os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ) de *H. hampei* encontram-se na faixa de 20 a 28 °C

## Referências

BAKER, P.S.; BARRERA, J.F.; RIVAS, A. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 29, n.3, p. 656-662, 1992.

BAKER, P.S.; RIVAS, A.; VALBUENA, R.; LEY, C.; BARRERA, J.F. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Entomologia Experimentalis et applicata**, Dordrecht, v. 71, p. 201-209. 1994.

BALE, J.; MASTERS, G.J.; HODKINSON, I.D.; AWMACK, C.; BEZEMER, M. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, New York, v. 8, p. 1-16. 2002.

BASTOS, J.A.B. **Principais pragas das culturas e seus controles**. São Paulo: Nobel, 1985. 329 p.

BENAVIDES, P.; GIL, Z.N.; CONSTANTINO, L.M.; VILLEGAS, C. GIRALDO-JARAMILLO, M. Plagas del café: broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y monalónion. In: GAST, F.; BENAVIDES, P.; SANZ, J.R.; HERRERA, J.C.; CRISTANCHO, M.A.; MARIN, S.M. (Ed.). **Manual cafetera colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. Chinchiná: Legis, 2013. t. 2, p. 215-260.



- BERGAMIN, J. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 14, p. 31-72, 1943.
- BIRCH, L.C. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. **The Journal of Animal Ecology**, London, v. 17, p. 15-26. 1948.
- BRUN, L.O.; GAUDICHON, V.; WIGLEY, P.J. An artificial diet for continuous rearing of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Insect Science Applied**, London, v. 14, p. 585–587. 1993.
- BUSTILLO, A.E. **El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia**. Chinchiná: FNC - Cenicafe, 2002. 40 p. (Boletín Técnico, 24).
- BUSTILLO, A.E.; CARDENASD, R.; VILLALBA, D.A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F.J. **Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*, en Colombia**. Chinchiná: Feriva, 1994. 134 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMIENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015**: quarto levantamento. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2016.
- COPPEL, H.C.; MERTINS, J.W. **Biological insect pest suppression**. New York: Springer-Verlag, 1977. 314 p.
- COSTA, T.; VILLACORTA, A. Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, n. 18, p. 91-99, 1989. Suplemento.
- DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**; Farnham Royal, v. 90, n. 6, p. 453-465, 2000.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. **Estadísticas históricas**. Disponível em: <<http://www.federaciondecafeteros.org>>. Acesso em: 27 abr. 2016.
- FERNANDEZ, S.; CORDERO, J. Biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 19, n. 1, p. 35-40, 2007.
- GAUTHIER, N. Multiple cryptic units in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae): evidence from microsatellite and mitochondrial DNA sequence data. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 100, p. 113-129, 2010.
- JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; BAKER, P. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) searching for sustainable control strategies. **Bulletin Entomological Research**, Cambridge, v. 96, p. 223-233. 2006.

JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, A.; KAMONJO, C.; JARAMILLO, A.; VEGA, G. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. **PLoS One**, San Francisco, v. 4, n. 8, e6487, 2009. doi:10.1371/journal.pone.0006487.

MAIA, H.N.M.; LUIZ, A.J.B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 2, p. 511-518, 2000.

MEYER, J.S.; ITERSOLL, C.G.; MACDONALD, L.L. Uncertainty in population growth rates: Jackknife vs. Bootstrap technique. **Ecology**, Tempe, v. 67, p. 1156-1166, 1986.

MUÑOZ, R. Ciclo biológico y reproducción partenogenética de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* (Ferr). **Turrialba**, San Jose, v. 39, n. 3, p. 415-421, 1989.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade statistics tables**. Disponível em: <<http://www.ico.org>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

PORTILLA, M. Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cria masiva de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Revista Cenicafe**, Chinchiná, v. 1. P. 24-38. 1999.

PORTILLA, M.; STRETT, D. Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. **Revista Cenicafé**, Chinchiná, v. 57, n. 1, p. 37-50, 2006.

PORTILLA, M.; MORALES-RAMOS, J.A.; ROJAS, M.G.; BLANCO, C.A. Life tables as tools of evaluation and quality control for arthropod mass production. In: MORALES-RAMOS, J.A.; ROJAS, M.G.; SHAPIRO, L. (Ed.). **Mass production of beneficial organisms**. Palo Alto: Academic Press, 2014. chap. 8, p. 241-275.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

RABINOVICH, J.E. **Introducción a la ecología de poblaciones animales**. Mexico: Ed. Continental, 1980. 313 p.

ROMERO, J.V.; CORTINA, H. Life tables of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on three coffee accesions. **Revista Colombiana de Entomología**, Bogota, v. 33, p.10-16.2007.

RUIZ-CÁRDENAS, R.; BAKER, P. Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, p. 658-668, 2010.

SALAZAR, G.; ARCILA, J.; RIAÑO, N.M.; BUSTILLO, A.E. **Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca.** Chinchiná: FNC - Cenicafé, 1993. 4 p. (Avance Técnico, 194).

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System: getting started with the SAS learning.** Cary, 2010.

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

VEGA, F.E. The rise of coffee. **American Scientist**, Chapel Hill, v. 96, p. 138-145, 2008.

### 3 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) PARA SEU ZONEAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL E NA REGIÃO CAFEEIRA DA COLÔMBIA

#### Resumo

*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) constitui-se em uma das principais pragas do cafeeiro no mundo. A duração média do desenvolvimento biológico de *H. hampei* foi afetada pela temperatura, ocorrendo um aumento da velocidade de desenvolvimento com a elevação térmica até 30°C, sendo que a partir dessa temperatura a velocidade do desenvolvimento diminui. Assim, o tempo de desenvolvimento (ovo-adulto) foi inversamente relacionado com a temperatura, na faixa de 18 a 32°C. O limite térmico de desenvolvimento (Tb) foi de 13°C e a constante térmica (K) de 312 GD. Com a determinação, em condições de laboratório, das exigências térmicas de *H. hampei* e mediante a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível obter mapas de distribuição do desenvolvimento deste inseto para o estado de São Paulo no Brasil e para a região produtora de café na Colômbia. Assim, para o estado de São Paulo, podem ocorrer de 4,56 a 9,25 gerações/ano, levando-se em consideração as exigências térmicas desta praga. A maior incidência da praga deve coincidir com o aumento da temperatura e com a disponibilidade de frutos de café aptos a serem infestados. Para a Colômbia, o número de gerações/ano é de 5,85 a 13,55 na faixa de temperatura de 18 a 24°C; 93% da cafeicultura deste país, pode apresentar broca-do-café o ano todo. Além disso, a Colômbia é altamente afetada pelos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, que impactam as temperaturas médias e as precipitações pluviais, que influenciam as fases de florescimento e frutificação do cafeeiro. Os dados biológicos de *H. hampei*, obtidos no presente trabalho poderão auxiliar na estimativa do número de gerações mensal e anual para o fortalecimento dos programas de manejo integrado de broca-do-café.

Palavras-chave: SIG (Sistema de Informação Geográfica); Broca-do-café; temperatura

#### Abstract

*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) is one of the main insect pests of coffee crops worldwide. Mean biological development time of *H. hampei* was affected by temperature, with a positive increase of the lifetime velocity as a result of increased temperatures until the 30°C threshold temperature, exhibiting a lifetime decrease after this temperature. Development time (egg-adult) was inversely related with temperature at the range between 18 to 32 °C. Estimated temperature threshold (Tt) found was 13°C with a constant thermal value (K) of 312 DD. The *H. hampei* distribution maps for the Sao Paulo State at Brazil and the growing coffee region at Colombia were obtained using the thermal variables estimated in laboratory and the Geographic Information Systems (GIS) tool. Considering the insect thermal requirements estimated a 4,56 to 9,25 generations/year of *H. hampei* can be obtained at the Sao Paulo State. The highest pest incidence should occur with a temperature increase and coffee fruit disposal. In Colombia, 5,85 to 13,55 generations/year of the insect can be obtained at the temperature range between 18 to 24 °C; 93% of the coffee growing production at this

country can exhibit coffee fruit borer all of the year. Additionally, Colombia is highly affected by the climatic phenomena “el niño” and “la niña”, altering the mean temperatures and raining conditions, modifying the flowering and fructifying coffee plant stages. Biological data obtained for *H. hampei* will help to estimate generation numbers monthly and annually in order to strength, the integrated pest management programs for the coffee berry borer.

Keywords: Geographical Information System GIS; Coffee berry borer; temperature.

### 3.1 Introdução

As lavouras comerciais de café são encontradas entre os 20° de latitude norte e 26° de latitude sul. A temperatura ótima para esta cultura está entre 18 e 22°C; sendo que as temperaturas inferiores a 12°C e superiores a 24°C, são inadequadas para seu crescimento e produtividade (MAESTRI; BARROS, 1977; PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

A cultura do café representa uma das atividades agrícolas de maior importância para o Brasil e para a Colômbia, sendo fortemente afetada pela variabilidade climática (JARAMILLO, 2005; RAMIREZ; JARAMILLO; ARCILA, 2013). Assim, na safra 2015, no Brasil houve uma queda de 5,3% no volume total de produção, devido a condições climáticas desfavoráveis, especialmente devido a um desvio do padrão da precipitação pluvial e pela temperatura média elevada do segundo semestre do 2015 (CONAB, 2015); para a Colômbia a safra 2015-2016, também, foi altamente impactada pelos efeitos do evento climático El Niño, que ocasionou um déficit hídrico nas épocas de frutificação e as altas temperaturas incrementaram os níveis de infestação da broca-do-café, o que afetou a qualidade do grão (FNC, 2016a).

Assim como a cultura do café é vulnerável às variações climáticas, os insetos por serem pecilotérmicos, são também altamente influenciados por esta variabilidade do clima, desde que suas funções básicas de desenvolvimento, locomoção, comportamento, alimentação, estão ligadas aos fatores abióticos em especial à temperatura causando impactos na sua aptidão biológica (INWARD; WAINHOUSE; PEACE, 2012; ROMO; TYLIANAKIS, 2013).

A relação entre a temperatura e a duração do desenvolvimento dos insetos, pode ser modelada, com o auxílio de expressões matemáticas (LACTIN et al., 1995; BRIÈRE et al., 1999; IKEMOTO; TAKAI, 2001), e, esses estudos em condições de

laboratório, fornecem informações importantes para a confecção de modelos matemáticos, os quais são amplamente utilizados em ecologia e manejo de pragas, bem como para a previsão de ocorrência de pragas e de seus inimigos naturais (OBRYCKI; TAUBER, 1981; BRAMAN et al., 1992; BERNAL; GONZALEZ, 1993). Tais estudos são também utilizados na análise de abundância de pragas e no sincronismo fenológico em relação às mudanças climáticas (GHINI et al., 2008; VAN NIEUWENHOVE; FRIAS; VIRLA, 2016) bem como na determinação do número de gerações de acordo com as condições climáticas do local (GOMEZ-TORRES; NAVA; PARRA, 2014) e para o zoneamento ecológico de pragas (MILANEZ, PARRA, 2000).

Sistemas de modelagem são aplicados em programas de manejo de pragas para dar orientação sobre as épocas adequadas de amostragem e implementação de estratégias de controle, fornecendo informação para compreensão da dinâmica dos insetos pragas e de seus inimigos naturais (PARRA, 1985; DAVIS; BRENES; ALLEE, 1996; HAMADA et al., 2007). Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos, para a broca-do-café, *H. hampei*, na África (JARAMILLO et al., 2011) no Brasil para o bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Perileucoptera coffeella* Guérin-Mèneville (PARRA, 1985), para a mosca-africana-do-figo, *Zaprionus indianus* (NAVA et al., 2007), para a mosca-do-Mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (RICALDE et al., 2012), entre outros.

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), é considerada a praga mais importante desta cultura em nível mundial (JARAMILLO; BORGEMEISTER; BAKER, 2006; BUSTILLO, 2002; DAMON, 2000). Estudos mostram que existe uma estreita relação entre o desenvolvimento desta praga com fatores abióticos, especialmente temperatura; sendo realizados estudos para a determinação das faixas de temperatura nas quais *H. hampei* tem melhor desenvolvimento (COSTA; VILLACORTA, 1989; JARAMILLO et al., 2009).

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi determinar o número de gerações de *H. hampei* ao longo do ano para o Estado de São Paulo, Brasil e para a região cafeeira da Colômbia, baseando-se em suas exigências térmicas e em graus-dia acumulados.

## 3.2 Material e Métodos

### 3.2.1 Determinação das exigências térmicas de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)

Os experimentos para obtenção dos valores da duração e viabilidade de *H. hampei* em diferentes temperaturas foram discutidos no capítulo 1, sendo esses resultados utilizados para o desenvolvimento deste capítulo de “Exigências térmicas e zoneamento climático de *H. hampei*”

Para a determinação das exigências térmicas das diferentes fases de desenvolvimento e do ciclo total (ovo-adulto) de *H. hampei*, foram obtidos os parâmetros biológicos nas temperaturas de 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32 e 35±1 °C, mantidas em câmaras climatizadas em condições de UR de 65±10% e escotofase de 24 horas. Para atingir este objetivo, os ovos procedentes da geração F1, foram colocados individualmente, em placas de cultura de 24 poços da Techno plastic products® referência 920024, contendo a dieta artificial modificada (3-4 mL de dieta/poço) (Capítulo 1).

Para acompanhamento diário até a fase adulta, para cada temperatura, foram avaliadas quatro repetições, sendo que cada repetição, foi constituída por uma parcela de 150 indivíduos, onde foram avaliados diariamente: duração de desenvolvimento de ovo até adulto e respectiva viabilidade.

Com esses dados de duração para cada uma das fases de desenvolvimento de *H. hampei*, foram calculadas as taxas de desenvolvimento para cada um desses estágios: ovo, larva, pré-pupa e pupa. A duração do ciclo total de desenvolvimento foi obtida com o somatório da duração média para cada fase nas diferentes temperaturas. As médias para cada fase foram transformadas em taxa de desenvolvimento, form. (1):

$$\text{Taxa de desenvolvimento} = \frac{1}{\text{duração(dias)}} \quad (1)$$

A taxa de desenvolvimento foi determinada para aplicação do modelo linear, que permite o cálculo da temperatura base e a constante térmica de desenvolvimento, de acordo com a form. (2) (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999).

$$K = D \times (T - Tb) \quad (2)$$

Onde, K= constante térmica expressa em graus-dia (GD); D= duração (dias); T= temperatura (°C); Tb= limiar térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base (°C).

Como padronizações foram adotadas as seguintes siglas: T<sub>opt</sub>, para temperatura ótima de desenvolvimento, T<sub>b</sub> para limite térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base, K para a constante térmica de desenvolvimento.

Para as estimativas dos valores de T<sub>b</sub> e K pelo modelo de graus-dias foram utilizados os dados da faixa de temperaturas de 18 a 30°C para a fase de ovo e as temperaturas no intervalo de 18 a 28 °C para as fases de larva, pré-pupa e pupa, sendo as demais temperaturas não incluídas nas análises. Isto é normalmente feito devido a linearidade da equação (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999). Esta equação linear foi utilizada por meio do método da hipérbole (HADDAD; PARRA, 1984), sendo que os valores de T<sub>b</sub> e K obtidos pelas form. (3) e (4):

$$Tb = -\frac{a}{b} \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{b} \quad (4)$$

Os procedimentos de cálculo para o modelo avaliado e os gráficos foram realizados no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Os parâmetros T<sub>b</sub> e T<sub>máx</sub> foram estimados também experimentalmente, em função da viabilidade e da duração média das fases de desenvolvimento de *H. hampei* nas temperaturas estudadas. Considerou-se como a temperatura ótima a faixa térmica na qual correu a intersecção das temperaturas que apresentaram, estatisticamente, a menor duração e a maior viabilidade. Para a determinação de T<sub>b</sub> e T<sub>máx</sub> (limite térmico superior) foram feitas algumas estimativas; para T<sub>b</sub> foi considerado que o valor se encontra abaixo de 18°C, pois nesta temperatura houve desenvolvimento do inseto. Para T<sub>máx</sub>, como houve temperatura na qual não houve



desenvolvimento, considerou-se como faixa térmica aquela situada entre tal temperatura e a anterior que permitiu o desenvolvimento do inseto.

### **3.2.2. Análises estatísticas dos parâmetros biológicos**

Os parâmetros biológicos de duração e viabilidade foram comparados pelo modelo linear generalizado (MLG). Seguindo a distribuição de Poisson, foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) no programa SAS, Statistical Analyses System (2010).

### **3.2.3 Número de gerações de *H. hampei***

#### **3.2.3.1 Número de gerações de *H. hampei* com base nas normais climatológicas de temperatura**

O cálculo do número hipotético de gerações (ciclos) de *H. hampei* com base em suas exigências térmicas e dos graus-dia acumulados foi realizada para o Estado de São Paulo- Brasil e para a região cafeeira da Colômbia ao longo do ano.

O cálculo dos graus-dia acumulados foi fundamentado no método de Arnold (1959) com base na form. (5)

$$NC = \frac{(tm-tb)d}{K} \quad (5)$$

Onde, NC=número de ciclos; tm=temperatura média mensal; tb=temperatura base ou limite térmico inferior de desenvolvimento; K=graus-dia acumulado necessário para completar um ciclo (ovo-adulto); d=número de dias do mês.

#### **3,2.3.2 Obtenção da informação climática**

Para o Estado de São Paulo, o cálculo da temperatura média mensal dos diferentes municípios foi baseado no modelo proposto por Rodriguez-Lado; Spavorek e Vidal-Torrado (2007) e alvares et al. (2013), baseado na análise da

temperatura média mensal de 256 estações meteorológicas por meio de uma regressão linear múltipla.

Para a Colômbia, o *Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé* e a rede meteorológica da *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia* forneceram as temperaturas médias mensais da região cafeeira, calculadas a partir de uma série histórica de mais de 20 anos das 80 estações meteorológicas, de acordo com Garcia, Posada-Suarez e Läderach (2014).

A Colômbia é altamente impactada pelo índice oceânico do El Niño (ONI), o qual pode ter diferentes valores dependendo da condição na qual se encontra, podendo ser El Niño, La Niña ou fase Neutra, afetando assim o clima de diferentes regiões da Colômbia. O índice oceânico (ONI) descreve a mudança de temperatura superficial do oceano Pacífico numa região conhecida como Niño 3.4. O evento El Niño se caracteriza por ter valores de ONI superiores a  $0,5^{\circ}\text{C}$  por mais de três meses, diminuição das chuvas e incrementos na temperatura; o evento La Niña é o inverso do El Niño, com valores de ONI menores que  $-0,5^{\circ}\text{C}$  por mais de três meses e incremento nas chuvas e diminuição nas temperaturas; as fases neutras apresentam valores de ONI entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  e  $0,5^{\circ}\text{C}$  pelo menos por um mês e apresentam condições normais de chuva e temperatura (CENICAFE, 2016).

Para o uso dos Índices Oceânicos El Niño (ONI), que determinam o evento El Niño, La Niña ou a fase neutra, eles foram calculados, para a Colômbia, de acordo com IRI (2016). Os anos com o evento El Niño, ocorreram nos períodos compreendidos entre os anos 2002/2003, 2004/2005, 2006/2007, 2009/2010, 2015/2016, sendo os anos de 2009/2010 e 2015/2016 com longas durações maiores ou iguais a 10 meses; para a condição do evento La Niña, os períodos de ocorrência são os anos de 1998/2001, 2005/2006, 2007/2008, 2008/2009, 2010/2011, e 2011/2012, dos quais o período de 1998/2001 de 25 meses e os 2007/2008 e 2010/2011 de 10 meses foram os maiores (Figura 1).

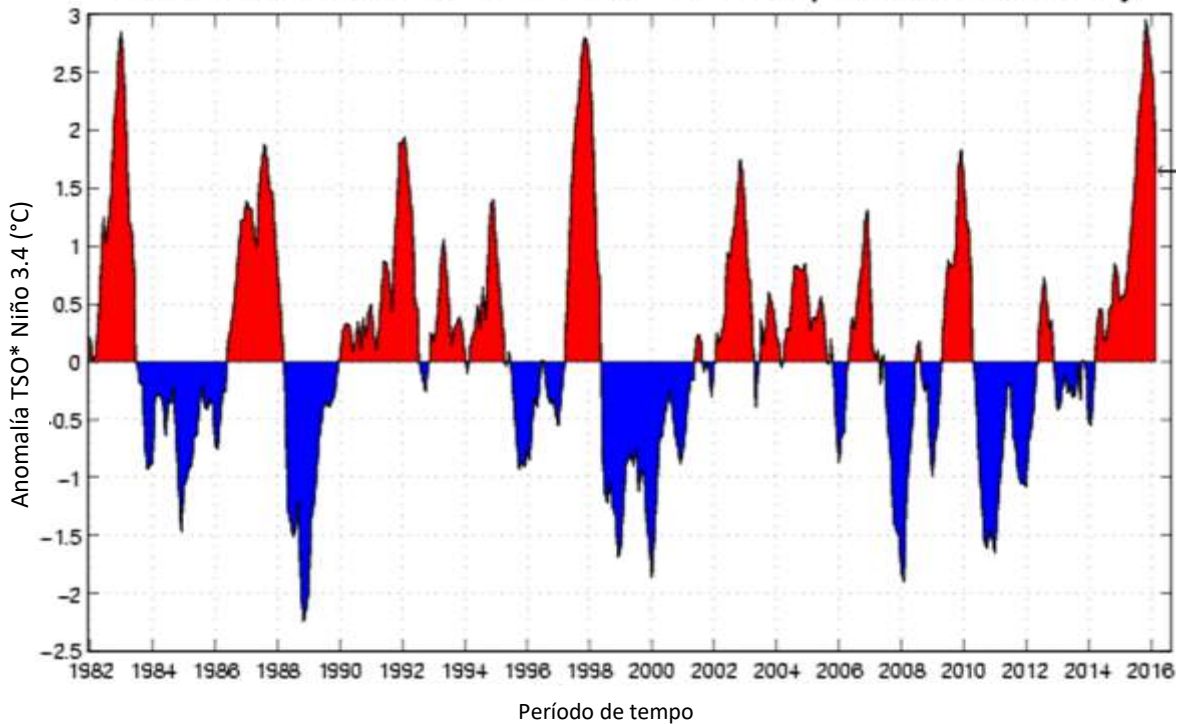


Figura 1 - Histórico da anomalia da superfície do oceano NIÑO3.4 (ONI). Desde 1982 até maio de 2016

Fonte: <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/> \*TSO: temperatura da superfície do oceano

Na Figura 1, as regiões com cor vermelha apresentam valores acima de 0,5 e correspondem aos anos com condição El Niño e as regiões com cor azul com valores abaixo de -0,5 são os anos com condição La Niña (Figura 1).

### 3.2.4 Utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinação do número de gerações de *H. hampei* para o Estado de São Paulo - Brasil e para a região cafeeira da Colômbia

O processamento dos dados e geração dos mapas com o número de ciclos mensais (período ovo-adulto, sem considerar o período de pré-oviposição) foi realizado com o sistema de Informações Geográficas (SIG) TNT Mips 7.2 com o modelo de Elevação Digital (DEM-SRTM) desenvolvido pela Embrapa (MIRANDA, 2005) para o Estado de São Paulo e para a Colômbia por Garcia; Posada-Suarez; Läderach (2014), com uma resolução espacial de 1000 metros. Para facilitar a

compreensão dos mapas gerados, foi feita uma divisão em intervalos de isotermas, de  $<18^{\circ}\text{C}$ ,  $18,1^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $20,1^{\circ}\text{C}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $22,1^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$  e  $>24,1^{\circ}\text{C}$ .

Os municípios selecionados para o Estado de São Paulo para serem analisados com base na temperatura do ar, para avaliar o desenvolvimento de *H hampei* foram divididos por mesorregiões e representam 74% da área plantada (Tabela 1), com os municípios representativos por mesorregião na Figura 2 (SÃO PAULO, 2008). Das 15 mesorregiões que o estado de São Paulo está dividido (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016), oito tem áreas representativas em café (Tabela 1).



Figura 2 - Localização das mesorregiões do estado de São Paulo

Fonte: IBGE (2016). As estrelas de coloração azul representam as áreas cafeeiras do estado

Tabela 1 - Regiões de cafeeiras com a respectiva porcentagem de participação e área, e municípios por região no Estado de São Paulo, Brasil. Anos 2007-2008

| Mesorregião       | Região                                  | % de participação | Área (ha) | Municípios   |
|-------------------|---|-------------------|-----------|--|
| 2                 | Ribeirão Preto                          | 24,79             | 53.246,44 | Pedregulho, Altinópolis, Franca, Cristais Paulista, Ribeirão Corrente, Jeriquara, Patrocínio Paulista, Restinga, Cajuru, Batatais, Santo Antônio da Alegria, Itapuã, Cássia dos Coqueiros.   |
| 4                 | Bauru                                   | 3,23              | 6.937,71  | Dois Córregos, Itaí, São Manuel, Arandu  |
| 6                 | Piracicaba                              | 0,68              | 1.460,57  | Torrinha   |
| 7                 | Campinas                                | 24,49             | 52.602,07 | Caconde, São Sebastião da Gramma, Espírito Santo do Pinhal, Santo Antônio do Jardim, Mococa, São João de Boa Vista, Divinolândia, Serra Negra, Tapiratiba, Socorro, São José do Rio Pardo, Amparo, Itapira, São José de Bela Vista, Águas da Prata |
| 8                 | Presidente Prudente                     | 2,82              | 6.937,71  | Oswaldo Cruz, Parapuã, Rinópolis,  |
| 9-10              | Assis – Marília                         | 17,23             | 37.008,31 | Garça, Tejupa, Gália, Fartura, Vera Cruz, Piraju, Lupércio, Ocaçu, Manduri, Timburi, Álvaro de Carvalho, Sarataia, Marília   |
| 12                | Macro metropolitana Paulista (Sorocaba) | 0,64              | 1.374,65  | Bragança Paulista  |
| Demais municípios |   | 26                | 56.062,60 |  |

Fonte: São Paulo (2008)

Para a região cafeeira da Colômbia, foram considerados 22 Estados para uma área total de 940.920 hectares até o mês de setembro de 2015 (Tabela 2) (FNC, 2016a) (Figura 3).

Tabela 2 - Regiões cafeeiras, por estado com a respectiva participação e área na Colômbia. Ano 2015

| <b>Estado</b>      | <b>% participação</b> | <b>Área (ha)</b> |
|--------------------|-----------------------|------------------|
| Antioquia          | 13,7                  | 128.630          |
| Bolívar            | 0,1                   | 1160             |
| Boyacá             | 1,2                   | 11.520           |
| Caldas             | 7,7                   | 72.370           |
| Caquetá            | 0,4                   | 4.090            |
| Casanare           | 0,3                   | 3.200            |
| Cauca              | 10,2                  | 92.620           |
| Cesar              | 3,1                   | 28.910           |
| Chocó              | 0,02                  | 160              |
| Cundinamarca       | 4,0                   | 37.920           |
| Guajira            | 0,6                   | 6.120            |
| Huila              | 16,4                  | 154.090          |
| Magdalena          | 2,2                   | 20.390           |
| Meta               | 0,4                   | 3.530            |
| Nariño             | 4,1                   | 38.850           |
| Norte de Santander | 2,7                   | 25.440           |
| Putumayo           | 0,01                  | 130              |
| Quindío            | 2,9                   | 27.020           |
| Risaralda          | 5,4                   | 50.800           |
| Santander          | 5,4                   | 51.140           |
| Tolima             | 12,5                  | 118.430          |
| Valle              | 6,8                   | 64.390           |
| <b>TOTAL</b>       |                       | <b>940.920</b>   |

Fonte: FNC (2016a)

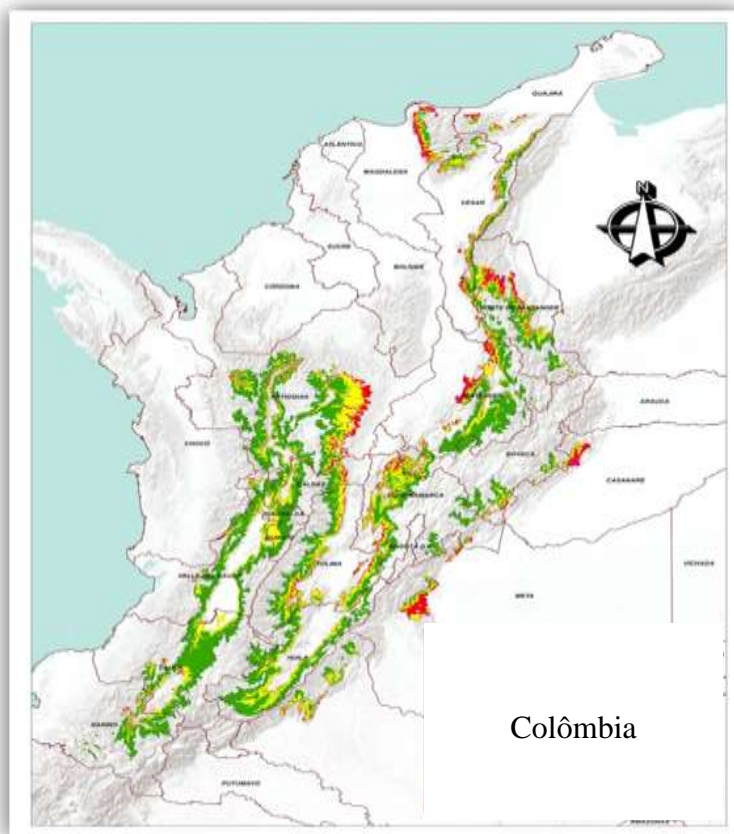


Figura 3 - Localização da região cafeeira da Colômbia

### 3.3 Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Determinação das exigências térmicas de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)

Foram observadas diferenças estatísticas significativas ( $P < 0,05$ ) para o tempo de desenvolvimento e a viabilidade nas temperaturas estudadas para as diferentes fases de desenvolvimento de *H. hampei*, resultados já discutidos no capítulo 1 (Tabela 3).

Não foi verificado desenvolvimento em todas as temperaturas estudadas, existindo variações; assim, para a fase de ovo ocorreu eclosão na faixa de 18 a 35°C; para as fases de larva, pré-pupa e pupa houve desenvolvimento no intervalo de 18 a 32°C.

O tempo de desenvolvimento foi inversamente relacionado ao aumento da temperatura até o limite de 30°C nas diferentes fases, sendo observado que acima desta temperatura ocorreu um alongamento do período de desenvolvimento (Tabela 3).

De modo geral, nas temperaturas extremas estudadas foram observadas menores viabilidades nas diferentes fases de desenvolvimento de *H. hampei*. A viabilidade foi baixa nas temperaturas de 18, 32 e 35°C para a fase de ovo; para a fase de larva, a viabilidade foi menor nas temperaturas acima de 30°C e para as fases de pré-pupa e pupa não houve diferenças entre as temperaturas, apresentando viabilidades iguais ou superiores a 97% (Tabela 3).

A relação desta taxa com a temperatura, foi adequadamente descrita pelo modelo linear, já que os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o coeficiente ajustado ( $R^2_{adj}$ ) foram maiores ou iguais a 0,88 para todas as fases. Autores como Burnham e Anderson (2002); Quinn e Keough (2002) relatam que valores superiores a 0,85 são apropriados para o ajuste no modelo linear (Tabela 4).

Para a confecção do modelo foi utilizada apenas a parte linear da curva de desenvolvimento. Deste modo, nas fases de ovo, larva e o período ovo-adulto foi utilizada a faixa de 18 a 30°C e para as fases de pré-pupa e pupa de 18 a 28°C para tal análise (Figura 4). Os limiares térmicos inferiores ou temperaturas bases de cada uma das fases de desenvolvimento estiveram entre 13 a 15°C e as constantes térmicas (K) ficaram entre 45 a 114 GD. Para o período ovo-adulto o limiar térmico inferior foi de 13°C e a constante térmica de 312 GD (Tabela 4).



Tabela 3 - Duração média e viabilidade média das fases de ovo, larva, pré-pupa, pupa, período ovo-adulto ( $\pm$ EP) de *Hypothenemus hampei*, em oito temperaturas constantes em dieta artificial. UR:  $65\pm 10\%$  e escotofase: 24 horas

| Temperatura<br>°C | Duração (dias) * |                      |     |                      |     |                      |     |                     |     | Viabilidade (%) |                    |                     |                     |                    |              |
|-------------------|------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|-----|---------------------|-----|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|
|                   | N                | Ovo                  | N   | Larva                | N   | Pré-pupa             | N   | Pupa                | N   | Ovo-adulto      | Ovo                | Larva               | Pré-pupa            | Pupa               | Ovo - adulto |
| 18                | 600              | 14,8 $\pm$ 0,03<br>a | 523 | 25 $\pm$ 0,05 a      | 476 | 16 $\pm$ 0,05 a      | 455 | 16 $\pm$ 0,06 a     | 441 | 70,9            | 86 $\pm$ 0,5<br>b  | 91 $\pm$ 1,56<br>A  | 95 $\pm$ 2,1<br>a   | 96 $\pm$ 2,9<br>a  | 72 a         |
| 20                | 600              | 10.2 $\pm$ 0,03<br>b | 582 | 17,1 $\pm$ 0,03<br>b | 544 | 14,6 $\pm$ 0,05<br>b | 506 | 14 $\pm$ 0,04<br>b  | 455 | 55,9            | 94 $\pm$ 0,19<br>a | 93 $\pm$ 1,65<br>a  | 89 $\pm$ 2,6<br>a   | 90 $\pm$ 1,4<br>a  | 81 a         |
| 22                | 600              | 6,2 $\pm$ 0,02<br>C  | 597 | 14,9 $\pm$ 0,03<br>C | 545 | 8,3 $\pm$ 0,04<br>c  | 460 | 8,3 $\pm$ 0,04<br>c | 457 | 37,7            | 99 $\pm$ 0,03<br>a | 91 $\pm$ 2,1<br>9 a | 94 $\pm$ 2,9 a<br>a | 99 $\pm$ 1,5<br>a  | 83 a         |
| 25                | 600              | 4,1 $\pm$ 0,03<br>F  | 590 | 8,6 $\pm$ 0,03<br>E  | 534 | 5 $\pm$ 0,04 f       | 503 | 5,3 $\pm$ 0,03<br>f | 498 | 23              | 98 $\pm$ 0,05<br>a | 90 $\pm$ 1,71<br>a  | 94 $\pm$ 1,8 a<br>a | 98 $\pm$ 1,3<br>a  | 81 a         |
| 28                | 600              | 4,2 $\pm$ 0,02<br>E  | 588 | 8,7 $\pm$ 0,03<br>E  | 546 | 4,9 $\pm$ 0,04 f     | 514 | 5,2 $\pm$ 0,02 f    | 509 | 23,9            | 97 $\pm$ 0,03<br>a | 93 $\pm$ 1,45<br>a  | 94 $\pm$ 1,5 a<br>a | 98 $\pm$ 1,6<br>a  | 83 a         |
| 30                | 600              | 2,8 $\pm$ 0,01<br>H  | 534 | 6,7 $\pm$ 0,03<br>F  | 523 | 6,1 $\pm$ 0,02<br>e  | 518 | 6,5 $\pm$ 0,02<br>e | 420 | 22,1            | 98 $\pm$ 0,02<br>a | 84 $\pm$ 1,35<br>b  | 98 $\pm$ 1,7 a<br>a | 99 $\pm$ 1,1<br>a  | 84 a         |
| 32                | 600              | 5,6 $\pm$ 0,04<br>d  | 348 | 13,5 $\pm$ 0,03<br>d | 292 | 7,2 $\pm$ 0.04<br>d  | 272 | 7,4 $\pm$ 0,03<br>d | 263 | 33,7            | 58 $\pm$ 1,38<br>c | 89 $\pm$ 1,10<br>b  | 93 $\pm$ 1,6 a<br>a | 97 $\pm$ 1,01<br>a | 44 b         |
| 35                | 600              | 3,1 $\pm$ 0,10<br>G  | 47  |                      |     |                      |     |                     |     |                 | 7 $\pm$ 0,30<br>d  | -                   | -                   | -                  | -            |
| F,                |                  | 1338,68              |     | 607,72               |     | 555,61               |     | 188,86              |     |                 | 135,24             | 5,67                | 0,82                | 0,77               |              |
| gl                |                  | 7                    |     | 6                    |     | 6                    |     | 6                   |     |                 | 6                  | 6                   | 6                   | 6                  |              |
| P                 |                  | <0,0001              |     | <0,0001              |     | <0,0001              |     | <0,0001             |     |                 | <0,0001            | <0,0001             | 0,5693              | 0,6030             |              |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey,  $P < 0,05^*$ ) O número de repetições é dado pelo valor de n. Ovo-adulto é o somatório das médias das fases de ovo, larva, pré-pupa e pupa

Tabela 4 - Análise da regressão linear estimada, limite térmico inferior (Tb) e constante térmica de desenvolvimento para as diferentes fases de desenvolvimento e para o período ovo-adulto de *Hypothenemus hampei*

| Fase de desenvolvimento | Faixa de temperatura (°C) | Equação da regressão*  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado | Tb*   | K**   |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|-------|-------|
| Ovo                     | 18-30                     | $Y=-0,33415+0,02217*T$ | 0,93           | 0,92                    | 15,1  | 45,1  |
| Larva                   | 18-30                     | $Y=-0,11799+0,00876*T$ | 0,95           | 0,93                    | 13,4  | 114,0 |
| Pré-pupa                | 18-28                     | $Y=-0,24227+0,01652*T$ | 0,92           | 0,90                    | 14,7  | 72,5  |
| Pupa                    | 18-28                     | $Y=-0,21112+0,01496*T$ | 0,92           | 0,90                    | 14,1  | 78,9  |
| Ovo-Adulto              | 18-28                     | $Y=-0,04389+0,00321*T$ | 0,90           | 0,88                    | 13,00 | 312   |

\*Limite térmico inferior de desenvolvimento (°C), \*\*Constante térmica de desenvolvimento (em graus dia)

Estes valores de Tb e K são diferentes daqueles relatados por Jaramillo et al. (2009), Costa e Villacorta (1989), Ruiz-Cárdenas e Baker (2010), provavelmente, pelas diferentes técnicas de criação utilizadas e por se tratarem de populações de *H. hampei* de diferentes locais.

Este modelo linear para determinação do limite térmico inferior (Tb) é amplamente utilizado em diversos trabalhos (VAN NIEWENHOVE; FRIAS; VIRLA, 2016; SANDHU et al., 2010; BERGANT; TRDAN, 2006, HADDAD; PARRA; MORAES, 1999); entretanto, este modelo apresenta limitações para o cálculo dos parâmetros de limiar térmico superior, recomendando-se para este caso o uso de modelos matemáticas não lineares que auxiliem no cálculo, como o trabalho de Logan et al. (1976).

Como na menor temperatura estudada (18°C) ocorreu desenvolvimento do inseto, o limiar térmico inferior ou Tb deve estar abaixo desta temperatura para todas as fases de *H. hampei*; esta informação está de acordo com os relatos de Ruiz-Cárdenas e Baker (2010) na Colômbia. Por outro lado, Pezzopane et al (2005), determinaram que a Tb de *C. arabica* é 10°C e que em temperaturas inferiores a 15°C, há uma acentuada redução na fotossíntese, o que impacta a produção nesta condição térmica (COSTE, 1989).

Os diversos autores relatam que a Tb para *H. hampei* se encontra entre 10 e 18°C (RUIZ-CARDENAS; BAKER, 2010; JARAMILLO et al., 2009; COSTA; VILLACORTA, 1989).

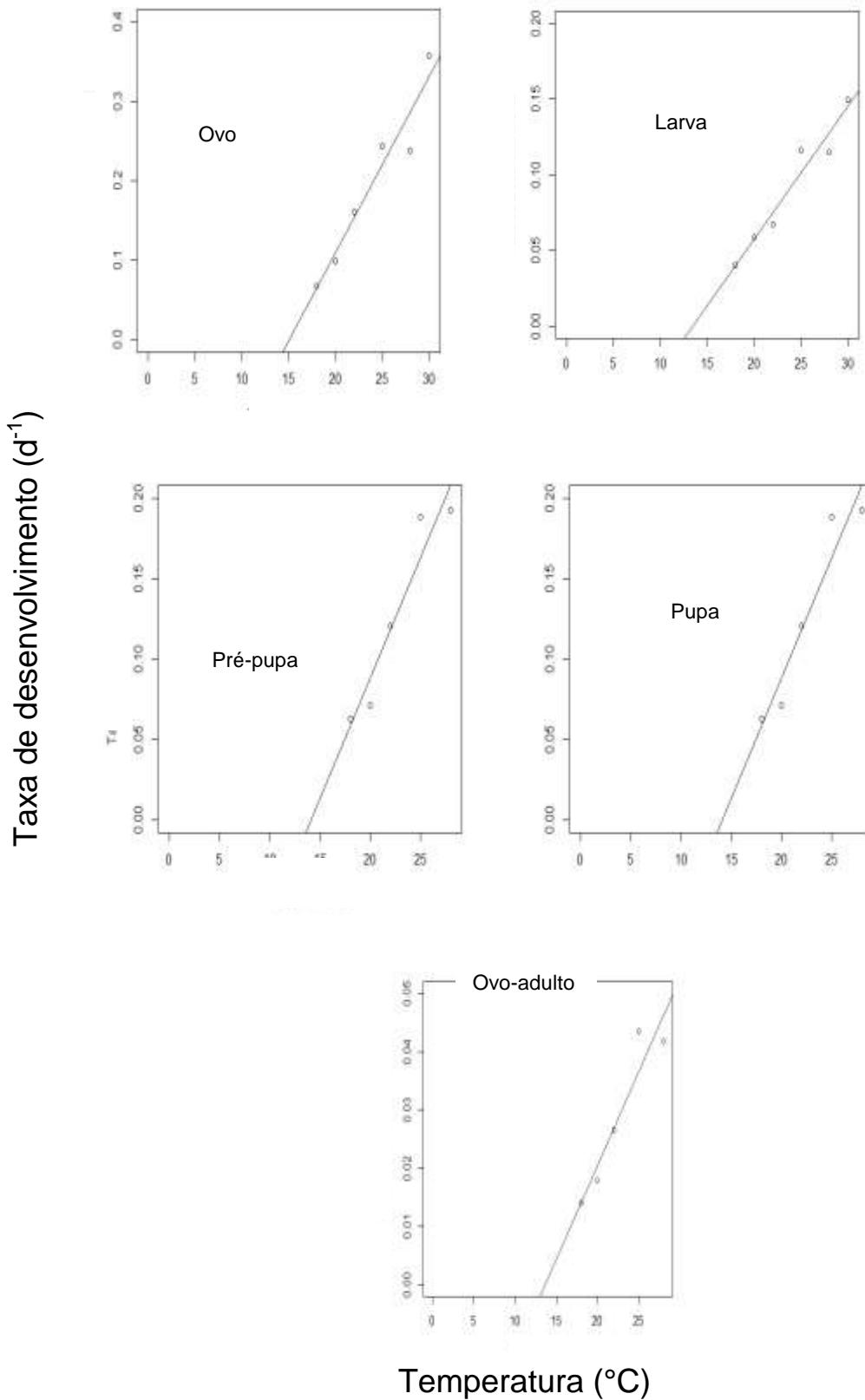


Figura 4 - Relação da taxa de desenvolvimento ( $dia^{-1}$ ) e temperatura ( $^{\circ}C$ ) das diferentes fases de desenvolvimento de *H. hampei* e para o período ovo-adulto, descrita pelo modelo linear

Com base nos dados biológicos, a temperatura ótima de desenvolvimento ( $T_{opt}$ ) para *H. hampei* encontra-se entre 22 e 28°C, já que nestas temperaturas foi verificado rápido desenvolvimento e maior viabilidade (Tabela 4); como consequência, nessa mesma faixa térmica, os parâmetros calculados na tabela de vida de fertilidade apresentaram os maiores valores, seja taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), razão finita de aumento ( $\lambda$ ) e razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) (ver capítulo 1, item 3.3); assim, a faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento da broca-do-café deve estar entre 22 e 28°C.

Tendo em vista os resultados obtidos na presente pesquisa e a faixa ótima para o desenvolvimento do cafeeiro está entre 18 a 22°C de temperatura anual (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008), poderia ser considerado não haver condições para o desenvolvimento da broca-do-café, quando se consideram os dados médios anuais de temperatura. Entretanto, nas regiões com as fases de florada e frutificação que se apresentam nos meses de setembro até junho onde acaba a colheita, as temperaturas mensais têm uma mínima para o mês de junho de 19,6°C e uma máxima de 24,3°C para o mês de janeiro; além disso nos meses de setembro até junho existem municípios no estado de São Paulo, com temperaturas médias mensais de até 28°C (ALVARES et al., 2013), gerando assim condições térmicas favoráveis para o desenvolvimento de *H. hampei*.

Quanto ao limite térmico superior ( $T_{máx}$ ) verificou-se que ele se situa entre 32 a 35°C (Tabela 3); nesta última temperatura, conforme já relatado (capítulo 1), houve desenvolvimento embrionário com uma baixa viabilidade (7,8%), ocorrendo na fase larval 100% de mortalidade. Jaramillo et al. (2009) determinaram com auxílio de modelo não linear de Lactin et al. (1995), que a  $T_{máx}$  de *H. hampei* é superior a 34°C, de certa forma, coincidindo com os valores obtidos no presente estudo.

Para a espécie *C. arabica*, regiões com temperaturas médias anuais superiores a 23°C são consideradas inaptas para a produção (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008); assim, ocorre diminuição no crescimento da planta de café para regiões que estão na faixa de 30 a 33°C, considerando-se um valor de 32°C como o limite térmico superior da planta (JARAMILLO; GUZMAN, 1984; NUNES et al., 1968 *apud* PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008). Dependendo do estágio fenológico da planta, ocorrem alterações fisiológicas e em temperaturas superiores a 30°C por longos períodos na fase de florescimento, ocorrem danos na floração (aborto floral) (CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROCLIMATICAS - CIIAGRO, 2009)

e em temperaturas superiores a 34°C a fotossíntese líquida é próxima de zero (NUNES et al., 1968 apud PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008); de forma análoga se as temperaturas altas ocorrerem na fase de fruto "chumbinho", haverá perda de produção, com pouca granação e com baixa qualidade do fruto e bebida (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008). De acordo com estas considerações e com os resultados obtidos, a  $T_{máx}$  para *H. hampei* estaria entre 28 e 32°C, pois a partir de 32°C houve redução em todos os parâmetros da tabela de vida de fertilidade (Capítulo 1, item 3.3 tabelas 7), sendo coincidentes com os valores apresentados pela planta de café.

Toda e qualquer comparação pode ser arriscada, pois as diferenças de temperatura na planta vão depender do balanço energético, nas diferentes estações do ano (GOMEZ, 1977; JARAMILLO, 2005). Por outro lado, todas as fases de desenvolvimento de *H. hampei* ocorrem dentro do fruto de café (POSADA; VEGA, 2005), protegidas num local onde as temperaturas devem ser mais amenas, conforme já relatado para pragas que vivem no interior de estruturas vegetais como *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae), a broca-da-cana de açúcar (ANGELOCCI et al., 1996; GALLO et al., 2002).

Portanto, considerando-se os valores estimados pelo modelo linear e comprovados biologicamente, a faixa térmica de desenvolvimento de *H. hampei* é mais ou menos constante em todas as fases do desenvolvimento (Tabela 5).

Tabela 5 - Faixa térmica de desenvolvimento de *Hypothenemus hampei*

| <b>Fase de desenvolvimento e período</b> | <b>Faixa de temperatura °C</b> |
|--|--------------------------------|
| <b>ovo-adulto</b>                        |                                |
| Ovo                                      | 15-35                          |
| Larva                                    | 13-32                          |
| Pré-pupa                                 | 14-32                          |
| Pupa                                     | 14-32                          |
| Ovo-adulto                               | 13-32                          |

A informação obtida na presente pesquisa pode ser usada em programas de Manejo Integrado da Broca (MIB), fornecendo informações biológicas úteis para a previsão de surtos e crescimentos populacionais de *H. hampei*, que podem ajudar

no zoneamento da praga, além de ser utilizada como suporte de estudo para o comportamento da praga em diferentes cenários climáticos (JARAMILLO et al., 2011).

### **3.3.2 Número de gerações de *H. hampei***

#### **3.3.2.1 Para o estado de São Paulo, Brasil**

Com o mapa de isotermas e com os parâmetros biológicos obtidos nas diferentes temperaturas de *H. hampei*, foi possível determinar para os diferentes municípios da região cafeeira do estado de São Paulo, Brasil, o número estimado de gerações mensais e anuais para a referida praga (Tabela 6).

Para uma maior compreensão dos resultados obtidos com o número de gerações de *H. hampei* para o estado de São Paulo, foi estabelecida uma relação com as seis fases fenológicas de *C. arabica*, baseando-se em Camargo e Camargo (2001), para determinar quais são as épocas de maior susceptibilidade ao ataque da broca-do-café (Figura 5). A combinação destes resultados mostrou que as condições térmicas do clima deste Estado, favorecem o ataque destas pragas a partir do mês de setembro, quando se inicia a florada dos cafezais (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

De acordo com os resultados obtidos, o número de gerações de *H. hampei* é de 0,33-0,89 para os meses de setembro e outubro, (Figuras 6 e 7), porém com a elevação térmica, o número de gerações aumenta sensivelmente, e é possível que o florescimento em alguns anos, não seja concentrado para algumas regiões do estado, dependendo das condições de temperatura e precipitação pluvial de cada ano (CAMARGO; CAMARGO; PALLONE FILHO, 2001), o que poderia favorecer as populações de *H. hampei*, já que florações antecipadas no final do mês de julho, começo de agosto, gerariam frutos aptos para serem colonizados no mês de outubro por *H. hampei*, coincidindo com o incremento da temperatura (Figura 7); essas populações do inseto vêm dos frutos remanescentes da colheita anterior, os quais servem como reservatórios.

| 1º Ano fenológico                      |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     | 2º ano fenológico  |     |     |     |                                |     |     |                                |     |     |                                 |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|--------------------------------|-----|-----|--------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-----|-----|
| 1ª fase                                |     |     |     |     | 2ª fase                               |     |     |     |     |     | 3ª fase  |     |     |     | 4ª fase                        |     |     | 5ª fase                        |     |     | 6ª fase                         |     |     |
| Vegetação e formação das gemas florais |     |     |     |     | Indução e maturação das gemas florais |     |     |     |     |     | Florada, "Chumbinho" e expansão dos frutos.                      |     |     |     | Granação dos frutos            |     |     | Maturação dos frutos           |     |     | Repouso e senescência dos ramos |     |     |
|  |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     | Trânsito do broca-do-café  |     |     |     |                                |     |     |                                |     |     |                                 |     |     |
| Risco baixo de <i>H. hampei</i>        |     |     |     |     | Risco baixo de <i>H. hampei</i>       |     |     |     |     |     | Risco médio de <i>H. hampei</i> sem estabelecimento e reprodução |     |     |     | Risco alto de <i>H. hampei</i> |     |     | Risco alto de <i>H. hampei</i> |     |     | Risco baixo de <i>H. hampei</i> |     |     |
| SET                                    | OUT | NOV | DEZ | JAN | FEV                                   | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO  | SET | OUT | NOV | DEZ                            | JAN | FEV | MAR                            | ABR | MAI | JUN                             | JUL | AGO |

Figura 5 - Fases fenológicas da espécie *Coffea arabica* e épocas de ataque de *Hypothenemus hampei*, para o estado de São Paulo, Brasil. Adaptado de Camargo e Camargo (2001)

Os meses de novembro a janeiro, apresentam entre 0,50 a 1,04 gerações por mês de *H. hampei* (Tabela 7), sendo considerado o período crítico para o ataque deste inseto, período este denominado do "trânsito de broca" (GALLO et al., 2002), que demora cerca de 90 dias após a maior florada. Nesse momento, o fruto de café tem um acúmulo de 1800 GD e essa fase caracteriza-se por apresentar o fruto "chumbinho", quando ocorre o início da fase de expansão do fruto (PEZZOPANE et al., 2008). Segundo Cure et al. (1998), a infestação da broca do café começa a ser maior nesse período, havendo uma sincronia entre a idade do fruto de café e o desenvolvimento de *H. hampei*, levando a um maior número de gerações, já que existe uma relação direta entre maior teor de matéria seca (caracterizada pelo endurecimento do endosperma) e o estabelecimento e reprodução de *H. hampei* (SALAZAR et al., 1993) (Figuras 8, 9 e 10).

Nos meses de fevereiro e março, o número de gerações oscila entre 0,50 a 0,94. Nessa época, os frutos maiores, já com 120 dias, estarão propícios para infestação por *H. hampei*, e, além disso, com temperaturas favoráveis para o desenvolvimento do inseto (Figuras 11 e 12).

No período de abril até junho, o número de gerações varia entre 0,80 a 0,06, dependendo do mês. É a época em que se apresentam os frutos maduros (CAMARGO; CAMARGO, 2001) e as temperaturas começam a diminuir gradativamente, afetando o número de gerações de *H. hampei*. No mês de junho, a temperatura média para o estado de São Paulo é de 17,2°C, com 0,47 a 0,06 gerações da praga (Tabela 7), apresentando condições térmicas pouco favoráveis e indisponibilidade de frutos para o desenvolvimento deste inseto (Figuras 13, 14 e 15).

Bardin-Camparotto et al. (2012), mostraram que na Região Centro-Oeste do estado de São Paulo (mesorregiões Presidente Prudente, Assis e Marília), nos municípios de Assis, Presidente Prudente, Marília entre outros, pelo fato das temperaturas serem mais elevadas e as altitudes menores (inferiores a 600 m), a maturação dos frutos é mais precoce. Quando comparada a outras mesorregiões como a Nordeste (municípios de Franca e Pedregulho) com altitudes superiores a 800 m e temperaturas mais amenas, o número de gerações de *H. hampei* é menor em relação à região centro-oeste (Tabela 6).

Os meses de junho até agosto (Figuras 15,16 e 17) apresentam temperaturas médias mensais mais baixas do ano, gerando assim, um menor número de gerações de *H. hampei* quando comparado aos outros meses do ano (Tabela 6). É a época em que são consideradas como época de repouso e senescência de partes da planta de café (PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008), pois a safra já está finalizando, acarretando diminuição da disponibilidade de frutos no campo. Entretanto, mesmo depois de terminada a colheita, a possibilidade de apresentar frutos remanescentes na planta e no solo é alta, os quais podem se tornar 'reservatórios' de *H. hampei*. Trabalhos realizados em solo colombiano mostraram que esses frutos que se encontram no solo, podem permanecer por mais de 100 dias contendo brocas vivas (CASTAÑO; BENAVIDES; BAKER, 2005), funcionando como fonte de infestação.

O número total de gerações por ano pode variar entre 4,56 a 9,43, dependendo da região e das variações térmicas (Figura 18). Assim, as regiões localizadas no centro-oeste do Estado (regiões 2, 4 e 5), apresentam maior número de gerações acumuladas por ano quando comparadas com as outras (Tabela 6), já que a cafeicultura nessas regiões se encontra em sua maioria em altitudes mais baixas (600 m) e com temperaturas mais altas.



Tabela 6 - Temperatura média mensal e número provável de gerações de *Hypothenemus hampei* em mesorregiões cafeeiras do Estado de São Paulo, com base na temperatura do ar e no Sistema de Informação Geográfica (SIG) durante os meses do ano

| Mês             | Mesorregião         |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |  |                       |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|--|-----------------------|
|                 | Presidente Prudente |                       | Assis-Marília     |                       | Bauru             |                       | Ribeirão Preto    |                       | Piracicaba        |                       | Campinas          |                       | Macro Metropolitana Paulista* (Sorocaba) |                       |
|                 | Tmed<br>Mês<br>°C   | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C                        | Intervalo<br>gerações |
| Setembro        | 23,8                | 0,73 – 0,75           | 23,4              | 0,48 – 0,66           | 22,3              | 0,51 – 0,57           | 22,7              | 0,49 – 0,63           | 23,7              | 0,52                  | 22,8              | 0,33 – 0,50           | 24,6                                     | 0,40                  |
| <b>Outubro</b>  | <b>24,9</b>         | <b>0,87 – 0,89</b>    | <b>24,5</b>       | <b>0,62 – 0,80</b>    | <b>23,5</b>       | <b>0,68 – 0,71</b>    | <b>23,9</b>       | <b>0,62 – 0,74</b>    | <b>24,8</b>       | <b>0,65</b>           | <b>24,0</b>       | <b>0,46 – 0,73</b>    | <b>25,2</b>                              | <b>0,53</b>           |
| <b>Novembro</b> | <b>25,2</b>         | <b>0,91 – 0,93</b>    | <b>24,9</b>       | <b>0,68 – 0,85</b>    | <b>24,1</b>       | <b>0,72 – 0,76</b>    | <b>24,5</b>       | <b>0,65 – 0,70</b>    | <b>25,2</b>       | <b>0,70</b>           | <b>24,5</b>       | <b>0,50 – 0,76</b>    | <b>25,4</b>                              | <b>0,59</b>           |
| <b>Dezembro</b> | <b>25,3</b>         | <b>0,99 – 1,00</b>    | <b>25,9</b>       | <b>0,76 – 0,92</b>    | <b>24,0</b>       | <b>0,81 – 0,94</b>    | <b>24,0</b>       | <b>0,70 – 0,80</b>    | <b>25,5</b>       | <b>0,77</b>           | <b>24,9</b>       | <b>0,55 – 0,83</b>    | <b>25,1</b>                              | <b>0,67</b>           |
| <b>Janeiro</b>  | <b>25,3</b>         | <b>1,03 – 1,04</b>    | <b>25,2</b>       | <b>0,81 – 0,96</b>    | <b>25,1</b>       | <b>0,87 – 0,93</b>    | <b>25,1</b>       | <b>0,75 – 0,82</b>    | <b>25,6</b>       | <b>0,82</b>           | <b>25,3</b>       | <b>0,60 – 0,88</b>    | <b>24,9</b>                              | <b>0,74</b>           |
| Fevereiro       | 25,4                | 0,93 – 0,94           | 25,1              | 0,74 – 0,88           | 25,2              | 0,79 – 0,81           | 25,1              | 0,68 – 0,78           | 25,5              | 0,75                  | 25,4              | 0,75 – 0,80           | 24,5                                     | 0,68                  |
| Março           | 25,3                | 0,88 – 0,89           | 24,8              | 0,67 – 0,83           | 24,9              | 0,73 – 0,75           | 24,7              | 0,63 – 0,73           | 25,4              | 0,69                  | 25,0              | 0,50 – 0,76           | 24,1                                     | 0,62                  |
| Abril           | 24,7                | 0,78 – 0,80           | 23,7              | 0,55 – 0,72           | 23,7              | 0,61 – 0,65           | 23,6              | 0,54 – 0,67           | 24,7              | 0,59                  | 23,8              | 0,38 – 0,67           | 23,9                                     | 0,50                  |
| Maio            | 23,6                | 0,59 – 0,61           | 22,0              | 0,34 – 0,53           | 22,1              | 0,40 – 0,45           | 22,1              | 0,36 – 0,50           | 23,7              | 0,39                  | 21,9              | 0,19 – 0,49           | 23,5                                     | 0,30                  |
| Junho           | 22,5                | 0,46 – 0,47           | 20,9              | 0,22 – 0,40           | 20,8              | 0,26 – 0,38           | 20,9              | 0,23 – 0,37           | 22,6              | 0,26                  | 20,7              | 0,06 – 0,25           | 22,9                                     | 0,16                  |
| Julho           | 22,1                | 0,46 – 0,48           | 20,7              | 0,21 – 0,40           | 20,2              | 0,26 – 0,32           | 20,6              | 0,22 – 0,36           | 22,1              | 0,25                  | 20,3              | 0,05 – 0,34           | 22,9                                     | 0,15                  |
| Agosto          | 22,9                | 0,62 – 0,63           | 22,0              | 0,36 – 0,55           | 20,9              | 0,40 – 0,46           | 21,4              | 0,37 – 0,51           | 22,5              | 0,40                  | 21,4              | 0,19 – 0,47           | 22,7                                     | 0,27                  |
| Anual           | 24,3                | 9,25 – 9,43           | 22,9              | 6,44 – 8,53           | 23,1              | 7,04 – 7,73           | 23,3              | 6,24 – 7,61           | 24,3              | 6,79                  | 23,3              | 4,56 – 7,48           | 21,9                                     | <b>5,61</b>           |

Em negrito os meses considerados chaves para o ataque de *H. hampei*, conhecidos como período de transito de broca-do-café. As temperaturas médias mensais foram obtidas de Alvares et al. (2013). \*Macro Metropolitana Paulista segundo a IBGE (2016)

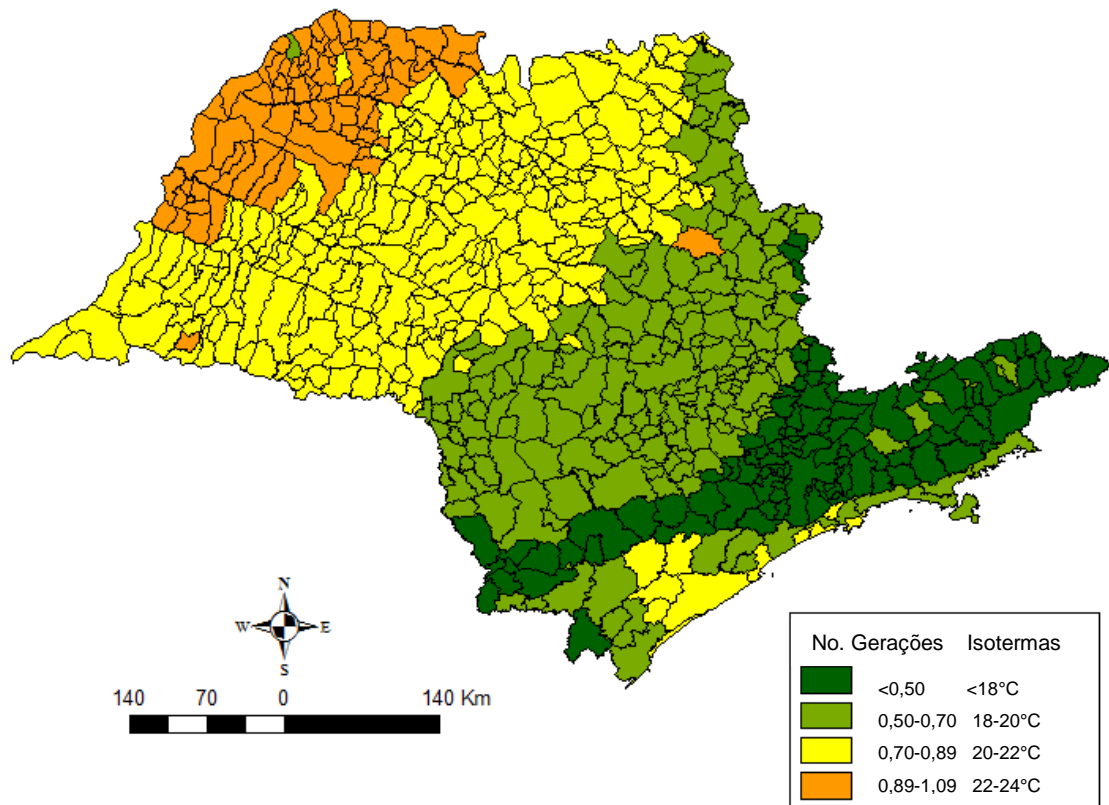


Figura 6 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de setembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

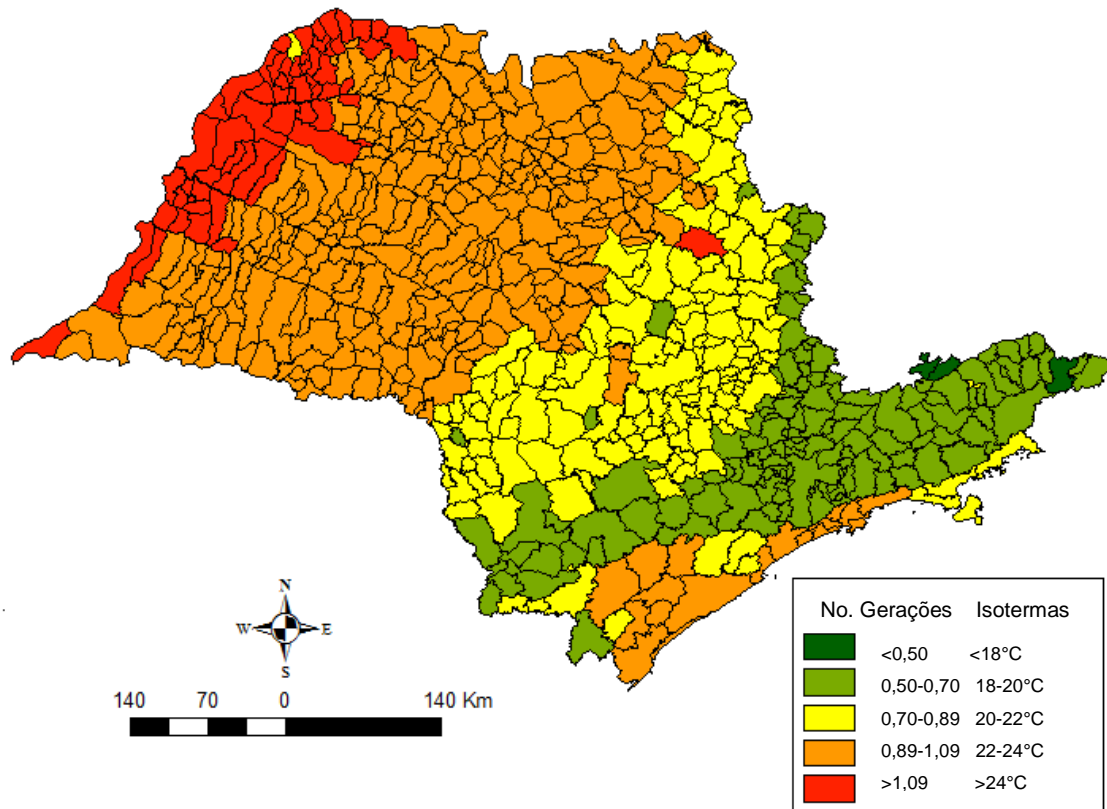


Figura 7 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de outubro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

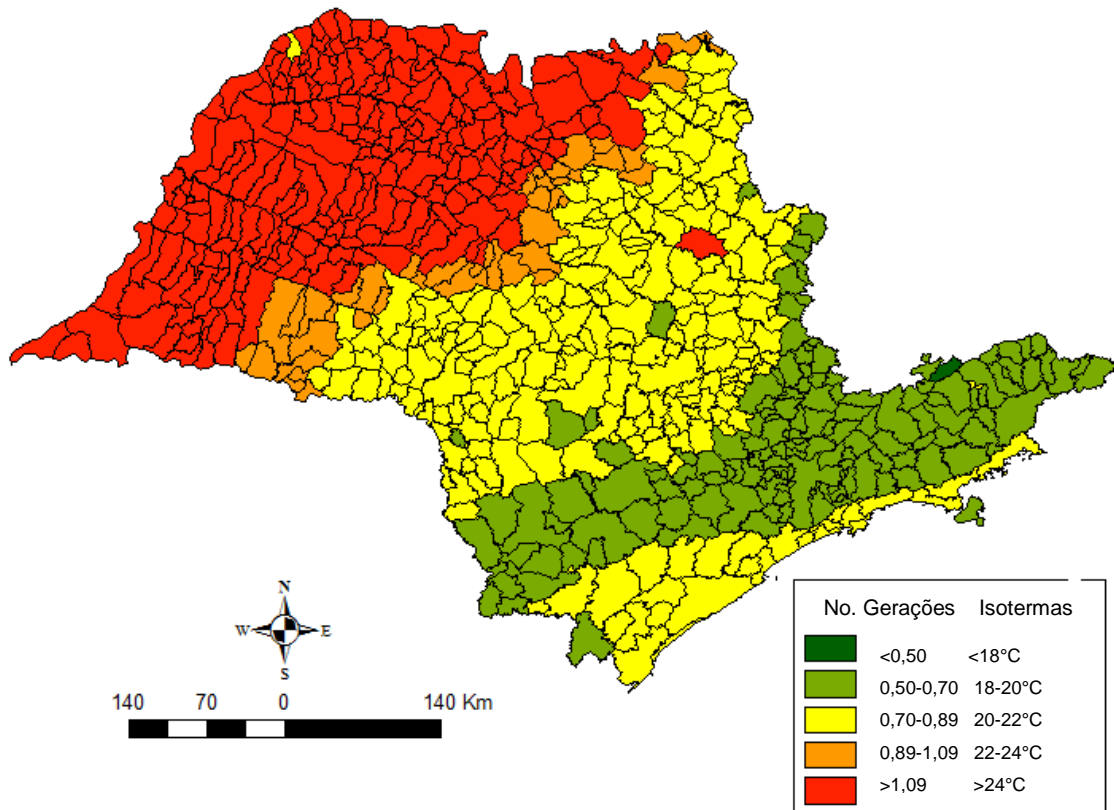


Figura 8 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de novembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

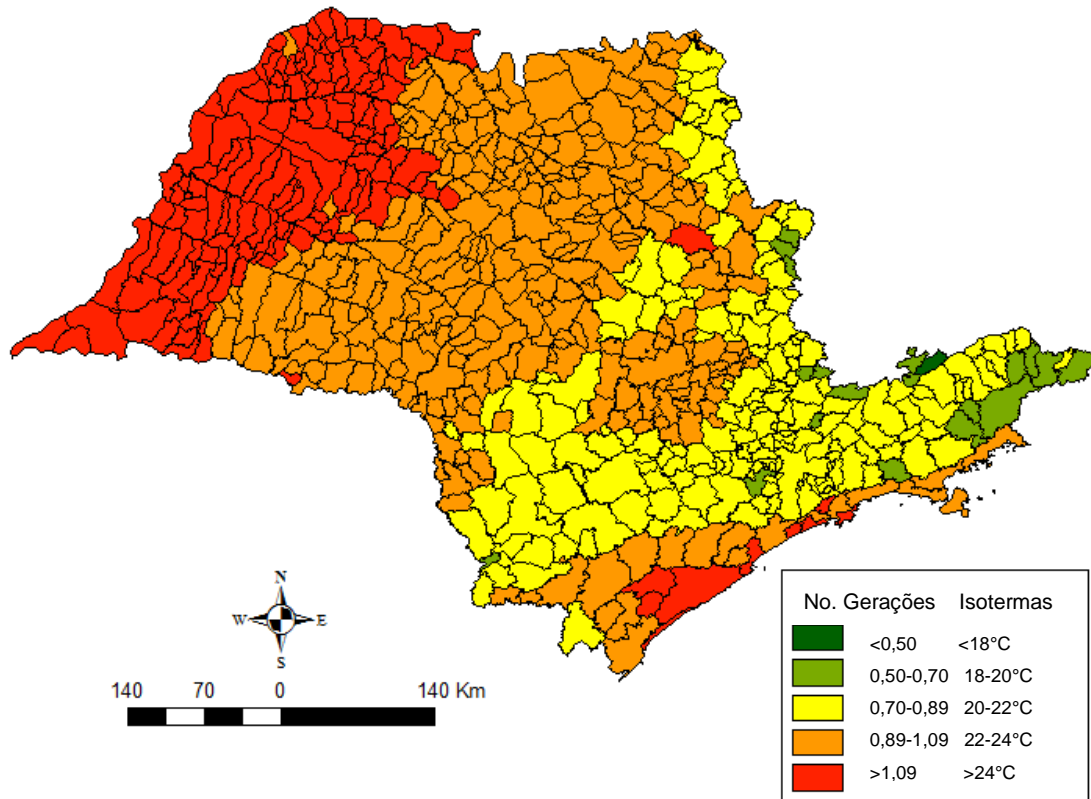


Figura 9 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de dezembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

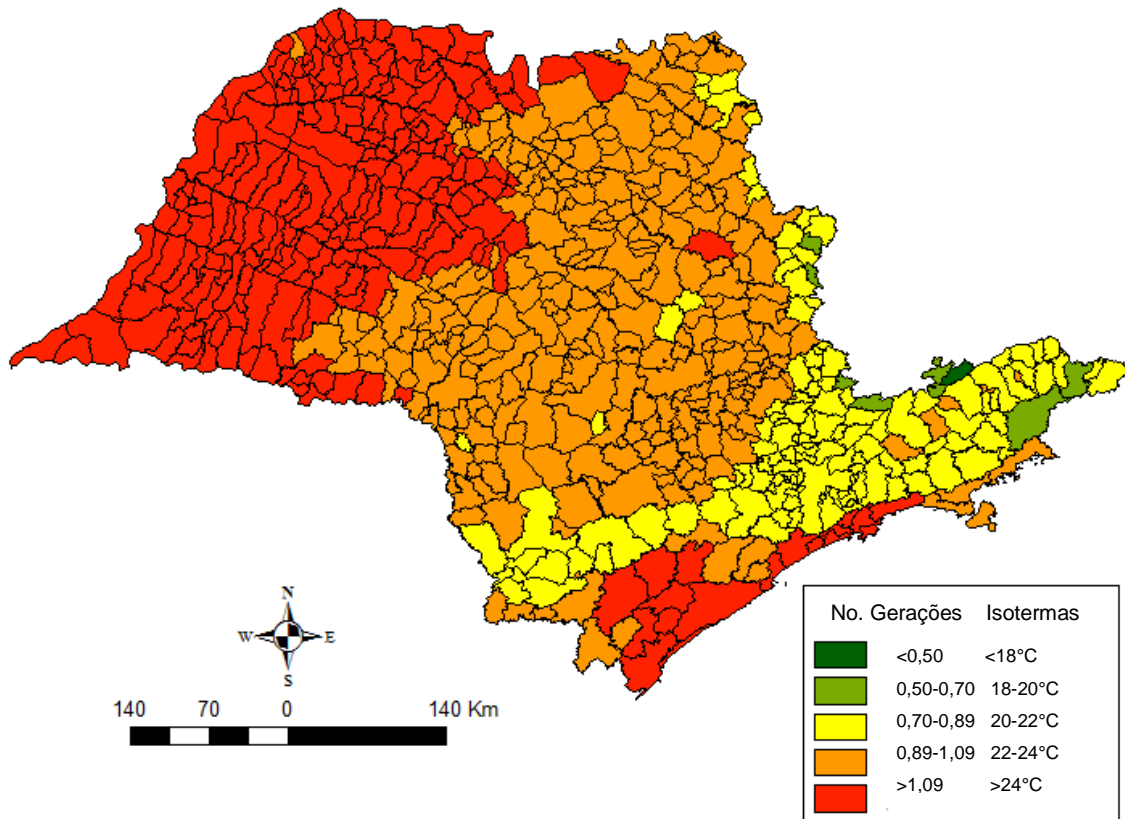


Figura 10 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de janeiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

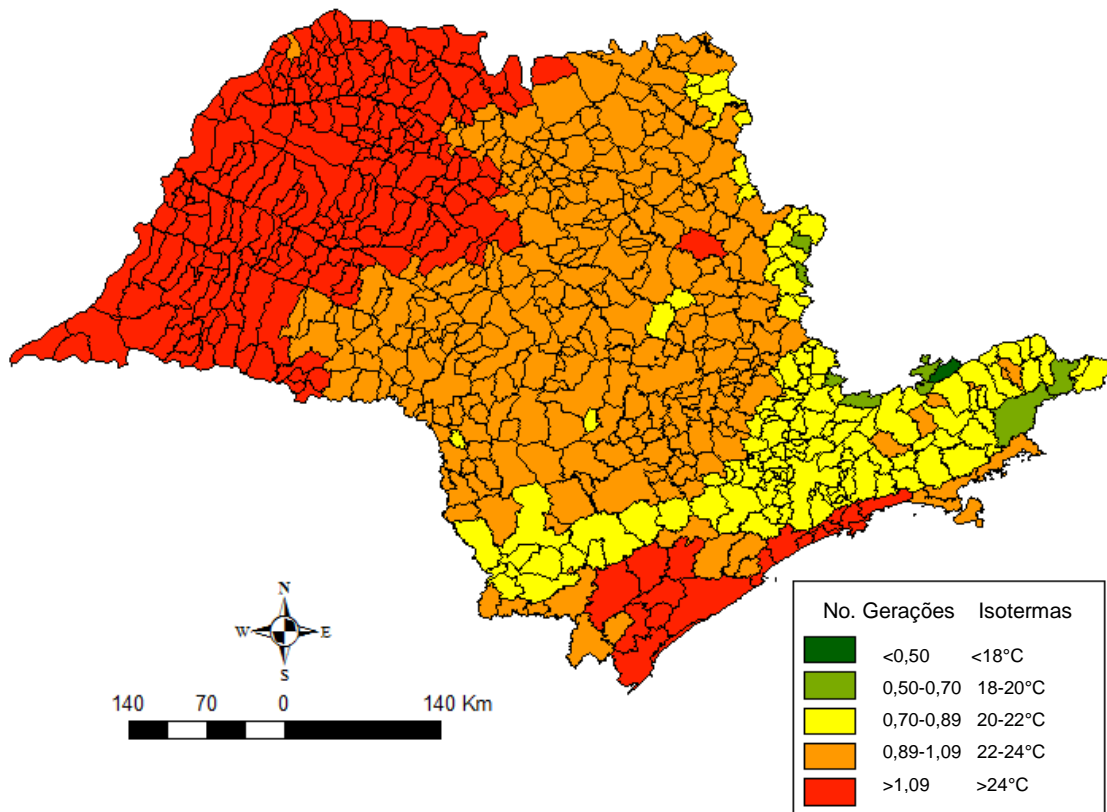


Figura 11 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de fevereiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no de São Paulo, Brasil

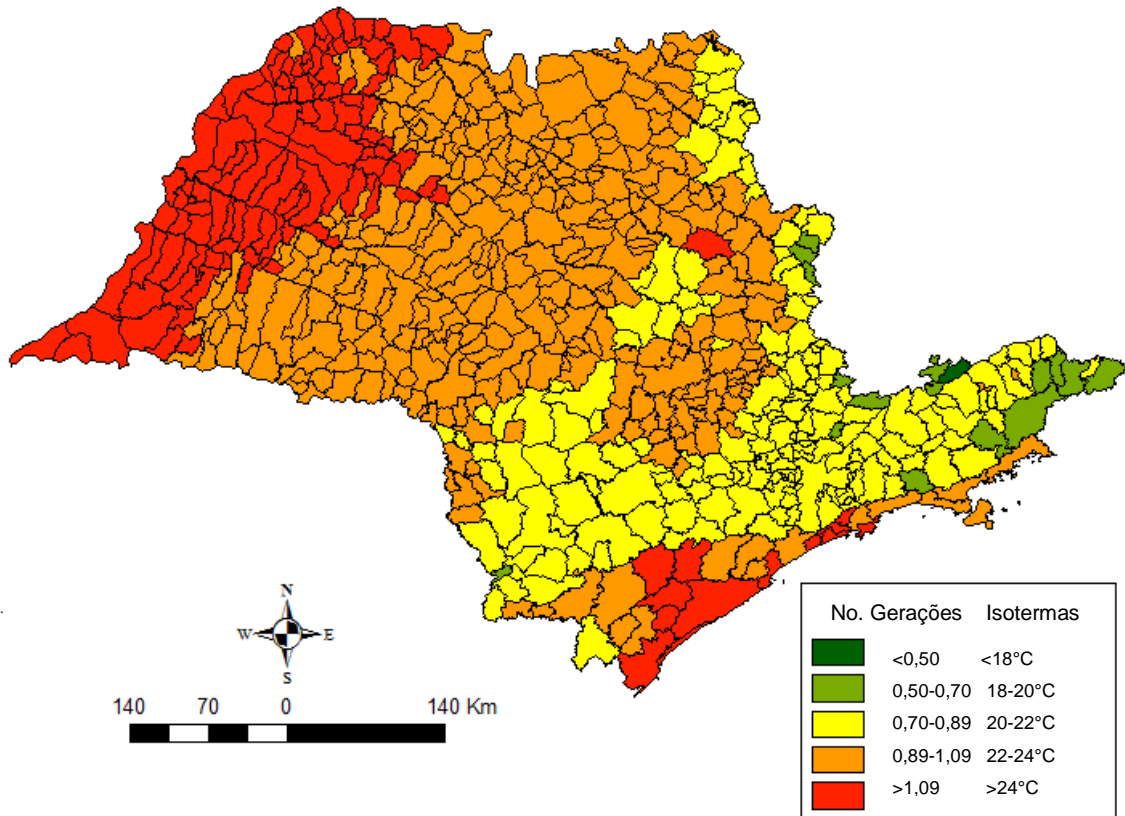


Figura 12 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de março nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil



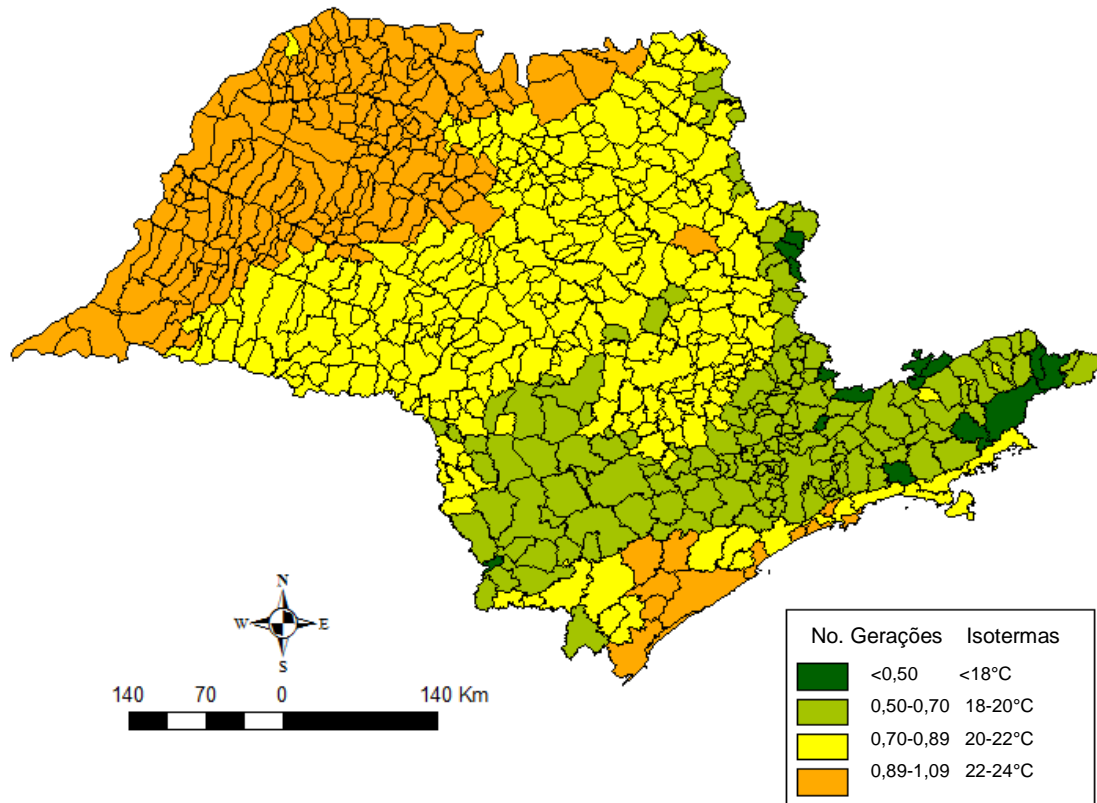


Figura 13 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de abril nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

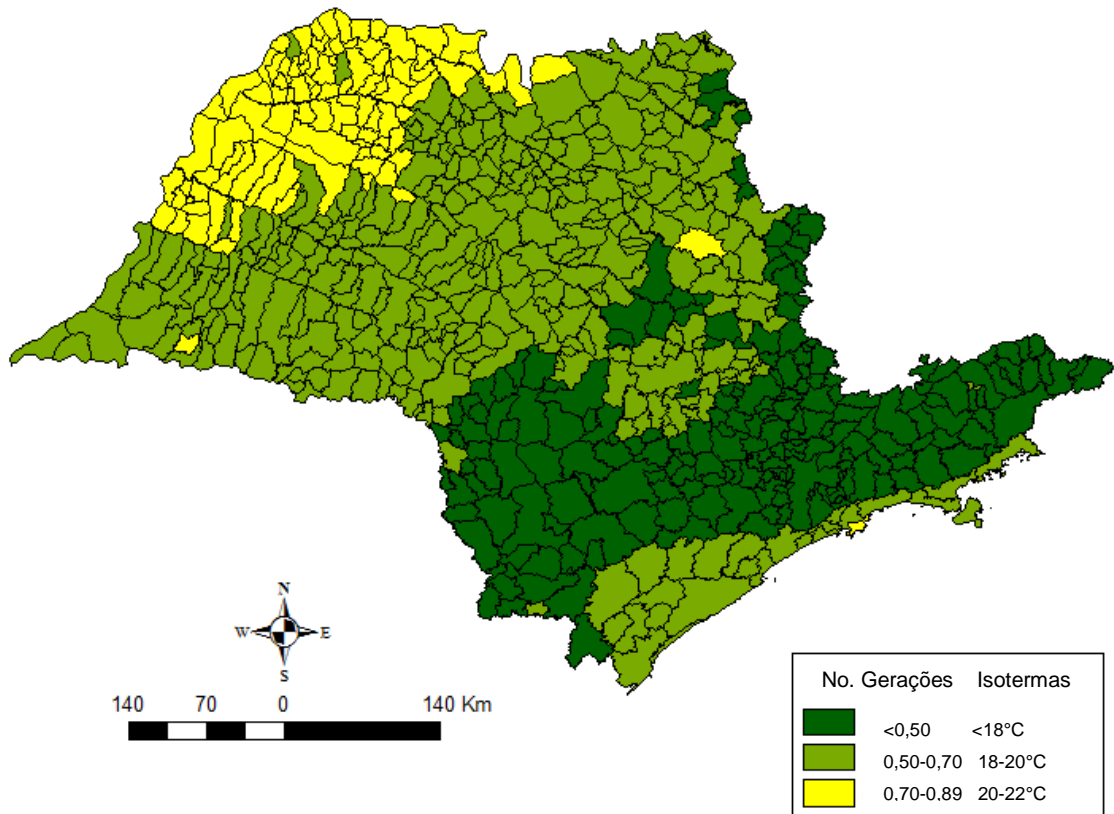


Figura 14 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de maio nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

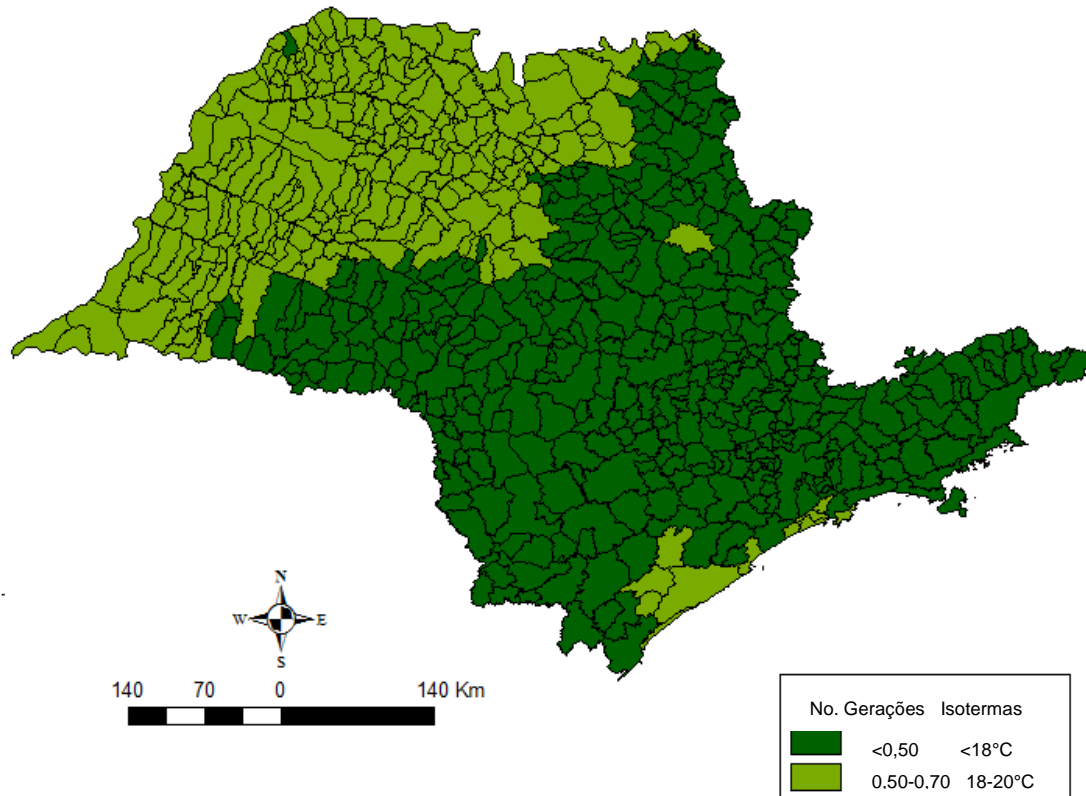


Figura 15 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de junho nos intervalos de isotermas de <math><18^{\circ}\text{C}</math>,

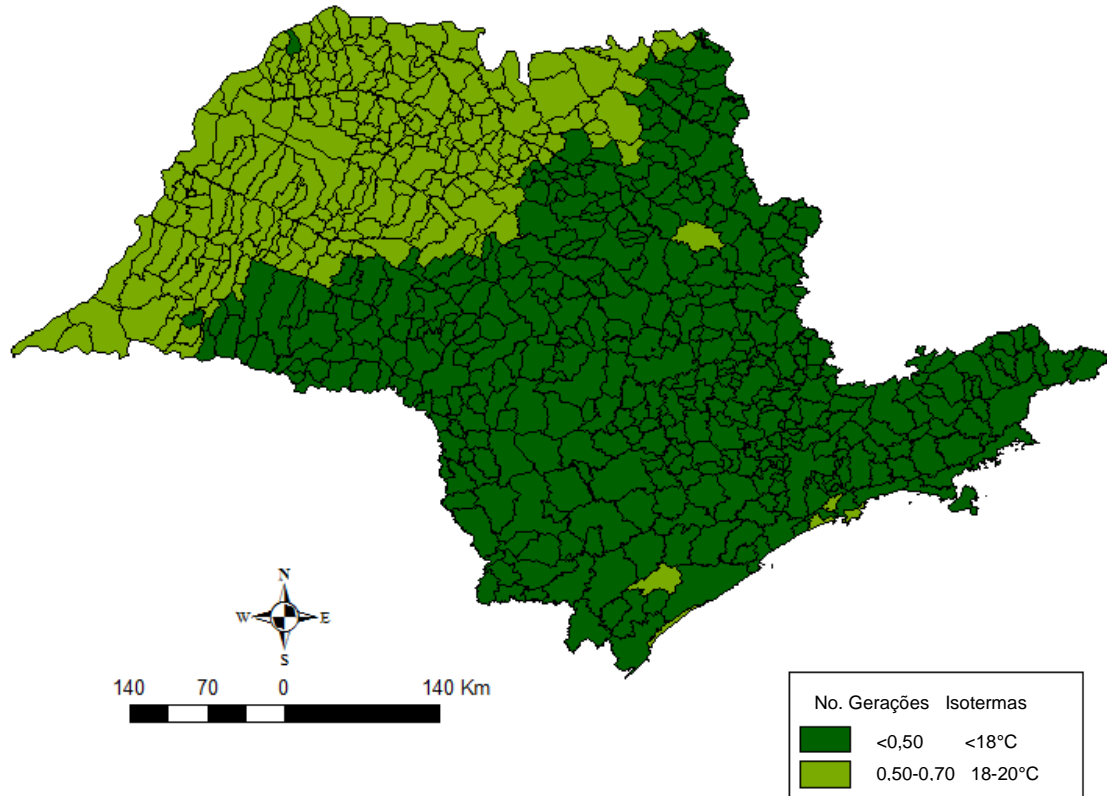


Figura 16 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de julho nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

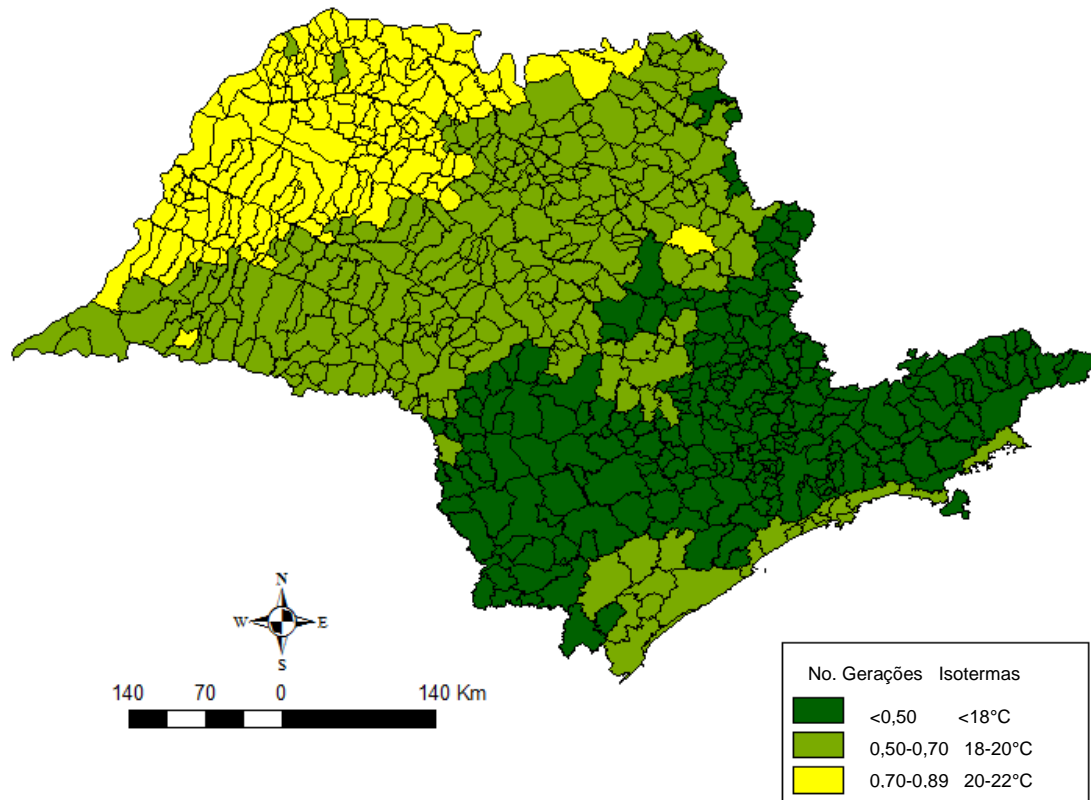


Figura 17 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de agosto nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

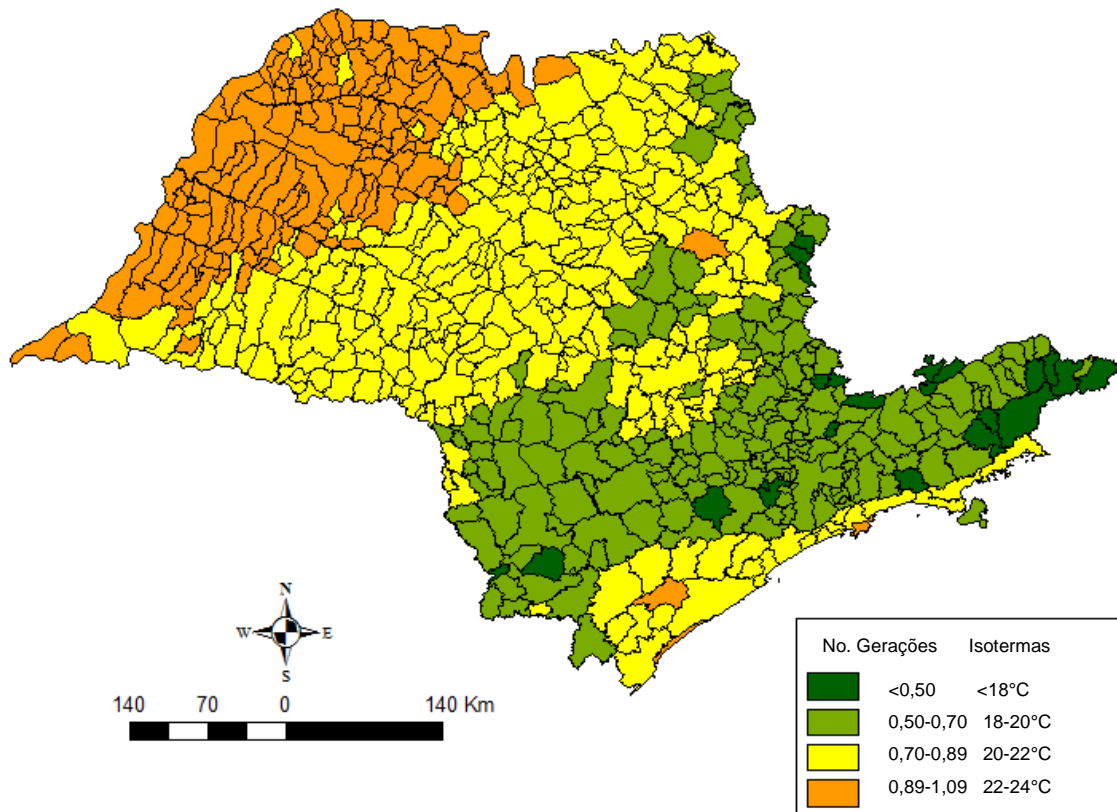


Figura 18 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* anual nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

### 3.3.2.2 Para a região cafeeira da Colômbia

Com os parâmetros biológicos de *H. hampei*, obtidos nas diferentes temperaturas e utilizando-se um mapa de isotermas, foi possível determinar para a região produtora de café na Colômbia, o número estimado de gerações da praga que ocorrem mensalmente e anualmente (Tabela 7).

A região cafeeira da Colômbia está localizada entre 1 e 11° de latitude norte, com diferenças climáticas que influenciam as condições determinantes das épocas de floração e colheita do café. Ocorrem cinco padrões de floração de *C. arabica* (ARCILA et al., 1993) permitindo determinar quais são as épocas de maior susceptibilidade ao ataque da broca-do-café (Figura 19), mostrando que as condições térmicas e fenológicas destas regiões favorecem o ataque da praga.

Em geral, as condições térmicas da Colômbia, são pouco variáveis por estar localizada na zona tropical, já que o gradiente latitude da temperatura não é significativo, apresentando valores de variação de 1°C por cada 1.000 km de arco latitudinal. A temperatura do ar só apresenta diferenças com relação a altitude, variando com a elevação altitudinal. Em termos gerais, para a região produtora de café, a cada 100 m de elevação há uma variação de -0,61°C, com pouca variabilidade mensal na mesma altitude (JARAMILLO, 2005).

Foi possível determinar que o número de gerações de *H. hampei* para a Colômbia por mês está entre 0,45 a 1,09 gerações na faixa térmica de 18 a 24°C (Tabela 7).

As variações dos padrões de floração e do regime térmico (Figura 32) para este país, mostram que regiões com os padrões I, II, III e V, (1-8° N), que representam 93% da área total plantada (Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31), poderão ter a presença/ataque da broca-do-café o ano todo, com  $\leq 5,85$  a  $\geq 13,55$  gerações por ano, dependendo da temperatura.

Tabela 7 - Temperatura média mensal e número provável de gerações de *Hypothenemus hampei* para a Colômbia, com base na temperatura do ar e no Sistema de informação Geográfica (SIG) durante os meses do ano

| Mês          | Gerações de <i>H. hampei</i> /isotermas |                  |                   |                    |               |
|--------------|---|------------------|-------------------|--------------------|---------------|
|              | ≤18°C                                   | 18-20°C          | 20-22°C           | 22-24°C            | ≥24°C         |
| Setembro     | ≤0,48                                   | 0,48-0,67        | 0,67-0,87         | 0,87-1,06          | ≥1,06         |
| Outubro      | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Novembro     | ≤0,48                                   | 0,48-0,67        | 0,67-0,87         | 0,87-1,06          | ≥1,06         |
| Dezembro     | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Janeiro      | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Fevereiro    | ≤0,45                                   | 0,45-0,63        | 0,63-0,81         | 0,81-0,99          | ≥0,99         |
| Março        | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Abril        | ≤0,48                                   | 0,48-0,67        | 0,67-0,87         | 0,87-1,06          | ≥1,06         |
| Mai          | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Junho        | ≤0,48                                   | 0,48-0,67        | 0,67-0,87         | 0,87-1,06          | ≥1,06         |
| Julho        | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| Agosto       | ≤0,50                                   | 0,50-0,70        | 0,70-0,89         | 0,89-1,09          | ≥1,09         |
| <b>Anual</b> | <b>≤5,85</b>                            | <b>5,85-8,19</b> | <b>8,19-10,53</b> | <b>10,53-13,55</b> | <b>≥13,55</b> |

Analisando-se o número mensal estimado de gerações de *H. hampei* para a Colômbia, em função da temperatura, observa-se que as variações são influenciadas pelo gradiente de altitude, podendo ser encontradas grandes variações, pois a região da cafeicultura está distribuída entre 1.200 a 1800 m, com temperatura média anual entre 17°C e 23,5°C (CENICAFE, 2016).

Entre os fatores mais críticos que afetam a fenologia da planta de café na Colômbia, são a temperatura, o fotoperíodo e regime de chuvas. Os dois primeiros fatores não são tão limitantes (JARAMILLO, 2005); desta forma, o regime de chuvas e a evapotranspiração das diferentes regiões colombianas, permitem determinar as épocas que elas apresentam florações e as épocas de colheita (ARCILA et al., 1993) e assim estimar a dinâmica da broca-do-café para cada região cafeeira.



| Padrão<br>florada<br>latitude | Ano 1                    |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     | Ano 2                |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|-------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|--------------------|--------------------|---------|------------|------------|----------------------|-----|-----|----------------------|-----|--------------------|-----------|------------|-----|-----|-----|--------------------|----------------------|------------|-----|------------|--|--|--|--------------------|--------------------|--|--|
|                               | SET                      | OUT | NOV | DEZ | JAN                | FEV                | MAR     | ABR        | MAI        | JUN                  | JUL | AGO | SET                  | OUT | NOV                | DEZ       | JAN        | FEV | MAR | ABR | MAI                | JUN                  | JUL        | AGO |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
| I<br>1-4° N                   | H. hampei                |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     | Risco alto H. hampei |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Florada 1<br>(90-95%)    |     |     |     |                    |                    |         |            |            | Florada 2<br>(5-10%) |     |     | Colheita 1           |     |                    | Florada 1 |            |     |     |     |                    | Florada 2<br>(5-10%) |            |     | Colheita 1 |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Colheita 2               |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     | Colheita 2           |     |                    |           |            |     |     |     |                    | Colheita 2           |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
| II<br>4-5° N                  | Risco alto H. hampei     |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     |                      |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Florada 2<br>(40%)       |     |     |     |                    | Florada 1<br>(60%) |         |            |            |                      |     |     |                      |     | Florada 2<br>(40%) |           |            |     |     |     | Florada 1<br>(60%) |                      |            |     |            |  |  |  |                    | Florada 2<br>(40%) |  |  |
|                               | Colheita 1               |     |     |     |                    |                    |         | Colheita 2 |            |                      |     |     |                      |     |                    |           | Colheita 1 |     |     |     |                    |                      | Colheita 2 |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
| III<br>5-8° N                 | Risco alto H. hampei     |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     |                      |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               |                          |     |     |     | Florada 1<br>(75%) |                    |         |            |            |                      |     |     | Florada 2<br>(25%)   |     |                    |           |            |     |     |     | Florada 1<br>(75%) |                      |            |     |            |  |  |  | Florada 2<br>(25%) |                    |  |  |
|                               | Colheita 1               |     |     |     |                    |                    |         |            | Colheita 2 |                      |     |     |                      |     |                    |           | Colheita 1 |     |     |     |                    |                      |            |     | Colheita 2 |  |  |  |                    |                    |  |  |
| IV<br>9-11° N                 | Risco alto H. hampei     |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     | Risco alto H. hampei |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               |                          |     |     |     |                    |                    | Florada |            |            |                      |     |     |                      |     |                    | Florada   |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Colheita                 |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     | Colheita             |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
| V<br>4-8° N<br>>1.700<br>msnm | Risco alto H. hampei     |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     |                      |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Florada indeterminadas   |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     |                      |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |
|                               | Colheitas indeterminadas |     |     |     |                    |                    |         |            |            |                      |     |     |                      |     |                    |           |            |     |     |     |                    |                      |            |     |            |  |  |  |                    |                    |  |  |

Figura 19 - Fases de floração e colheita da espécie *Coffea arabica* e épocas de ataque de *Hypothenemus hampei*, para a Colômbia. Adaptado de Arcila et al (1993). A parte vermelha da figura corresponde às épocas de ocorrência da broca-do-café; nas regiões com padrões de florada I, II, III e V; *H. hampei* ocorre o ano todo, na região IV, só ocorre uma florada, sendo que a ocorrência desta praga é menor

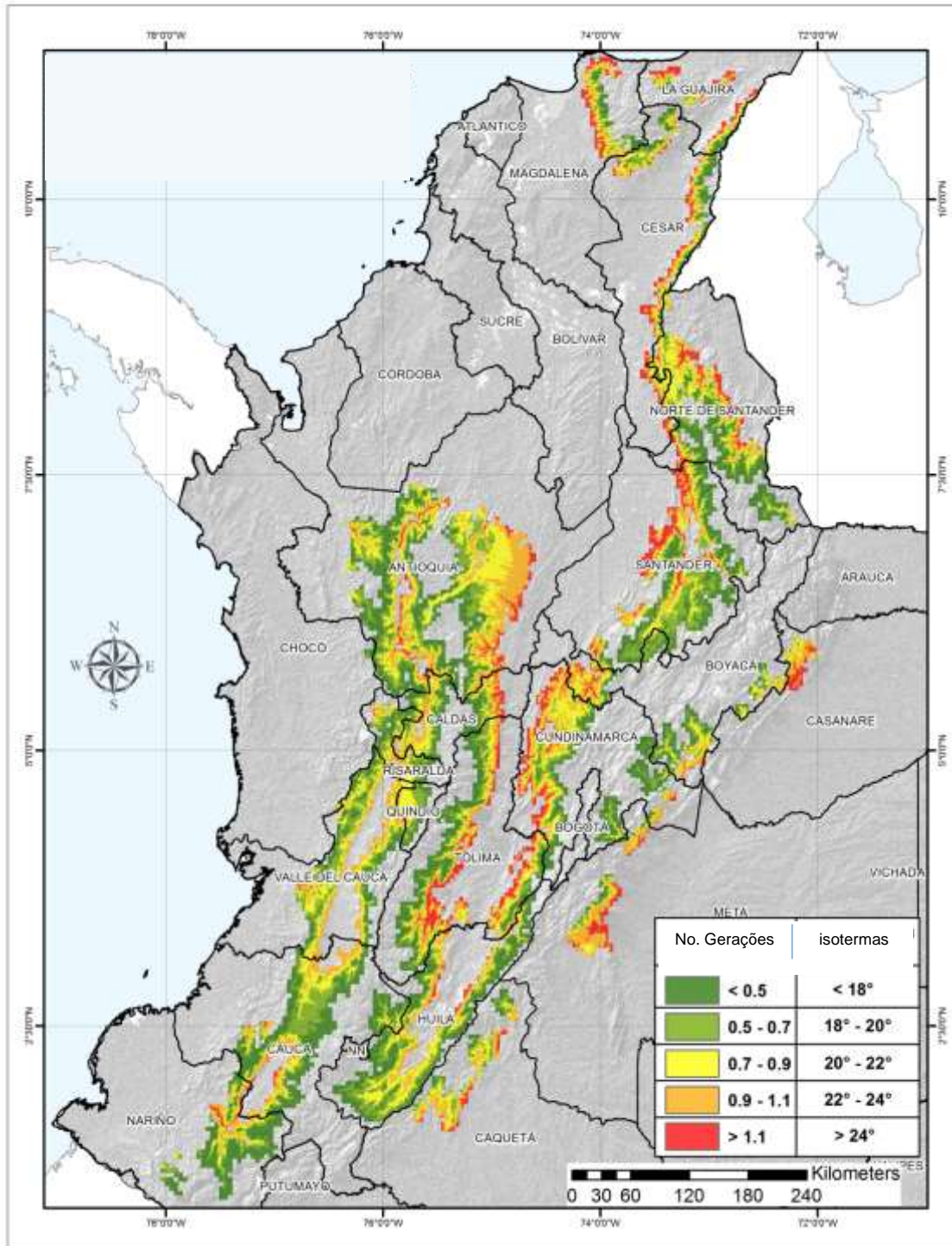


Figura 20 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de setembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

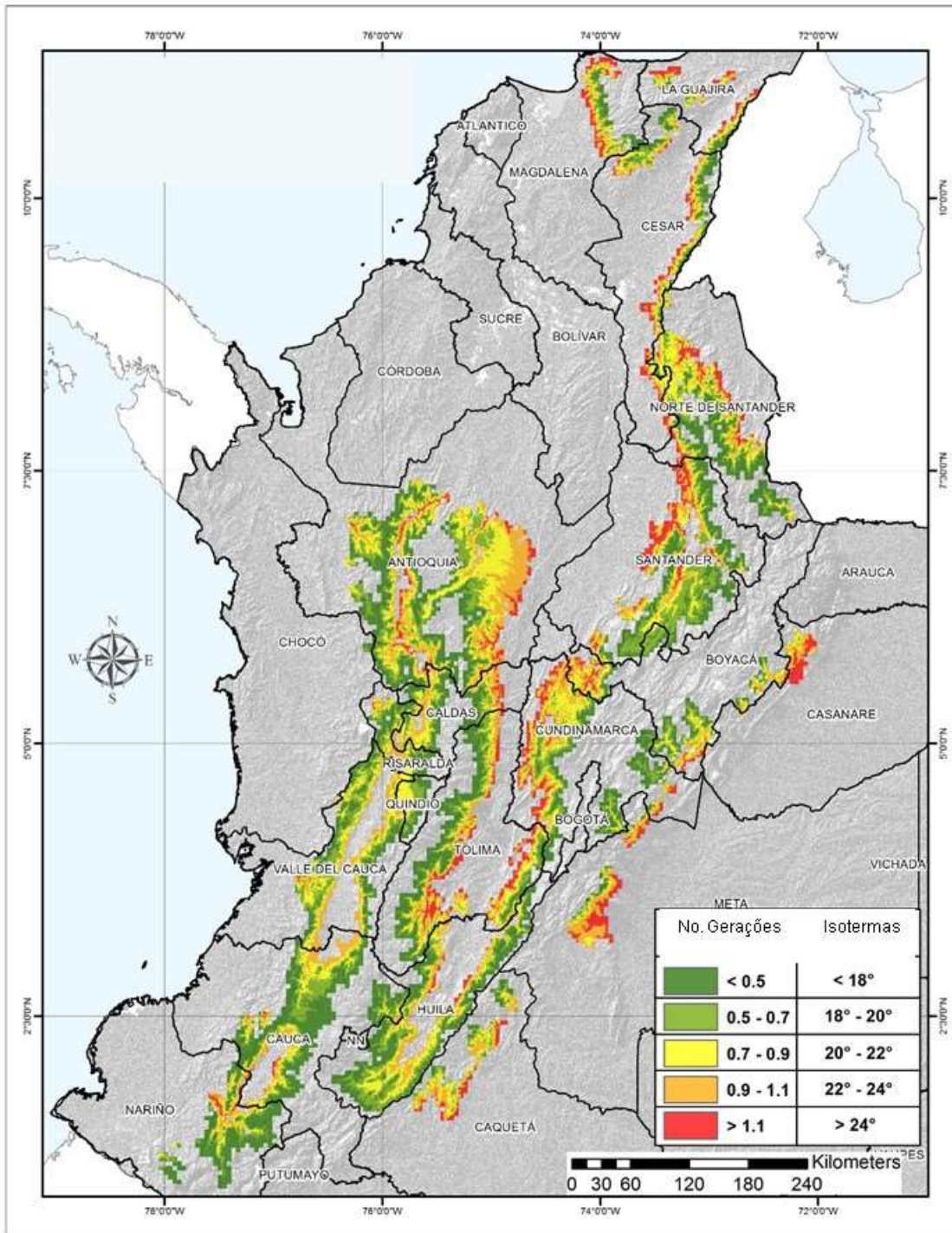


Figura 21 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de outubro nos intervalos de isotermas de <math>< 18^\circ</math>, <math>18^\circ\text{C}-20^\circ\text{C}</math>, <math>20^\circ\text{C}-22^\circ\text{C}</math>, <math>22^\circ\text{C}-24^\circ\text{C}</math>, <math>> 24^\circ\text{C}</math> na região cafeeira da Colômbia

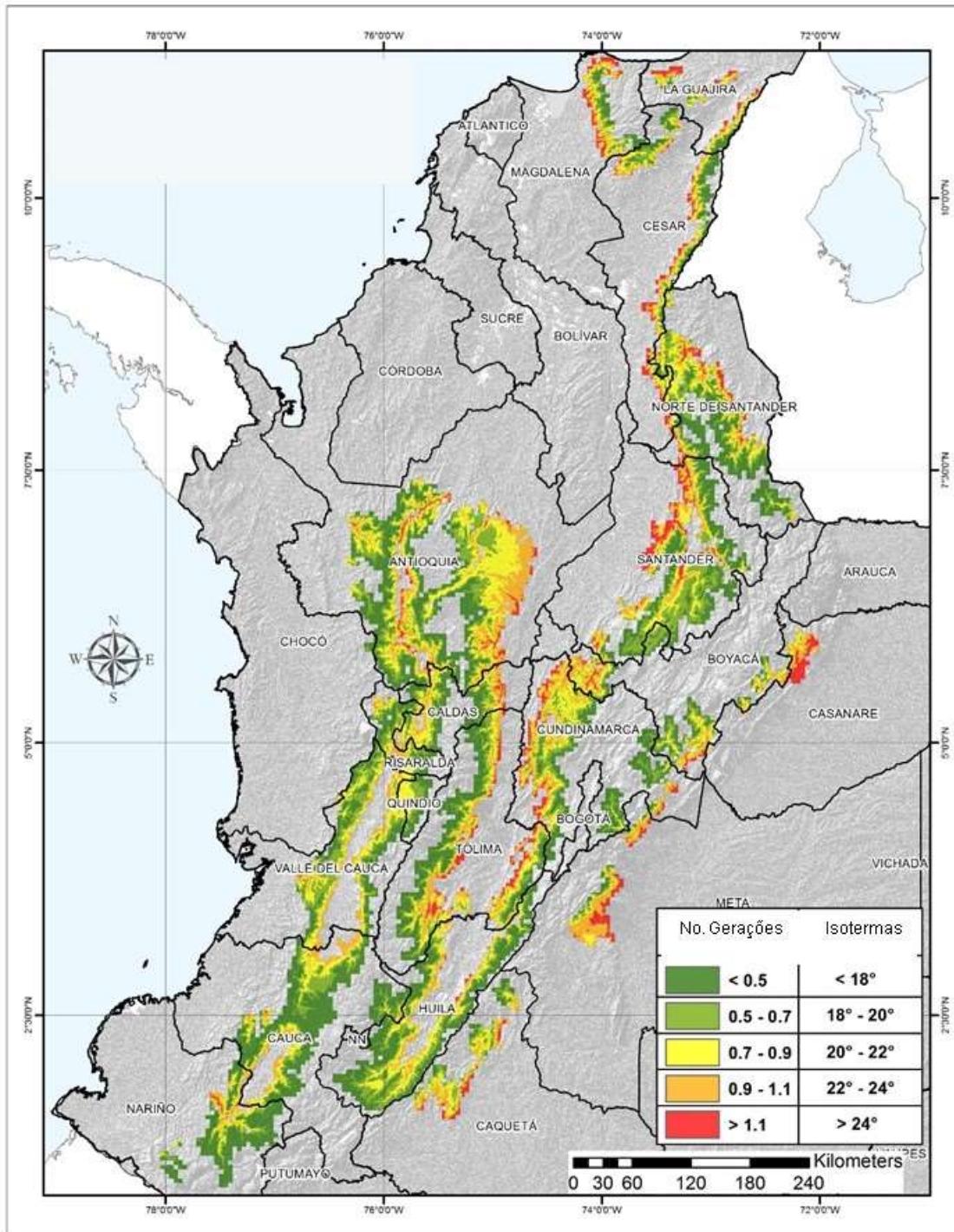


Figura 22 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de novembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

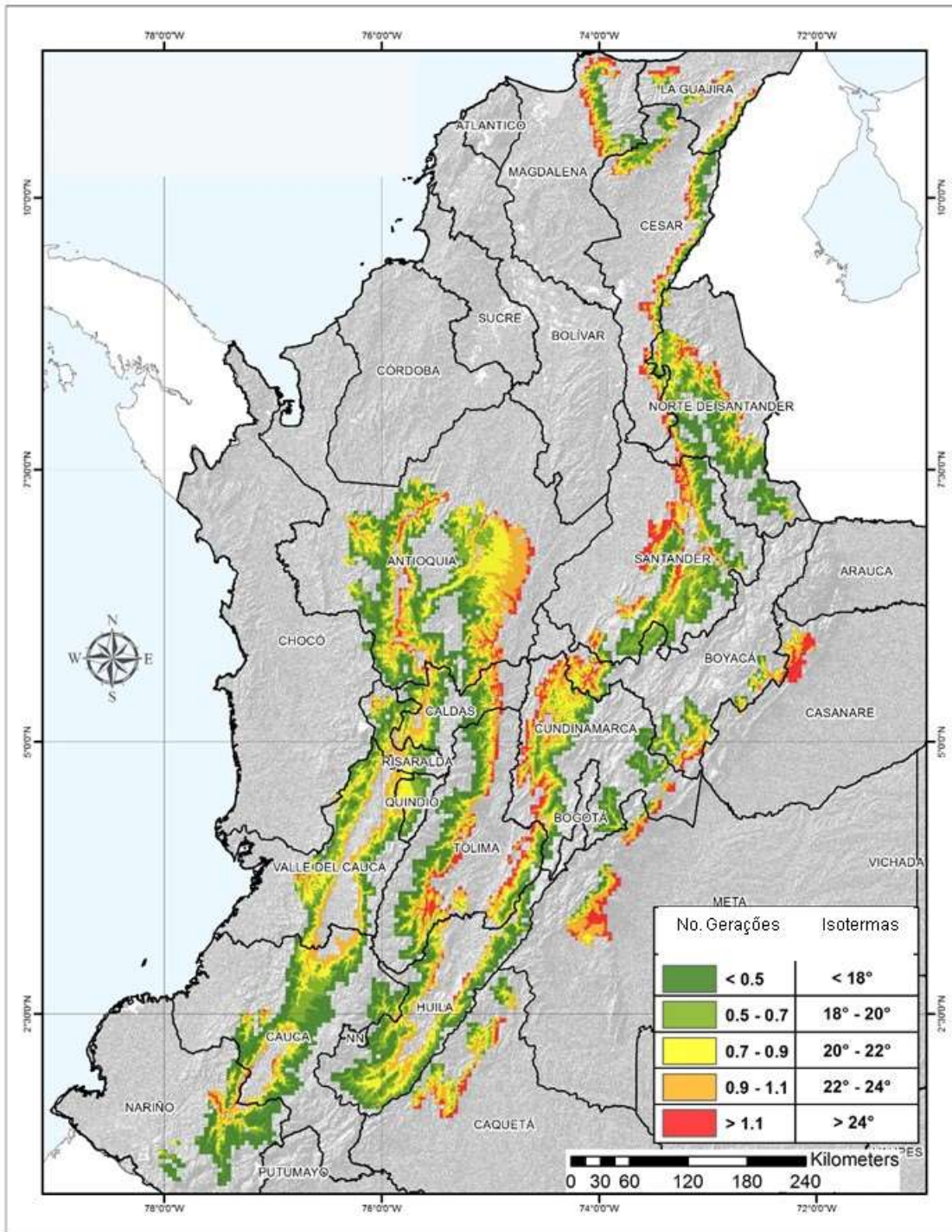


Figura 23 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de dezembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia.

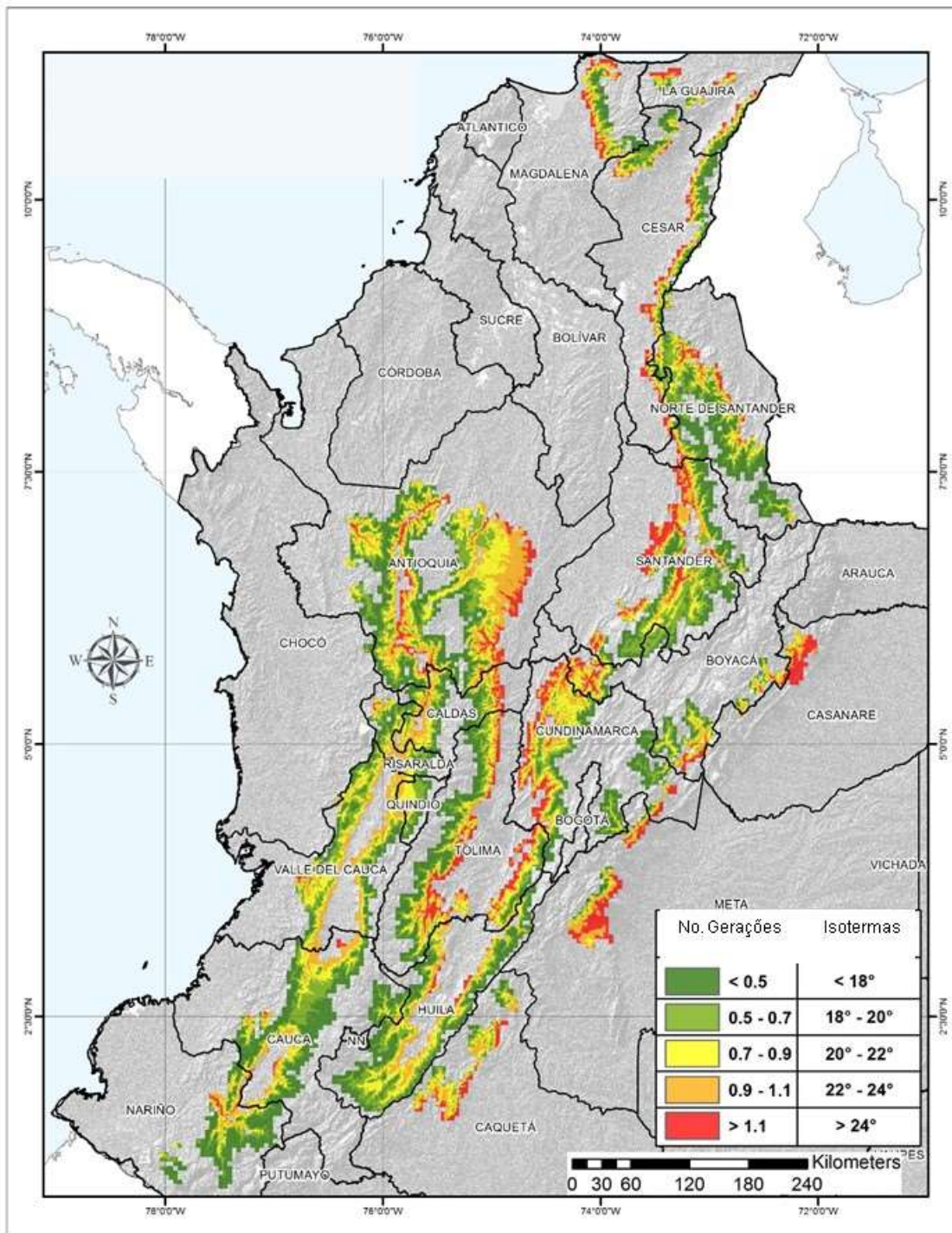


Figura 24 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de janeiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

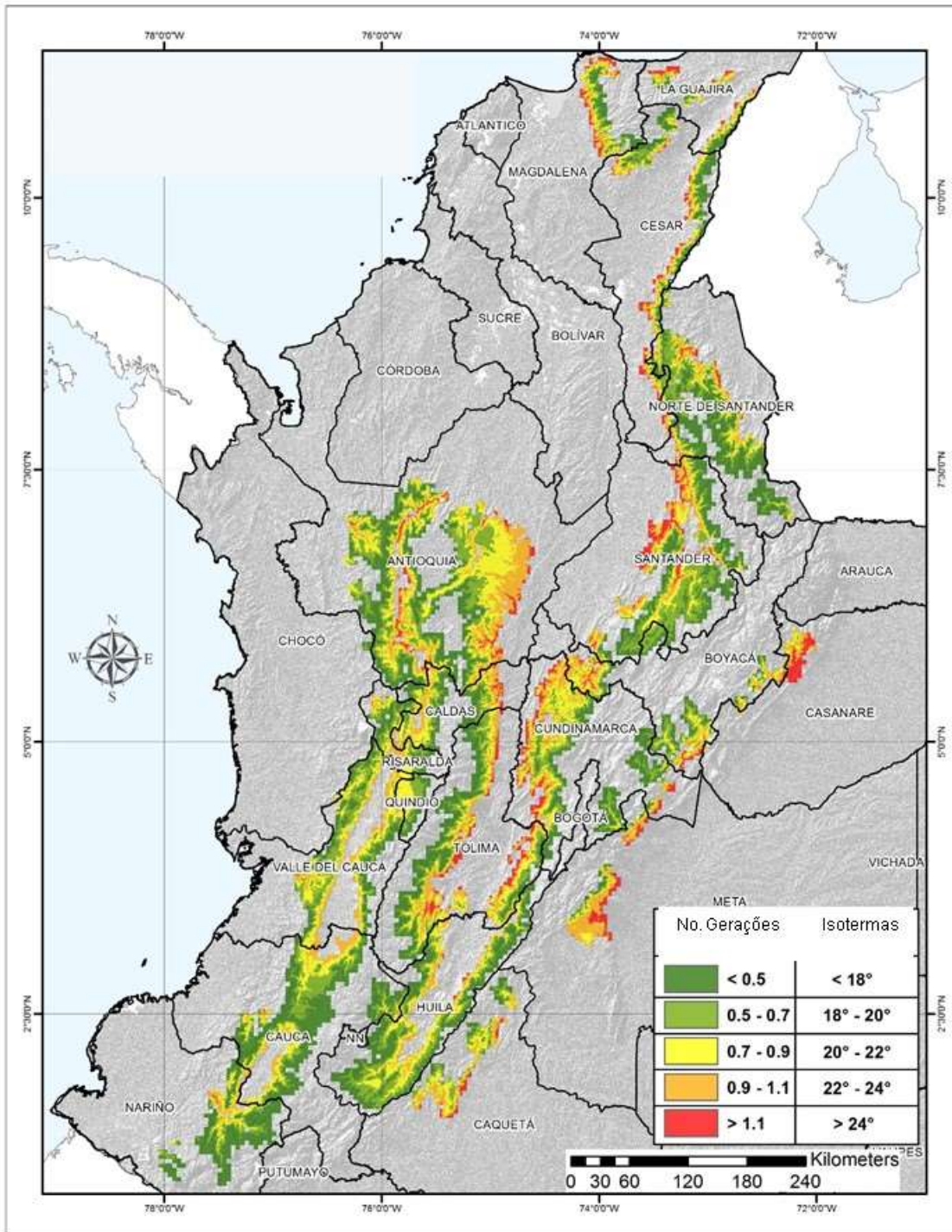


Figura 25 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de fevereiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

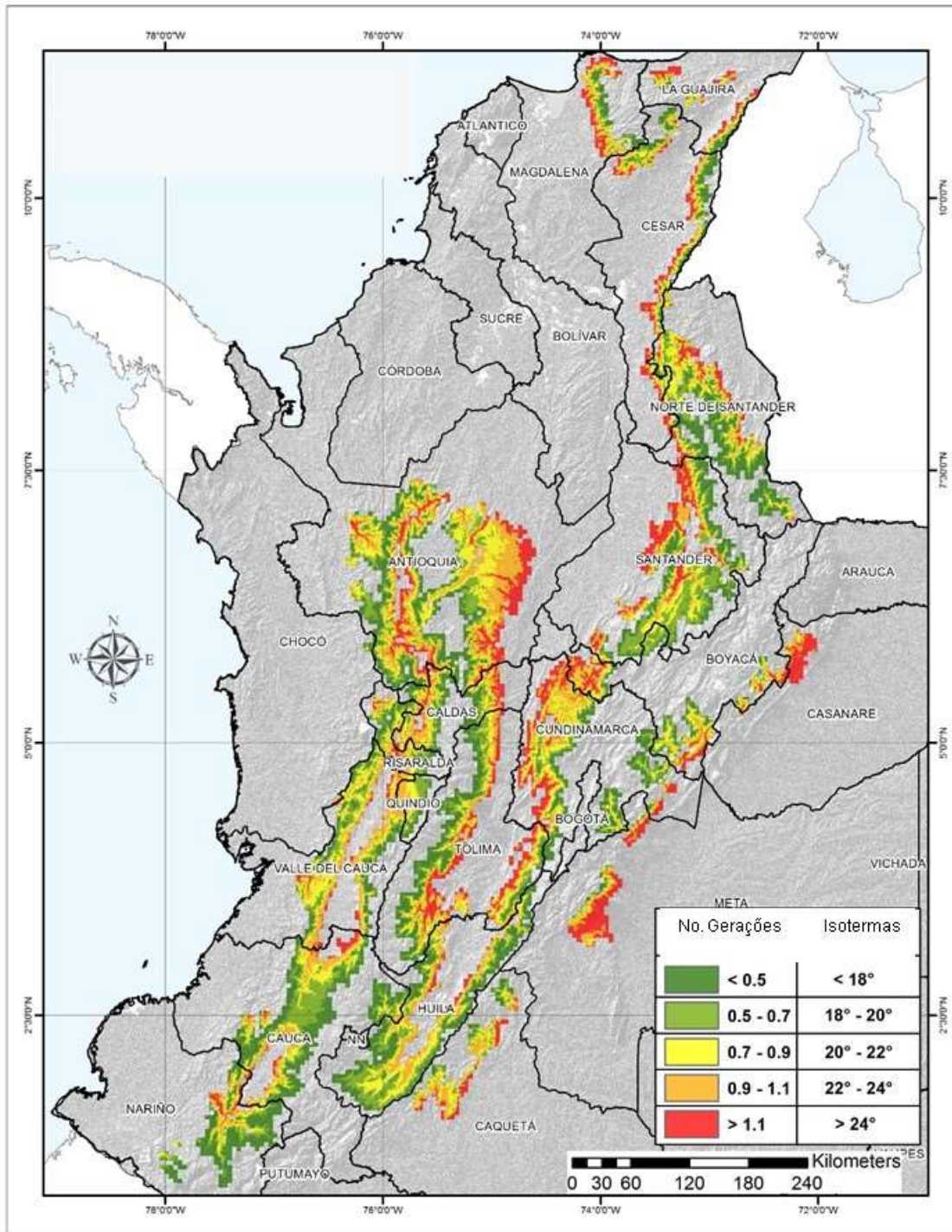


Figura 26 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de março nos intervalos de isotermas de <math>< 18^{\circ}</math>, <math>18^{\circ}</math>-<math>20^{\circ}</math>, <math>20^{\circ}</math>-<math>22^{\circ}</math>, <math>22^{\circ}</math>-<math>24^{\circ}</math>, <math>> 24^{\circ}</math> na região cafeeira da Colômbia



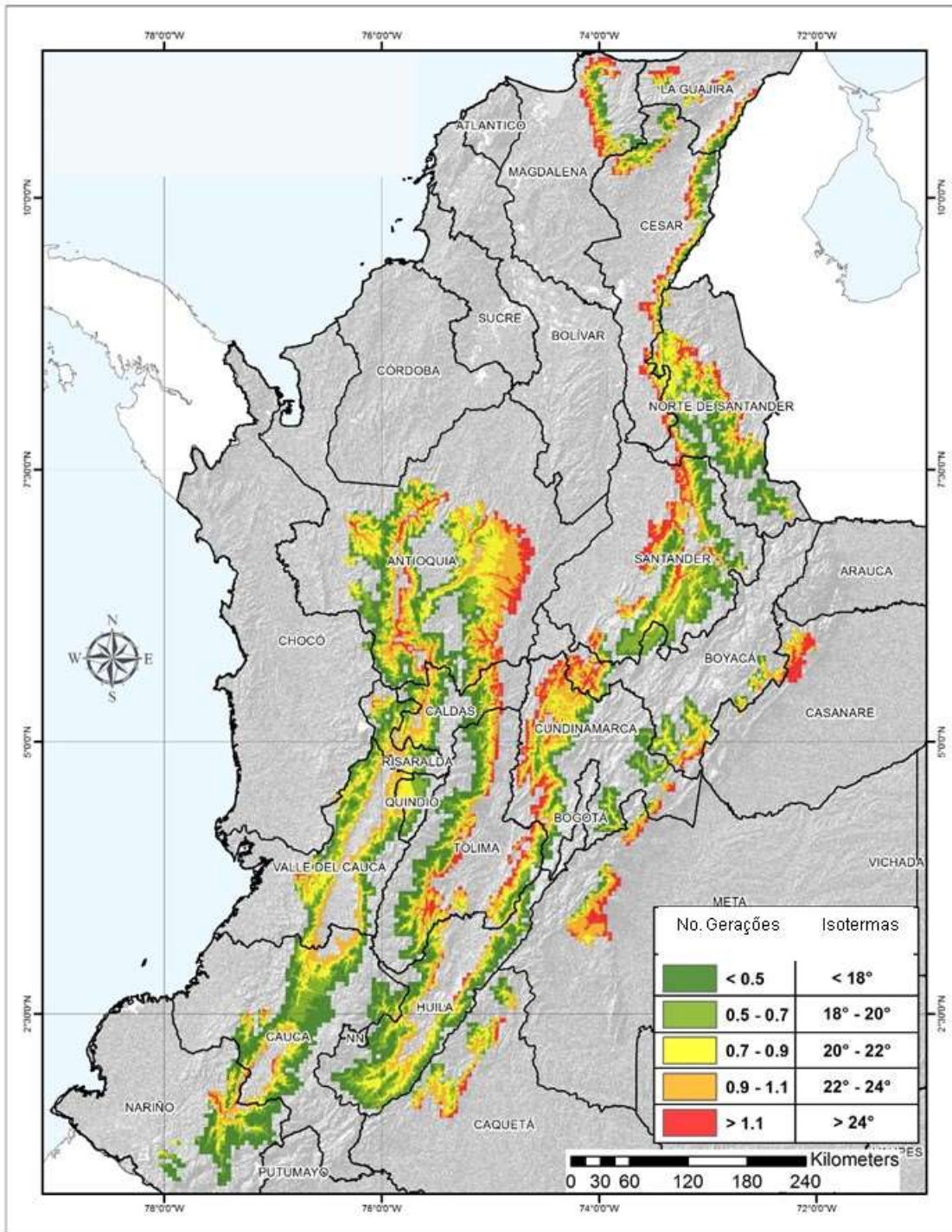


Figura 27 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de abril nos intervalos de isotermas de <math><18^{\circ}\text{C}</math>, <math>18^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}</math>, <math>20^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C}</math>, <math>22^{\circ}\text{C}-24^{\circ}\text{C}</math>, <math>>24^{\circ}\text{C}</math> na região cafeeira da Colômbia

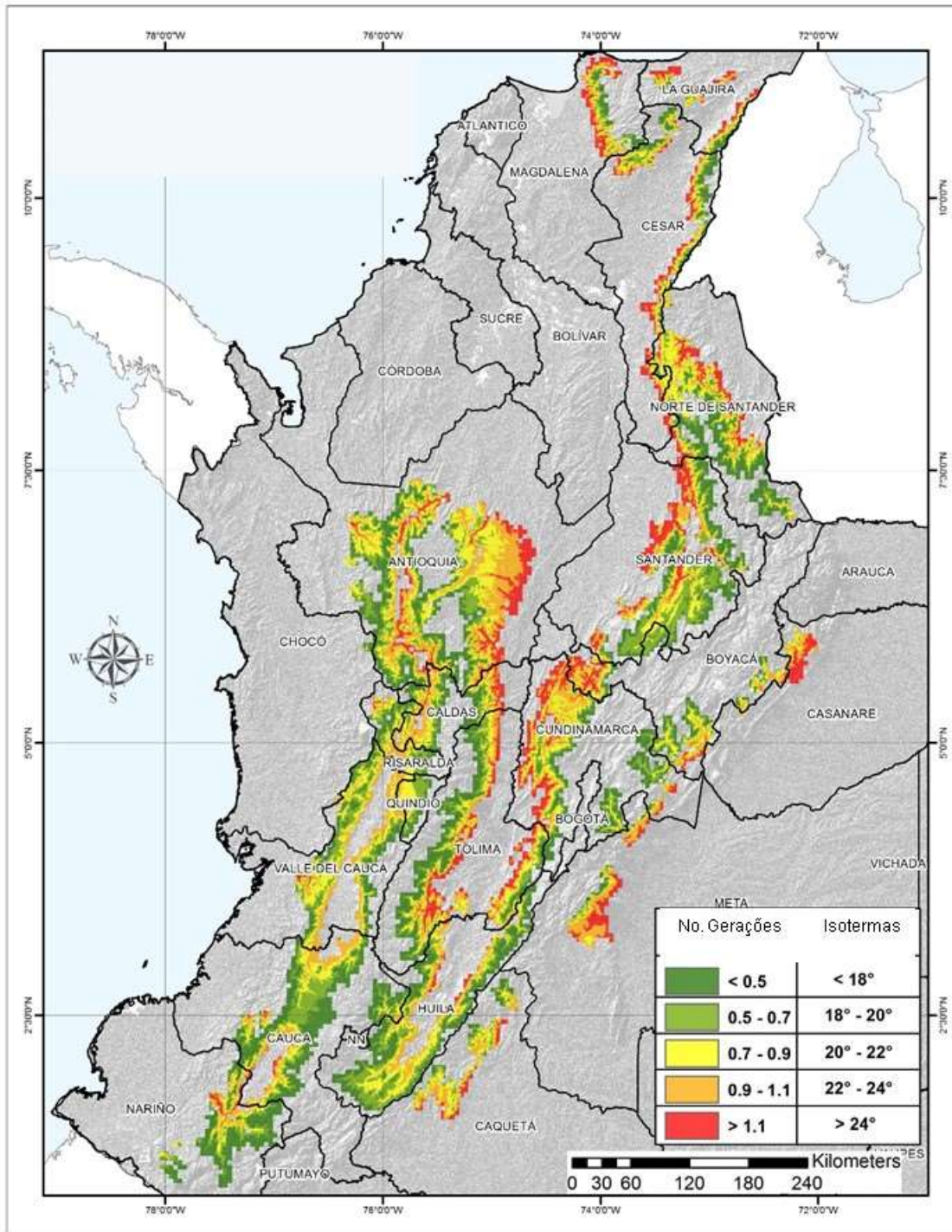


Figura 28 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de maio nos intervalos de isotermas de <math>< 18^{\circ}</math>, <math>18^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}</math>, <math>20^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C}</math>, <math>22^{\circ}\text{C}-24^{\circ}\text{C}</math>, <math>> 24^{\circ}\text{C}</math> na região cafeeira da Colômbia

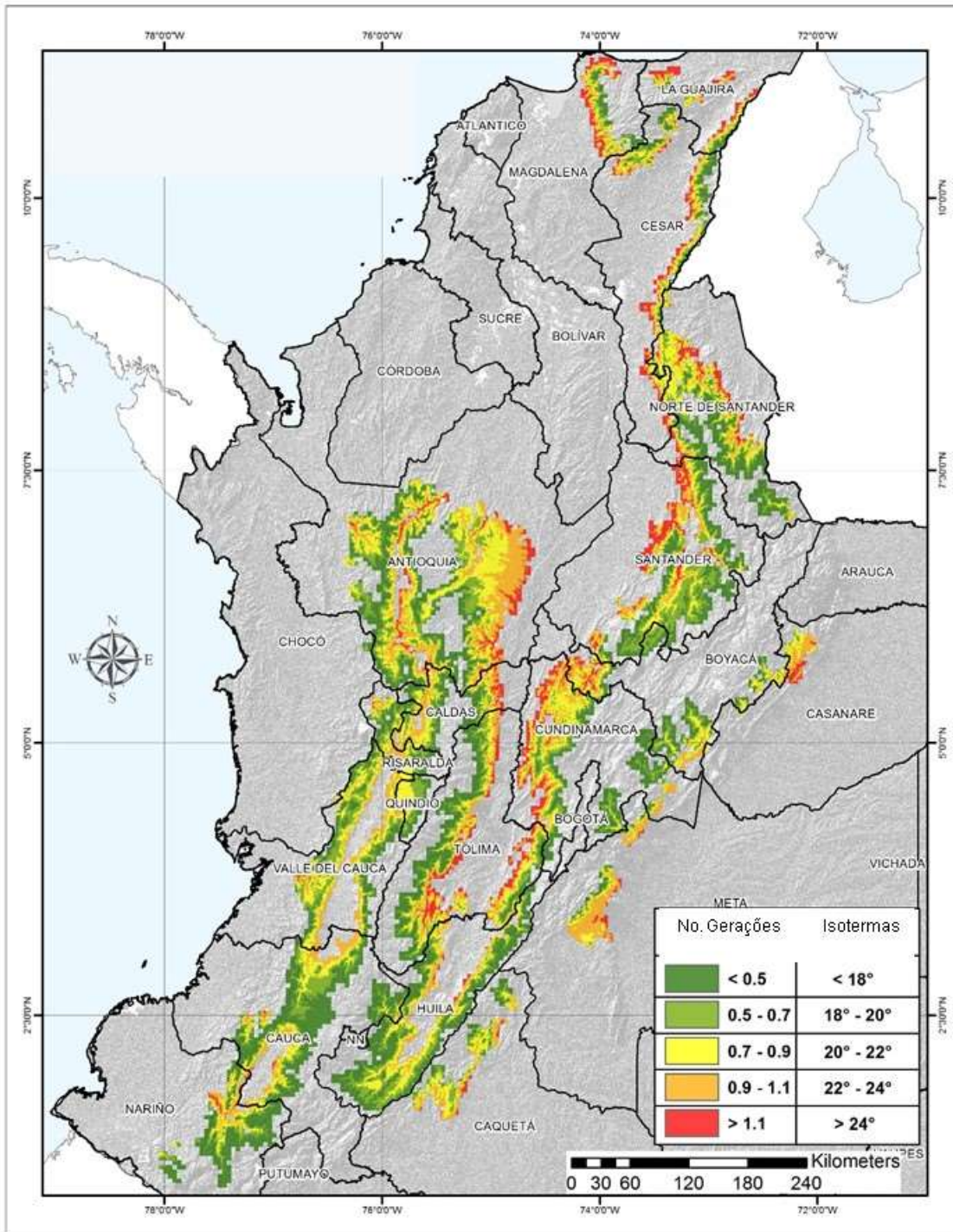


Figura 29 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de junho nos intervalos de isotermas de <math>< 18^{\circ}\text{C}</math>, <math>18^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}</math>, <math>20^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C}</math>, <math>22^{\circ}\text{C}-24^{\circ}\text{C}</math>, <math>> 24^{\circ}\text{C}</math> na região cafeeira da Colômbia

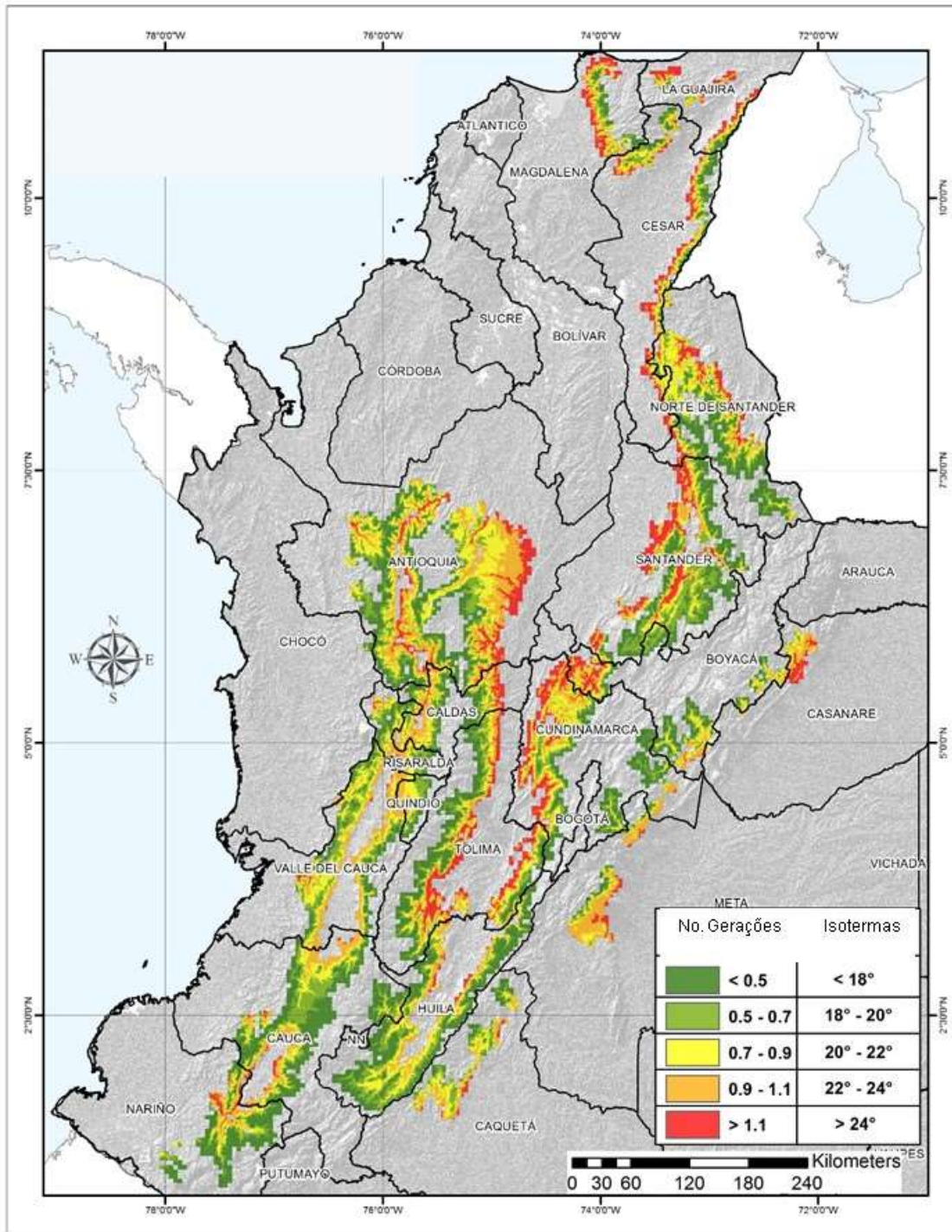


Figura 30 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de julho nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

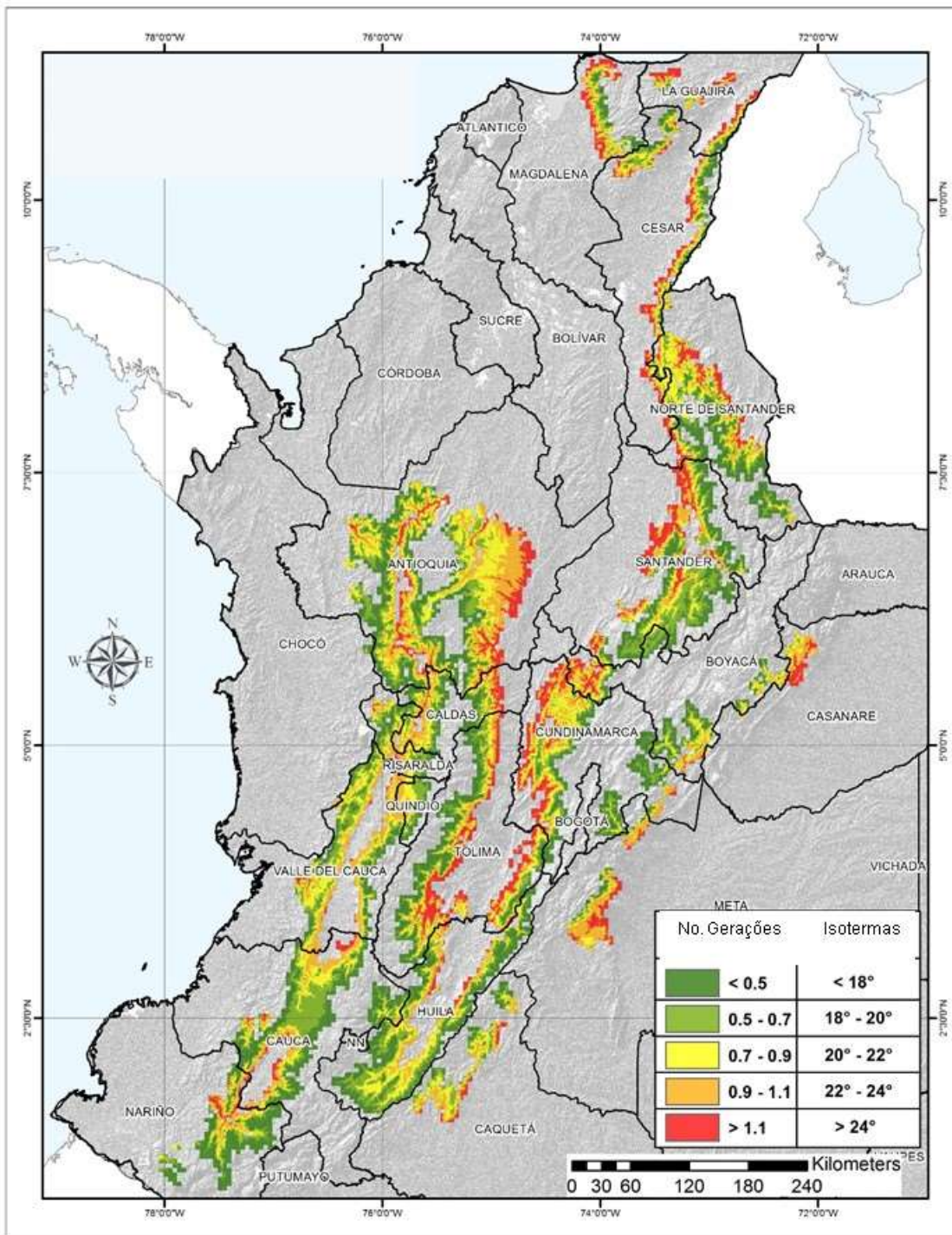


Figura 31 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* no mês de agosto nos intervalos de isotermas de <math> < 18^{\circ}</math>, <math> 18^{\circ}</math>-<math> 20^{\circ}</math>, <math> 20^{\circ}</math>-<math> 22^{\circ}</math>, <math> 22^{\circ}</math>-<math> 24^{\circ}</math>, <math> > 24^{\circ}</math> na região cafeeira da Colômbia

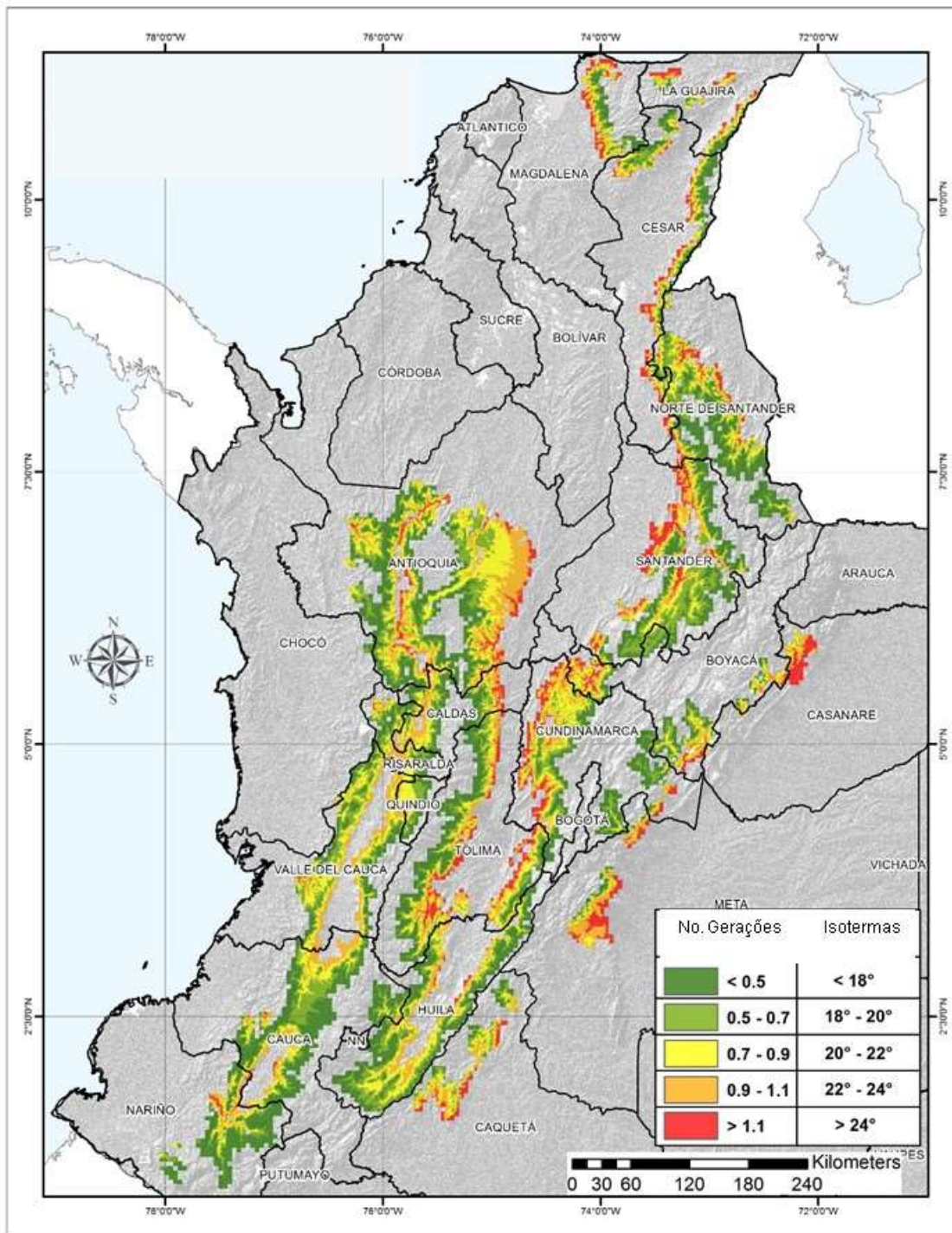


Figura 32 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Hypothenemus hampei* anual nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C na região cafeeira da Colômbia

A Colômbia é altamente impactada pelo ONI (Índice oceânico El Niño), que pode apresentar diferentes valores gerando diferentes eventos climáticos; o primeiro evento climático é conhecido como El Niño, que para esta região cafeeira pode registrar, em média 20% de redução na precipitação pluvial anual (INSTITUTO DE

HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM, 2005; POVEDA; JARAMILLO; MANTILLA, 2000; POVEDA et al., 2001) e incrementos na temperatura, o segundo, é o evento La Niña, que apresenta excessos de precipitação pluvial (incrementos entre 20 a 40% com relação à média histórica) (IDEAM, 2005), diminuição no brilho solar até entre 4,2 a 16,3% (RAMIREZ; JARAMILLO, 2012) e diminuição na temperatura, no evento La Niña; em média a variação da temperatura pode ser de  $\pm 1,21^{\circ}\text{C}$  com relação à temperatura média histórica do evento El Niño; por exemplo, em lavouras, numa altitude de 1.200 m, durante o evento El Niño a temperatura média seria de  $22,63^{\circ}\text{C}$  e para o evento La Niña, a temperatura seria de  $21,42^{\circ}\text{C}$  (JARAMILLO; RAMIREZ, 2013); o terceiro evento seria a fase neutra.

Com essa informação se determinou que durante as épocas com evento El Niño, as áreas de café com temperaturas medias superiores a  $20^{\circ}\text{C}$ , que representam 55% do total da área plantada, podem ter um valor igual ou superior a 8,19 gerações/ano deste inseto; já em condições de evento La Niña esta porcentagem da área a partir dessa temperatura diminui para 40% e na fase neutra este valor é de 41% (Tabela 8), mostrando que as épocas onde ocorre o evento El Niño, são as épocas com maior infestação de *H. hampei*, esta situação ficou evidenciada durante a safra 2015-2016, que apresentou o evento El Niño, a partir do segundo semestre do ano 2015 até começo de março de 2016 (CENICAFE, 2016), e neste caso favorecendo altos níveis de infestação em campo pelo inseto, gerando grandes perdas na qualidade do grão (FNC, 2016b).

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, se pode determinar que a cafeicultura colombiana, apresenta condições favoráveis sob o ponto de vista térmico para o desenvolvimento de *H. hampei*; além disso, a fenologia da planta favorece a presença deste inseto durante o ano todo, por isso, a broca é considerada a praga mais importante neste país, sendo que as atividades de controle não devem ser negligenciadas em nenhum dos meses do ano.

Tabela 8 - Distribuição em porcentagem da área plantada de *Coffea arabica* e número de gerações a anual de *Hypothenemus hampei* na Colômbia em função da temperatura média anual sob condições dos eventos ONI. Fonte: Cenicafé, 2016

| Temperatura<br>média anual °C | Número de gerações anual<br>de <i>H. hampei</i> | % área de Café |         |         |
|-------------------------------|---|----------------|---------|---------|
|                               |   | Evento ONI     |         |         |
|                               |   | Fase neutra    | El Niño | La Niña |
| <18                           | <5,85   | 37             | 26      | 39      |
| 18-20                         | 5,85-8,19                                       | 22             | 19      | 21      |
| 20-22                         | 8,19 – 10,53                                    | 21             | 33      | 29      |
| 22-24                         | 10,53 – 13,55                                   | 15             | 19      | 10      |
| >24                           | ≥13,55  | 5              | 3       | 1       |

Situação diferente foi encontrada com base nos resultados obtidos para o estado de São Paulo, onde só se tem uma colheita por ano e as condições térmicas em alguns meses do ano são desfavoráveis (junho, julho e agosto), fazendo com que exista uma diminuição no número de gerações desta praga; somando-se o "repasso" feito por alguns produtores que ajuda a diminuir a presença de frutos remanescentes no campo e que poderiam ser reservatórios deste inseto para a safra seguinte. Como resultado, no estado de São Paulo tem-se uma menor população da praga em relação à Colômbia.

### 3.4 Conclusões

1. O tempo de desenvolvimento para o período ovo-adulto de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) é inversamente relacionado com temperatura na faixa de 18 a 32°C;
2. O limite térmico inferior de desenvolvimento (Tb) de *H. hampei* é de 13°C e a constante térmica (K) é de 312 GD;
3. Com base no sistema de informações geográficas (SIG), para o estado de São Paulo, podem ocorrer de 4,56 a 9,25 gerações/ano de *H. hampei*.
4. Com base no sistema de informações geográficas (SIG), para a região produtora de café na Colômbia, podem ocorrer de 5,85 a 13,51 gerações/ano de *H. hampei*.
5. Nas diferentes regiões cafeeiras do estado de São Paulo, e levando-se em consideração as exigências térmicas de *H. hampei*, a maior incidência da praga, ocorre naquelas regiões e épocas do ano com temperaturas mais



elevadas e os aumentos populacionais devem coincidir com a disponibilidade de frutos de café aptos a serem infestados.

6. Para a região cafeeira da Colômbia, levando-se em consideração as exigências térmicas de *H. hampei*, a praga, ocorre o ano todo em 93% da área plantada, já que as condições de temperatura e a disponibilidade de frutos de café aptos para serem infestados é constante.

## Referências

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, G. de; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; PARRA, J.R.P.; SILVEIRA NETO, S. Temperatura do colmo de cana-de-açúcar e sua relação com as condições meteorológicas na região de Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 49-56, 1996.

ARCILA-PULGARIN, J.; JARAMILLO, A.; BALDION-RINCON, V.; BUSTILLO, A. E. **La floración del cafeto y su relación con el control de la broca**. Chinchiná: FNC - Cenicafé, 1993. 4 p. (Boletín Técnico, 193).

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**, St. Joseph, v. 74, p. 430-445, 1959.

BARDIN CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M.B.P.; MORAES, J.F.L. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 594-599. 2012.

BERGANT, K.; TRDAN, S. How reliable are thermal constants for insect development when estimated from laboratory experiments? **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 120, n. 3, p. 251-256, 2006.

BERNAL, J.; GONZÁLES, 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.

BRAMAN, S.K.; PENDLEY, A.F.; SPARKS, B.; HUDSON, W.G. Thermal requirements for development population trends, and parasitism of azalea lace bug (Heteroptera: Tingidae). **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 85, p. 870-877, 1992.

BRIÈRE, J.F.; PRACROS, P.; LE ROUX, A.Y.; PIERRE, J.S. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 28, n. 1, p. 22-29, 1999.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. **Model selection and multi model inference: a practical information: theoretic approach**. New York: Springer, 2002. 488 p.

BUSTILLO, A.E. **El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia**. Chinchiná: FNC - Cenicafé, 2002. 40 p. (Boletín Técnico, 24).

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P.; PALLONE FILHO, W.J. **Modelo climático-fenológico para determinação das necessidades de irrigação de café arábica na região norte de São Paulo e no triângulo mineiro**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 26 p. (IAC. Boletim Técnico, 190).

CASTAÑO, A.S.; BENAVIDES, P.M.; BAKER, P.S. Dispersión de *Hypothenemus hampei* em cafetales zoqueados. **Revista CENICAFE**, Chinchina, v. 56, n. 2, p. 142-150, 2005.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROCLIMATICAS. **Zoneamento macro-aptidão ecológica da cultura do café**. 2015. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.br>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. **Plataforma agro-climática**. Disponível em: <<http://www.cenicafe.org>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015: quarto levantamento**. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

COSTA, T.; VILLACORTA, A. Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, n. 18, p. 91-99, 1989. Suplemento.

COSTE, R. **Caféiers et cafés: techniques agricoles et production tropicales**. Paris: Maison Neuve et Larose, 1989. 373 p.

CURE, J.R.; SANTOS, R.H.S.; MORAES, J.C.; VILELA, E.F.; GUTIERREZ, A.P. Fenologia e dinâmica populacional da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) relacionadas às fases de desenvolvimento do fruto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 325-335, 1998.

DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 90, n. 6, p. 453-465, 2000.

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

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. **Estadísticas históricas**. 2016a. Disponível em: <<http://www.federaciondecafeteros.org>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **La broca a enemiga de la rentabilidad del negocio cafeteiro**. 2016b.

Disponível em:

<[http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sala\\_de\\_prensa/detalle/a\\_broca\\_enemiga\\_de\\_la\\_rentabilidad\\_del\\_negocio\\_cafetero2/](http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sala_de_prensa/detalle/a_broca_enemiga_de_la_rentabilidad_del_negocio_cafetero2/)>. Acesso em: 27 de abr. 2016.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 920 p.

GARCIA, J.C.; POSADA-SUAREZ, H.; LÄDERACH, P. Recommendations for the regionalizing of coffee cultivation in Colombia: a methodological proposal based on agro-climatic indices. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, n. 12, e113510, 2014.

GOMEZ, G.L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. **Revista CENICAFE**, Chinchina, v. 28, n. 1, p. 3-17, 1977.

GOMEZ-TORRES, M.L.; NAVA, D.E.; PARRA, J.R.P. Thermal hygrometric requirements for the rearing and release of *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera, Eulophidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 58, n. 3, p. 291-295, 2014.

GHINI, R.; HAMADA, E.; JUNIO PEDRO, M.J.; MARENGO, J.A.; RIBEIRO, R. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 187-194, 2008.

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

HADDAD, M.L.; PARRA, J.R.P.; MORAES, R.C.B. **Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. 29 p.

HAMADA, E.; MORANDI, M.A.B.; TAMBASCO, F.J.; PEREIRA, D.A.; EVANGELISTA, S. **Estimativa de áreas favoráveis a ocorrência da *Diaphorina citri* (vetor do greening asiático) no estado de São Paulo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. Disponível em: <<http://www.cenargen.embrapa.br/publica/trabalhos/cot058.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

IKEMOTO, T.; TAKAI, K. A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. **Environmental Entomology**, College Park, v. 29, p. 671-682, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Centro de referência em nomes geográficos**. Disponível em:

<<http://www.ngb.ibge.gov.br/?pagina=meso>>. Acesso em: 17 maio 2016.

INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY. **IRI**

**ENSO forecast**. Disponível em: <<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

INWARD, D.J.G.; WAINHOUSE, D.; PEACE, A. The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hylobius abietis* and the potential impacts of climate change. **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 14, p. 348-357. 2012.

JARAMILLO, A. **Clima andino y café en Colombia**. Chinchina: Cenicafe. 2005. 192 p.

JARAMILLO, A.; GUZMAN, O. Relación entre la temperatura y el crecimiento de *Coffea arabica* L. var. Caturra. **Revista Cenicafe**: Chinchina, v. 35, n. 3, p. 57-65, 1984.

JARAMILLO, A.; RAMIREZ, V.H. Gestión del riesgo agroclimático, fuentes de amenaza climática para el café en Colombia. In: GAST, F.; BENAVIDES, P.; SANZ, J.R.; HERRERA, J.C.; CRISTANCHO, M.A.; MARIN, S.M. (Ed.). **Manual cafetera colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. Chinchiná: Legis, 2013. t. 1, p. 73-90.

JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; BAKER, P. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) searching for sustainable control strategies. **Bulletin Entomological Research**, Cambridge, v. 96, p. 223-233. 2006.

JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, A.; KAMONJO, C.; JARAMILLO, A.; VEGA, G. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. **PLoS One**, San Francisco, v. 4, n. 8, e6487, 2009.

JARAMILLO, J.; MUCHUGU, E.; VEGA, F.E.; DAVIS, A.; BORGEMEISTER, C.; CHABI-OLAYE, A. Some like it hot: the influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. **PLoS One**, San Francisco, v. 6, n. 9, p. e24528, 2011.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. **Atlas climatológico de Colombia**. Bogotá, 2005. 218 p.

LACTIN, D.; HOLLIDAY, N.J.; JOHNSON, D.L.; CRAIGEN, R. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 24, n. 1, p. 68-75, 1995.

LOGAN, J.A.; WOLLKIND, D.J.; HOYT, S.C.; TANIGOSHI, L.K. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 5, n.6, p. 1133-1140, 1976.

- MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Coffee. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 249-278.
- MILANEZ, J.M.; PARRA, J.R.P. Biologia e exigências térmicas de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n.1, p. 23-29, 2000.
- MIRANDA, E.. **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 mar. 2016.
- NAVA, D.E.; NASCIMENTO, A. M.; STEIN, C.P.; HADDAD, M.L.; BENTO, J.M.; PARRA, J.R. Biology, thermal requirements, and estimation of the number of generations of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) for the main fig producing regions of Brazil. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 90, n. 3, p. 495-501, 2007.
- OBRYCKI, J.J.; TAUBER, M.J. Phenology of three coccinellid species: thermal requirements for development. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 74, p. 31-36, 1981.
- PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guerin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 29, p. 45-76, 1985.
- PEREIRA, A.R.; CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônomo. 2008. 127 p.
- PEZZOPANE, J.R.M.; JUNIOR, M.J.P.; CAMARGO, M.B.P.; FAZOULI, L.C. Exigência térmica do café arábica Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, 2008.
- POSADA, F.; VEGA, F. A new method to evaluate the biocontrol potential of single spore isolates of fungal entomopathogens. **Journal of Insect Science**, Madison, v. 5, 2005.
- POVEDA, J.G.; JARAMILLO, A.; MANTILLA, R. Influencia del evento cálido del pacífico en la humedad del suelo y el índice de normalización de vegetación en Colombia. **Revista CENICAFE**, Chinchina, v. 51, n. 4, p. 263-271, 2000.
- POVEDA, J.G.; JARAMILLO, A.; GIL, M.M.; QUICENO, N.; MANTILLA, R. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture and vegetation index in Colombia. **Water Resources Research**, New York, v. 37, n. 8, p. 2169-2178, 2001.
- QUINN, G.P.; KEOUGH, M.J. **Experimental design and data analysis for biologist**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 537 p.

RAMIREZ, V.H.; JARAMILLO, A. Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera colombiana. **Revista CENICAFE**, Chinchiná, v. 63, n. 2, p. 90-97, 2012.

RAMIREZ, V.H.; JARAMILLO, A.; ARCILA, J. Factores climáticos que intervienen en la producción de café en Colombia. In: GAST, F.; BENAVIDES, P.; SANZ, J.R.; HERRERA, J.C.; CRISTANCHO, M.A.; MARIN, S.M. (Ed.). **Manual cafetera colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. Chinchiná: Legis, 2013. t. 1, p. 205-238.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

RICALDE, M.P.; NAVA, D.E.; LOECK, A.E.; DONATTI, M.G. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. **Journal of Insect Science**, Madison, v.12, p. 1-11, 2012.

RODRIGUEZ-LADO, L.; SPAROVEK, G.; VIDAL-TORRADO, P. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 460-467, 2007.

ROMO, C.M.; TYLIANAKIS, J.M. Elevated temperature and drought interact to reduce parasitoid effectiveness in suppressing hosts. **Plos One**, San Francisco, v. 8, e58136, 2013.

RUIZ-CÁRDENAS, R.; BAKER, P. Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, p. 658–668, 2010.

SALAZAR, G.; ARCILA, J.; RIAÑO, N.M.; BUSTILLO, A.E. **Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca**. Chinchiná FNC - Cenicafé, 1993. 4 p. (Avance Técnico, 194).

SANDHU, H.S.; NUSSLY, G.S.; WEBB, S.E.; CHERRY, R.H.; GILBERT, R.A. Temperature-dependent development of *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane under laboratory conditions. **Environmental Entomology**, College Park, v. 39, n. 3, p. 1012-1020, 2010.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA; CATI; IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosestado.php>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System: getting started with the SAS learning**. Cary, 2010.

VAN NIEUWENHOVE, G.A.; FRIAS, E.A.; VIRLA, E.G. Effects of temperature on the development performance and fitness of the corn leafhopper *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: Cicadellidae): implications on its distribution under climate change. **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 18, p. 1-10, 2016.

#### **4 BIOLOGIA E TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) EM TEMPERATURAS CONSTANTES.**

##### **Resumo**

*Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) é uma das principais pragas do cafeeiro no Brasil. Neste estudo, foram determinados alguns aspectos sobre a biologia, tabela de vida de fertilidade e as condições ideais para o desenvolvimento e reprodução desta praga em condições de laboratório. Nas temperaturas de 25 e 28°C, foram observados os menores tempos de desenvolvimento e maiores viabilidades de *L. coffeella*. Este inseto se desenvolveu na faixa térmica de 15 a 32°C, sendo que na temperatura de 35°C só houve desenvolvimento embrionário com uma baixa viabilidade. A 28°C foram observados os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e da razão finita de aumento ( $\lambda$ );  $R_0$  foi visivelmente maior nesta temperatura, pois, a cada geração a população de *L. coffeella* aumentou 22,23 vezes, número superior àquele obtido nas demais temperaturas.

Palavras-chave: Desenvolvimento; Taxa líquida de reprodução; Razão finita de aumento

##### **Abstract**

*Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) is a key pest for coffee crops in Brazil. This study aimed to determine some aspects of biology, fertility life table construction and the better conditions for development and reproduction of this pest in laboratory. The lowest lifetime and the highest viabilities of *L. coffeella* were observed at temperatures of 25°C and 28°C. The insect totally developed at the temperature range between 15 to 32°C, with just the embryonic development at 35°C and exhibiting the lower viability. The highest values for the net reproduction rate ( $R_0$ ) and increase finite rate ( $\lambda$ ) were observed at 28°C, with an increase of 22,23 times generation population, data superior as obtained for the rest of temperatures evaluated.

Keywords: Development; Net reproduction rate; Increase finite rate

##### **4.1 Introdução**

O Brasil é o principal produtor mundial de café com uma área plantada de 2.246.700 hectares, com uma produção estimada de 43.235.000 sacas de 60 kg (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2016; CONAB, 2015).

O setor cafeeiro mundial tem que se preparar para as mudanças que vêm ocorrendo, principalmente as variações climáticas que podem afetar a produção global de café. As pragas e doenças do cafeeiro são muito afetadas pelo clima e o



conhecimento dos efeitos climáticos é fundamental para evitar perdas e para previsão de ocorrência em diferentes regiões cafeeiras.

As principais pragas do cafeeiro, em nível mundial são a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), já discutida nos capítulos anteriores e o bicho-mineiro, do gênero *Leucoptera* (Lepidoptera: Lyonetiidae); Crowe (1964), descreveu quatro espécies deste gênero atacando o gênero *Coffea*; *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), *Leucoptera meyricki* (Ghesquière, 1940), *Leucoptera coma* (Ghesquière, 1940) e *Leucoptera cafeína* (Washbourn, 1940).

A espécie *L. coffeella*, foi introduzida na América vinda da África (GALLO et al., 2002), sendo a principal praga do cafeeiro no Brasil (SOUZA; REIS; RIGITANO., 1998; GALLO et al., 2002; PEREIRA et al., 2007), devido à sua ocorrência generalizada e aos prejuízos econômicos causados (PARRA, 1985; GALLO et al., 2002), que podem chegar a 50% (PAULINI et al., 1975; MARTINS; GUIMARÃES-MENDES; NOGUERIA-ALVARENGA, 2004), sendo que todas as variedades de *Coffea arabica* cultivadas no Brasil são suscetíveis à praga (GUERREIRO FILHO, 2006).

Outros países como Porto Rico relatam danos entre 20-40% e redução da fotossíntese e impacto negativo na produção (BORKHATARIA; COLLAZO; GROOM, 2006); no México, são referidos danos de até 12% sendo ainda considerada uma praga secundária naquele país (BARRERA et al, 2003; SEGURA et al., 2004); na Colômbia, o bicho-mineiro é considerada uma praga potencial para a cafeicultura, sendo comumente encontrado em cultivos localizados em baixas altitudes (< 1.200 m), ocorrendo em épocas secas e quando as pulverizações com inseticidas levam a desequilíbrios ecológicos, acarretando surtos da citada praga (BUSTILLO, 2008; BENAVIDES et al., 2013).

A biologia deste inseto tem sido estudada por diversos autores (PARRA, 1985; REIS; SOUZA; ZACARIAS, 2006; VEGA; POSADA; INFANTE, 2002), sendo que o desenvolvimento de ovo a adulto pode variar muito de acordo com a variedade de café, as condições de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, sendo encontrados na literatura valores que variam muito, entre 19 a 87 dias (PARRA, 1985; SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998; GALLO et al., 2002; PEREIRA et al., 2007)

As taxas de natalidade e de mortalidade em uma população de insetos são determinadas por diferentes condições como qualidade do alimento, temperatura, umidade relativa do ar e fotoperíodo (SILVEIRA-NETO; NAKANO; BARBIN, 1976). Assim, Parra, Haddad e Silveiro-Neto (1995) estudaram a tabela de vida de fertilidade de *L. coffeella* em diferentes temperaturas em condições de laboratório, encontrando que a melhor temperatura para o crescimento populacional deste inseto é a de 27°C.

O presente trabalho teve por objetivo estudar, em laboratório, em sete temperaturas constantes, aspectos da biologia e a tabela de vida de fertilidade para estabelecer as condições ideais para o desenvolvimento e reprodução de *L. coffeella*.

## **4.2 Material e Métodos**

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

### **4.2.1 Criação de manutenção de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842).**

Para início da pesquisa, os insetos de *L. coffeella* foram coletados em campo no município de Piracicaba (latitude 22°42'51,0366"S, longitude 47°37'41,556" O) no Estado de São Paulo, Brasil. Foram coletadas folhas de café Obatã com lagartas e pupas de bicho-mineiro, na área experimental do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ-USP em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Para a manutenção da criação foi adaptada a metodologia desenvolvida por Parra (1985). Após as coletas, as folhas atacadas, contendo os insetos foram levadas ao laboratório e mantidas em placas de Petri com papel filtro umedecido, para evitar o ressecamento; quando os adultos emergiam, foram separados por sexo, baseando-se nas características externas do último segmento abdominal. Vários casais foram colocados no interior de gaiolas cobertas com tecido *voile* branco, contendo folhas de café Obatã do terceiro-quarto internódios, onde ocorre a maior atividade fotossintética (NANTES; PARRA, 1977), mantidas em espuma floral umedecida com água destilada. Para a coleta dos ovos do dia, as folhas eram renovadas diariamente e os insetos mortos

substituídos. Os casais foram mantidos em câmara climatizada em condições de temperatura de  $25\pm 2$  °C, UR de  $65\pm 10\%$  e fotofase de 14 horas.

#### 4.2.2 Biologia de *L. coffeella* em diferentes temperaturas

Os parâmetros biológicos de *L. coffeella* foram avaliados nas temperaturas de 18, 22, 25, 28, 30, 32 e  $35\pm 1$  °C, mantidas em câmaras climatizadas em condições de UR de  $70\pm 10\%$  e fotofase de 14 horas. Para atingir este objetivo, as folhas contendo os ovos, obtidos nas gaiolas (item 4.2.1), eram transferidas para placas de Petri de vidro numeradas, e mantidas em câmaras climatizadas reguladas nas temperaturas mencionadas.

Para acompanhamento diário até a fase adulta, para cada temperatura, foram avaliadas seis repetições, sendo que cada repetição, foi constituída por uma parcela de 50 indivíduos; diariamente, foram feitas avaliações para se determinar: duração de desenvolvimento de ovo até adulto e sua viabilidade e número de machos e fêmeas. Na fase adulta foi determinada a razão sexual ( $rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$ ), período de pré-oviposição; período de oviposição; número de ovos/fêmea/dia; número total de ovos/fêmea; longevidade de machos e fêmeas, também com observações diárias.

A normalidade e homocedasticidade dos dados de duração, viabilidade das fases de ovo, lagarta, pré-pupa e pupa, número de machos e fêmeas e a razão sexual de *L. coffeella*, foram verificadas pelos testes de Bartlett ( $P < 0,05$ ) e Shapiro-Wilk ( $P < 0,05$ ).

Os parâmetros biológicos duração e viabilidade foram comparados pelo modelo linear generalizado GLM (família Poisson); sendo feitas comparações múltiplas por contraste com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) no programa SAS, Statistical Analyses System (2010). Os dados de razão sexual foram analisados pelo modelo GLM (família Poisson), e em seguida foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste  $X^2$  ( $P \leq 0,05$ ), no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

#### 4.2.3 Tabela de vida de fertilidade de *L. coffeella* em diferentes temperaturas

Foram avaliadas a fecundidade e longevidade de *L. coffeella* nas temperaturas de 18, 22, 25, 28, 30 e 32 ±1 °C.

Para a instalação do experimento, foram observados de 20 a 25 casais em cada uma das temperaturas antes mencionadas e os casais procediam dos adultos obtidos no item 4.2.2. Não foi instalada a temperatura de 35°C, por que não houve desenvolvimento do período lagarta-adulto.

De acordo com a metodologia empregada por Parra (1995), os casais separados, foram mantidos em gaiolas com formato de cone (altura: 13,5 cm), que continham uma folha de cafeeiro Obatã em seu interior e vedadas com tecido *voile*. Os adultos foram alimentados com solução de sacarose a 10% (NANTES; PARRA, 1978), colocada em algodão sobre o tecido *voile* branco. Diariamente, foram avaliadas e trocadas as folhas, sendo contabilizado o número de fêmeas e machos vivos, mortos e o número de ovos. As folhas foram analisadas em microscópio-estereoscópico (10X) para a contagem dos ovos. As avaliações foram concluídas quando tinham morrido todos os adultos em cada uma das temperaturas estudadas.

Para a confecção das tabelas de vida de fertilidade, calculou-se o número médio de ovos por fêmea ( $m_x$ ) em cada data de oviposição ( $x$ ) considerando-se o total de fêmeas, o índice de sobrevivência acumulado de fêmeas ( $l_x$ ) e o número de descendentes que atingiram a idade  $x$  na idade seguinte ( $l_x \times m_x$ ). Os dados de sobrevivência e fecundidade foram sistematizados em uma tabela de vida de fertilidade seguindo o modelo proposto por Maia, Luiz e Campanhola (2000). Assim, estimou-se o intervalo entre gerações ( $T$ ), taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ). Para estimar os parâmetros da tabela de vida foram utilizados os seguintes algoritmos: taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) form. (1); razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ), form. (2); intervalo entre gerações ( $T$ ), form. (3); e razão finita de aumento ( $\lambda$ ), form. (4).

$$R_0 = \sum l_x \cdot m_x \quad (1)$$

$$r_m = \ln \frac{R_0}{T} \quad (2)$$

$$T = \text{Ln} \frac{R_0}{r_m} \quad (3)$$

$$\Lambda = e^{-r_m} \quad (4)$$

Os parâmetros de tabela de vida de fertilidade foram comparados pela análise de Bootstrap segundo Meyer, Igersoll e MacDonald (1986) no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### 4.3 Resultados e Discussão

#### 4.3.1 Biologia de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) em diferentes temperaturas

A faixa ótima de desenvolvimento biológico de *L. coffeella* situou-se entre 18 e 32°C; a partir dessa temperatura somente a fase de ovo deu origem a lagartas a 35°C. O tempo de desenvolvimento decresceu significativamente com o incremento térmico na faixa de 18 a 32°C, sendo que o desenvolvimento dos diferentes estágios foi altamente influenciado pela temperatura, com diferenças significativas para a maioria das temperaturas avaliadas pelo teste de Tukey (P<0.05).

##### 4.3.1.1 Fase de ovo

Na fase de ovo foi registrada eclosão na faixa de 18 a 35°C, com diferenças significativas entre as temperaturas para a duração do desenvolvimento embrionário, o qual foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura na faixa de 18 a 32°C (Tabela 1). Portanto, o estágio de ovo de *P. coffeella* suporta altas temperaturas, Parra (1985), também observou desenvolvimento embrionário nessa temperatura de 35°C.

Embora a porcentagem de eclosão tenha sido decrescente com o incremento térmico, a viabilidade foi menor nas temperaturas superiores a partir de 30°C (Tabela 1), observando-se diferenças estatísticas entre as temperaturas, fato também observado por Parra (1985) e Notley (1956). Magalhães et al. (2012),

encontraram diferenças na viabilidade desta fase, devidas a outros fatores, além das temperaturas, como os genótipos de *Coffea arabica* onde os ovos foram colocados.

Tabela 1 - Duração média e viabilidade ( $\pm$ EP) da fase de ovo de *Leucoptera coffeella* em sete temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70 $\pm$ 10% e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | N   | Duração (dias)    | Viabilidade %   |
|----------------|-----|-------------------|-----------------|
| 18             | 300 | 10,3 $\pm$ 0,2 a  | 91 $\pm$ 1,6 a  |
| 22             | 300 | 5,7 $\pm$ 0,0,1 a | 93 $\pm$ 3,9 ab |
| 25             | 300 | 3,4 $\pm$ 0,16b   | 97 $\pm$ 2,7 b  |
| 28             | 300 | 4,00 $\pm$ 0,1b   | 94 $\pm$ 1,8 ab |
| 30             | 300 | 2,3 $\pm$ 0,1b    | 88 $\pm$ 2,3 b  |
| 32             | 300 | 3,9 $\pm$ 0,3b    | 86 $\pm$ 3,4 b  |
| 35             | 300 | 3,1 $\pm$ 0,4b    | 35 $\pm$ 8,9 c  |
| F              |     | 168,11            | 82,66           |
| gl             |     | 6, 33             | 6, 33           |
| P              |     | <0,001            | <0,001          |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05\*) O número de repetições é dado pelo valor de n

Em termos gerais, as viabilidades obtidas nesta fase nas diferentes temperaturas foram superiores às encontradas por Parra (1985) e por Nantes e Parra (1977) em condições de campo.

#### 4.3.1.2 Fase larval

Para a fase larval, a faixa térmica favorável situou-se também entre 18 e 32°C; nas temperaturas de 18°C a 25°C. Observaram-se as maiores diferenças, em média uma diminuição de 1,71 dias de duração a cada 1°C de incremento de temperatura. Comportamento diferente foi encontrado nas temperaturas a partir de 25°C, onde este valor em média foi de 0,5 dias para cada 1°C, o qual pode ser um indicador de estabilização, como foi referido por Parra (1985) (Tabela 2).

Os dados médios de duração obtidos na presente pesquisa foram maiores do que os relatados por Parra (1985) nas temperaturas possíveis de serem comparadas, diferenças estas que podem dever-se a diferenças nas metodologias, já que este autor utilizou folhas de café Mundo-Novo, e de acordo com Magalhães et al. (2012), existem diferenças nos tempos de desenvolvimento do bicho-mineiro devido aos compostos químicos diferentes presentes nos diferentes genótipos de

café brasileiro. Desta forma, as diferenças encontradas por Parra (1985) em relação ao presente estudo, podem estar também relacionadas à diferente variedade de café utilizada.

Tabela 2 - Duração média e viabilidade ( $\pm$ EP) fase de larval de *Leucoptera coffeella* em sete temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR:  $70\pm 10\%$  e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | N   | Duração (dias)   | Viabilidade %   |
|----------------|-----|------------------|-----------------|
| 18             | 272 | 21,6 $\pm$ 0,8 a | 88 $\pm$ 3,6 a  |
| 22             | 280 | 12,9 $\pm$ 0,2b  | 90 $\pm$ 5,6 ab |
| 25             | 291 | 9,6 $\pm$ 0,3 bc | 97 $\pm$ 2,6b   |
| 28             | 282 | 7,3 $\pm$ 0,2c   | 93 $\pm$ 3,8b   |
| 30             | 265 | 7,6 $\pm$ 0,4 c  | 81 $\pm$ 5,8c   |
| 32             | 257 | 7,1 $\pm$ 0,6c   | 81 $\pm$ 6,8c   |
| 35             | 105 | -                | -               |
| F              |     | 178,3            | 10,44           |
| gl             |     | 5,30             | 5,30            |
| P              |     | <0,001           | <0,001          |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey,  $P<0,05^*$ ) O número de repetições é dado pelo valor de n

A viabilidade observada nesta fase, decresceu de acordo com o incremento térmico, sendo concordante com o relatado por outros autores (NANTES; PARRA, 1977; PARRA, 1985); os valores ótimos foram obtidos na faixa de 22 a 28°C, e a partir de 30°C, observaram-se as menores viabilidades (Tabela 2), possivelmente pelo fato das temperaturas superiores a 28°C, contribuírem para a perda de umidade das folhas de cafeeiro, afetando a viabilidade larval. Esta situação pode ser a responsável pelo não desenvolvimento a 35°C, já que autores como Parra (1985) e Katiyar e Ferrer (1968), observaram desenvolvimento nessa temperatura embora com baixas viabilidades; na presente pesquisa, as folhas destacadas chegaram a secar.

#### 4.3.1.3 Fase pupal

Para o desenvolvimento de pupa de *L. coffeella* observou-se a mesma tendência das fases anteriores, ou seja, desenvolvimento entre 18 e 32°C (Tabela 3), com diminuição do tempo de desenvolvimento à medida que a temperatura

aumentou (Tabela 3); na faixa de temperatura de 18 a 25°C, para cada grau Célsius de aumento, houve uma diminuição média de 1,25 dias na duração; já, a partir de 25°C, o decréscimo ficou em média de 0,28 dias para cada 1°C, comportamento similar ao relatado na fase larval; os valores encontrados nesta pesquisa não são diferentes daqueles referidos por Parra (1985) e por Katiyar e Ferrer (1968).

A viabilidade obtida nesta fase de pupa, mostrou que a faixa ótima para *L. coffeella* está entre 22 e 28°C, resultado similar ao encontrado na fase larval (Tabela 3); apenas a viabilidade na temperatura de 25°C é similar aos resultados de Parra (1985) e Katiyar e Ferrer (1968); as diminuições mais drásticas na viabilidade desta fase de pupa, foram observadas a partir de 30°C.

A partir da temperatura de 30°C, foram encontrados problemas de má formação dos casulos, pois o formato típico, em forma de X da espécie, somente ocorreu em 80% da população a 30°C, enquanto que para a temperatura de 32°C, este valor diminuiu para 66%. Nos indivíduos em que não se formaram casulos, respectivamente 20% a 30°C e 34% a 32°C, as pupas morreram, pois ficavam expostas a altas temperaturas e ressecavam, desde que os casulos funcionam como protetores por meio de substâncias protéicas que são secretadas pelas glândulas labiais de lepidópteros (SUTHERLAND et al., 2010).

Tabela 3 - Duração média e viabilidade ( $\pm$ EP) da fase pupal de *Leucoptera coffeella* em sete temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70 $\pm$ 10 % e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | N   | Duração (dias)   | Viabilidade %   |
|----------------|-----|------------------|-----------------|
| 18             | 246 | 14,7 $\pm$ 0,3 a | 85 $\pm$ 3,0 a  |
| 22             | 261 | 7,8 $\pm$ 0,1 b  | 90 $\pm$ 4,6 ab |
| 25             | 263 | 5,9 $\pm$ 0,2 c  | 95 $\pm$ 3,4 ab |
| 28             | 262 | 5,4 $\pm$ 0,4 c  | 87 $\pm$ 4,4 b  |
| 30             | 214 | 4,2 $\pm$ 0,3 cd | 78 $\pm$ 6,7 bc |
| 32             | 208 | 3,5 $\pm$ 0,3 d  | 73 $\pm$ 10,6 c |
| 35             | -   | -                | -               |
| F              |     | 109,91           | 11,87           |
| gl             |     | 5,30             | 5,30            |
| P              |     | <0,001           | <0,001          |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05\*) O número de repetições é dado pelo valor de n

#### 4.3.1.4 Razão sexual



As temperaturas afetaram igualmente os sexos, não havendo diferença significativa ( $P < 0,005$ ) na razão sexual (Tabela 4), resultado similar ao relatado por Parra (1985). O número de indivíduos decresceu nas temperaturas de 30°C e 32°C, devido às menores viabilidades nestas altas temperaturas (Figura 1).

#### 4.3.1.5 Período ovo-adulto

A duração do período ovo-adulto de *L. coffeella* é um reflexo das diferentes fases, observando-se que a faixa térmica ideal se situa entre 18 e 32°C, dando uma indicação de que o limite térmico superior de desenvolvimento está próximo a 32°C (Tabela 5), com resultados semelhantes aos encontrados por Notley (1956).

Tabela 4 - Razão sexual e proporção sexual de *Leucoptera coffeella* em sete temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70±10% e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | Razão sexual |
|----------------|--------------|
| 18             | 0,55 a       |
| 22             | 0,55 a       |
| 25             | 0,54 a       |
| 28             | 0,55 a       |
| 30             | 0,55 a       |
| 32             | 0,54 a       |
| 35             | -            |
| $X^2$          | 0,98         |
| gl             | 5            |
| P              | 0,5718       |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes ( $X^2 < 0,05$ )

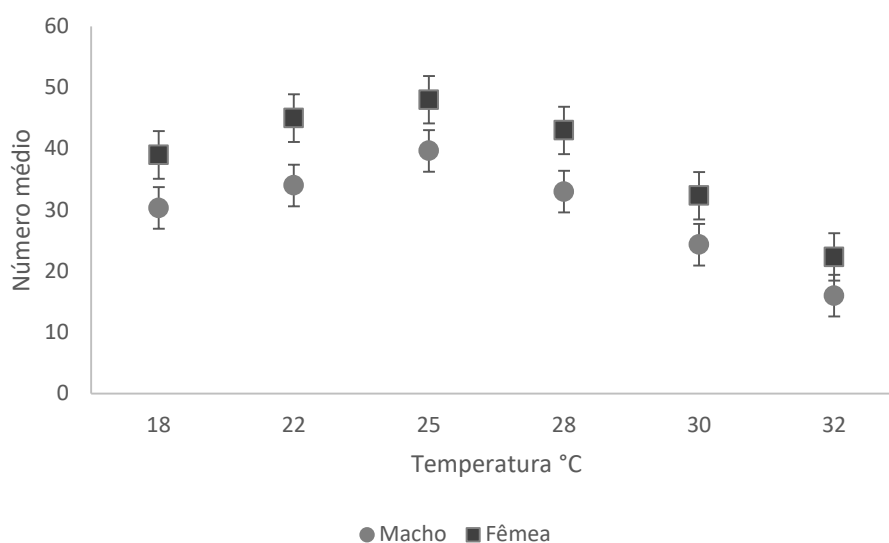


Figura 1 - Número médio ( $\pm$ E.P.) de fêmeas e machos de *Leucoptera coffeella* em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR:  $70\pm 10\%$  e fotofase: 14 horas

Quando se considerou a viabilidade, a faixa de 18 a 28°C mostrou-se adequada para o desenvolvimento ovo-adulto de *L. coffeella*, com maior mortalidade a partir de 30°C (Tabela 5).

Tabela 5 - Duração média e viabilidade ( $\pm$ EP) da fase do período ovo-adulto de *Leucoptera coffeella* em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR:  $70\pm 10\%$  e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | n   | Duração (dias)     | Viabilidade %   |
|----------------|-----|--------------------|-----------------|
|                |     | Média $\pm$ E.P.   |                 |
| 18             | 209 | 46,62 $\pm$ 1,3 a  | 70 $\pm$ 5,9 a  |
| 22             | 236 | 26,41 $\pm$ 0,31 b | 75 $\pm$ 4,7 ab |
| 25             | 248 | 20,88 $\pm$ 0,66 c | 89 $\pm$ 7,1 b  |
| 28             | 229 | 17,67 $\pm$ 0,7 c  | 76 $\pm$ 6,9 ab |
| 30             | 167 | 14,14 $\pm$ 0,2 cd | 56 $\pm$ 6,0 c  |
| 32             | 208 | 11,53 $\pm$ 0,1 d  | 50 $\pm$ 8,9 c  |
| F              |     |                    | 123,74          |
| gl             |     |                    | 5               |
| P              |     |                    | <0,001          |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey,  $P < 0,05^*$ ). O número de repetições é dado pelo valor de n

#### 4.3.1.6 Fase adulta

##### a. Período de pré-oviposição e oviposição

O período de pré-oviposição de *L. coffeella* foi significativamente afetado pela temperatura, diminuindo com o incremento térmico (Tabela 6). Assim, a 18°C, as fêmeas de *L. coffeella* demoram em média 10,25 dias para iniciarem a postura, enquanto que a 32°C este período é de 1,4 dias. Os períodos de pré-oviposição relatados por Parra (1985) são menores naquelas temperaturas possíveis de serem comparadas em relação aos dados obtidos na presente pesquisa.

A fecundidade total, medida pelo número de ovos colocados pelas fêmeas antes de iniciar as posturas de fêmeas da geração F1, ficou entre 4,2 e 64,9, apresentando um maior número de ovos acumulados nas temperaturas de 25 e 28°C (Figura 2), similar aos relatos de Notley (1956), com populações da África. Os resultados revelam uma queda no desempenho reprodutivo do inseto nas temperaturas de 18°C e a partir 30°C. A oviposição média diária de *L. coffeella* apresentou o mesmo padrão observado na oviposição acumulada (Tabela 6).

O número total de ovos colocados por fêmeas na temperatura de 28°C, foi similar ao encontrado por Parra (1985) e Reyes (1972); na temperatura de 30°C, este valor foi superior ao valor encontrado por Parra (1985).

Tabela 6 - Media ( $\pm$ EP) do período de pré-oviposição e fecundidade total de ovos colocados por *Leucoptera coffeella* alimentados com solução de mel a 10% em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70 $\pm$ 10% e fotofase: 14 horas

| Parâmetro                        | Temperatura °C      |                    |                     |                     |                    |                     |                               |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
|                                  | 18                  | 22                 | 25                  | 28                  | 30                 | 32                  |                               |
| Período de pré-oviposição (dias) | 12,4 $\pm$ 0,6<br>a | 7,2 $\pm$ 0,5<br>b | 3,4 $\pm$ 0,2<br>c  | 2,9 $\pm$ 0,3<br>cd | 1,6 $\pm$ 0,2<br>d | 1,4 $\pm$ 0,1<br>d  | F= 115,3<br>gl= 5<br>P>0,0001 |
| Número médio de ovos por fêmea)  | 10,2 $\pm$ 1,6<br>a | 34 $\pm$ 4,2<br>b  | 64,9 $\pm$ 3,6<br>c | 60,3 $\pm$ 3,8<br>c | 23 $\pm$ 2,1<br>b  | 14,5 $\pm$ 1,4<br>a | F=74,5<br>gl= 5<br>P>0,0001   |

Médias seguidas pela mesma letra, nas fila não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05)

Pode-se observar que a faixa de temperatura de 25°C a 28°C, foi a mais adequada para postura de *L. coffeella*, o que de certa forma, concorda com os resultados obtidos por Parra (1985), na temperatura de 18°C, 55% das fêmeas

apresentaram uma média total de ovos menor do que 10. Speer (1949) apud Parra (1985), observou que em temperaturas inferiores a 21,9°C e superiores a 27°C poucas fêmeas de *L. coffeella* realizavam posturas (Figura 3).

O bicho-mineiro, além de ser altamente influenciado pela temperatura, também é afetado pelo sob fornecimento de alimento durante o período de pré-oviposição e oviposição; adultos alimentados com solução de sacarose podem colocar até 2,1 vezes mais ovos do que os não alimentados (PARRA, 1985), sendo que na presente pesquisa todos os indivíduos foram alimentados com uma solução de sacarose a 10%.

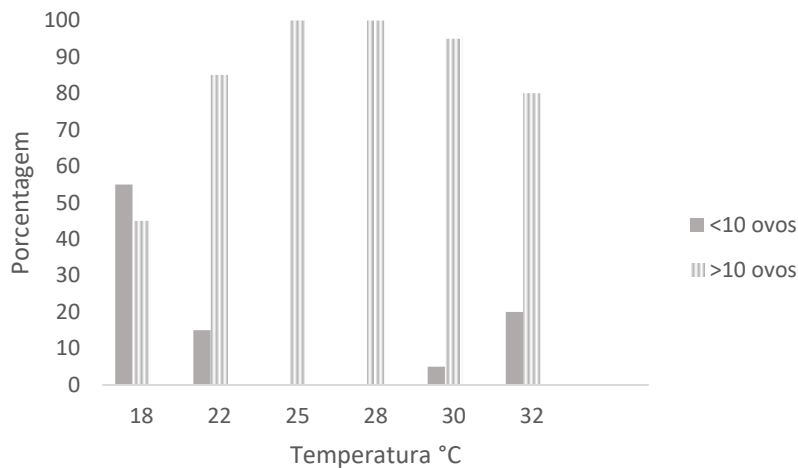


Figura 3 - Porcentagem de fêmeas de *L. coffeella* alimentadas com solução de mel a 10% que realizaram postura em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70±10% e fotofase: 14 horas

De acordo com os resultados encontrados no presente trabalho, a grande porcentagem de postura ocorreu nos primeiros seis dias (Figura 2), sendo concordante com os resultados relatados por Parra (1985) e por Katiyar e Ferrer (1968), que referem que em condições de 27°C, observa-se um pico de postura no quarto dia (Figura 2).

O ritmo de postura de *L. coffeella*, variou de acordo com a temperatura; na temperatura mais baixa (18°C), este inseto apresentou dois picos de postura; nas temperaturas intermediárias (22, 25, 28 e 30°C) um pico de postura, e na temperatura mais elevada avaliada (32 °C) apresentou comportamento errático (Figura 2).

O período de tempo para atingir 50% da oviposição total também foi afetado pela temperatura (Figura 2); na menor temperatura este valor foi obtido no período de 11 a 12 dias, nas temperaturas de 22, 25, 28,30 e a 32°C este percentual foi registrado entre o terceiro e sexto dias.

### b. Longevidade de machos e fêmeas

Na presente pesquisa foi avaliada a longevidade de machos e fêmeas copulados. A longevidade dos machos e das fêmeas, decresceu com o aumento da temperatura, com diferenças estatísticas entre temperaturas ( $P < 0,05$ ) (Tabela 7).

Foi observado que as fêmeas vivem mais do que os machos, sendo similar aos resultados encontrados por Parra (1985) e diferindo dos relatos de Reyes (1972). Os valores médios de longevidade de machos e fêmeas na temperatura de 28°C, foram menores aos encontrados por Parra (1985) (Tabela 7).

De acordo com Gonzáles et al. (1972) apud Parra (1985), a longevidade dos adultos é dependente da temperatura, pois estes lepidópteros vivem mais na estação chuvosa em relação à época seca do ano, resultados também observados na presente pesquisa, pois maiores longevidades foram encontradas nas temperaturas menores.

Tabela 7 - Longevidade de machos e fêmeas ( $\pm$ EP) de *Leucoptera coffeella* alimentados com solução de mel a 10% em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70 $\pm$ 10% e fotofase: 14 horas

| Temperatura °C | N  | Período (dias)   |                  |
|----------------|----|------------------|------------------|
|                |    | Média $\pm$ E.P. |                  |
|                |    | Machos           | Fêmeas           |
| 18             | 60 | 17,9 $\pm$ 1,3 a | 21,5 $\pm$ 1,3 a |
| 22             | 60 | 1,5 $\pm$ 0,5 b  | 14 $\pm$ 0,7 b   |
| 25             | 60 | 6,2 $\pm$ 0,4 c  | 7,6 $\pm$ 0,5 c  |
| 28             | 60 | 6 $\pm$ 0,2 c    | 8,6 $\pm$ 0,4 c  |
| 30             | 60 | 3,9 $\pm$ 0,2 cd | 6,3 $\pm$ 0,3 cd |
| 32             | 60 | 3,7 $\pm$ 0,2 d  | 4,3 $\pm$ 0,3 de |
| F              |    | 99,32            | 102,9            |
| gl             |    | 5                | 5                |
| P              |    | <0,001           | <0,001           |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey,  $P < 0,05^*$ ). O número de repetições é dado pelo valor de n

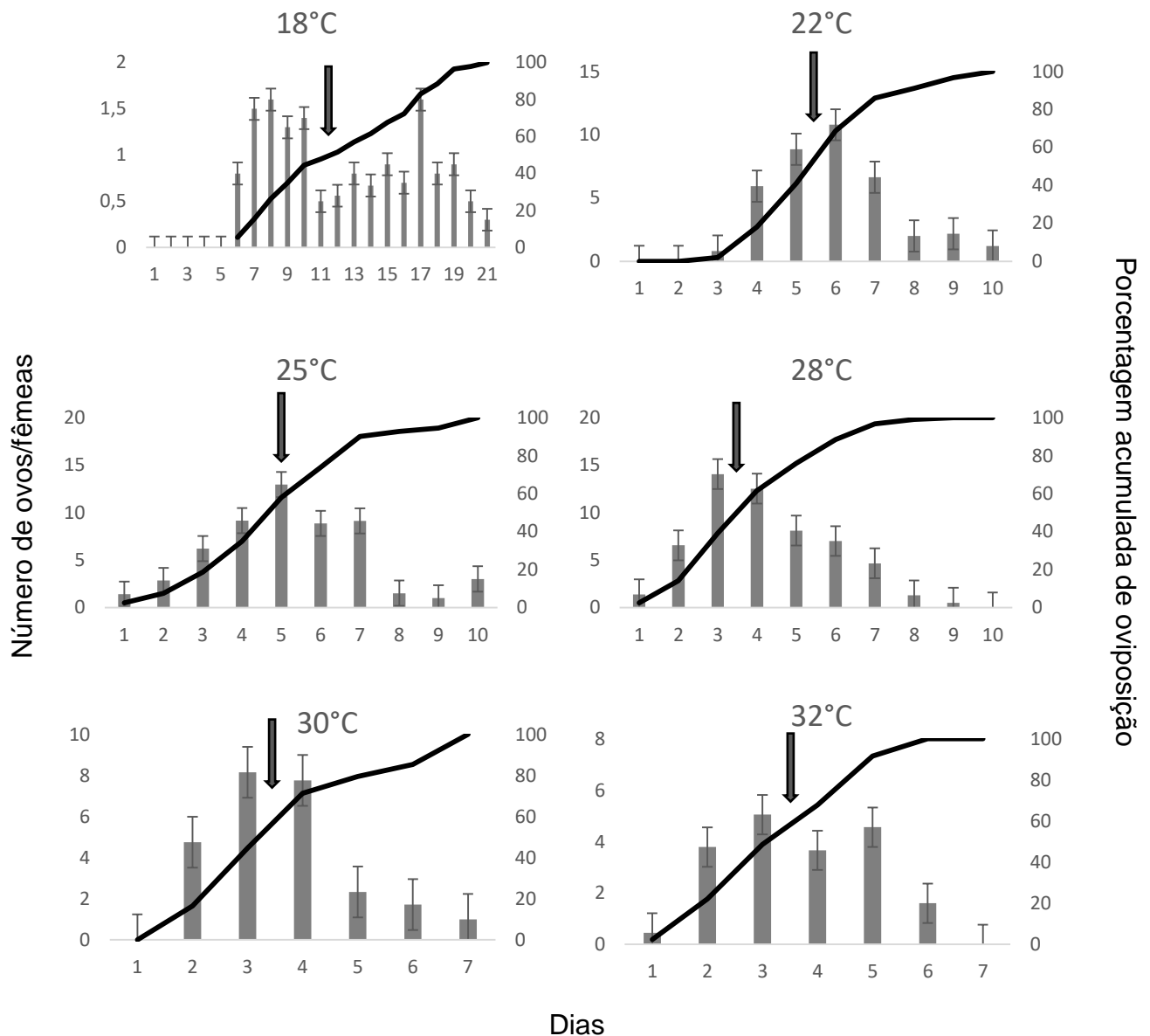


Figura 2 - Número médio de ovos/fêmea ( $\pm$ E.P.) (Histograma), e oviposição acumulada de fêmeas de *Leucoptera coffeella* em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR:  $70\pm 10\%$  e fotofase: 14 horas. A seta indica o momento em que se obteve 50% do total de ovos

#### 4.3.2 Tabela de vida de fertilidade de *L. coffeella* em diferentes temperaturas

O parâmetro de uma tabela de vida de fertilidade mais fácil de ser visualizado é a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), pois ela dá uma ideia de quantas vezes a população aumenta a cada geração. O maior crescimento populacional ocorreu para *L. coffeella* na faixa de 22 a 28°C, com uma variação de aumento de 14,26 a

22,23 vezes a cada geração (Tabela 8); estes valores se aproximam dos resultados obtidos por Parra (1995) na temperatura de 28°C.

Baseando-se no tempo de uma geração, pode-se observar uma analogia com os dados biológicos, ou seja, uma relação inversa entre a duração e o incremento térmico, porém apenas no intervalo de 18 a 30°C, apresentando uma estabilização a partir desta temperatura (Tabela 8), sendo similar aos resultados encontrados por Parra (1995).

A razão finita de aumento ( $\lambda$ ) indica o número adicionado à população por fêmeas que darão fêmeas. Portanto, de grande importância, embora muitas vezes difícil de ser visualizado por ser um valor logarítmico. No presente estudo os valores obtidos no intervalo de 18 a 32°C, não apresentaram diferenças entre si.

Os valores da razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) mostraram diferenças entre tratamentos, com as temperaturas de 18 e 32°C, apresentando os menores valores (Tabela 8).

A razão infinitesimal de aumento, envolve os valores do tempo de uma geração, da sobrevivência e da fecundidade (BIRCH, 1948), determinando o crescimento das populações. As temperaturas extremas de 18 e 32°C foram aquelas nas quais o inseto teve pior desempenho, quando comparados à faixa de 22 a 30°C.

Tabela 8 - Média (Intervalos de confiança) dos parâmetros de uma tabela de vida de fertilidade para validar o crescimento populacional de *Leucoptera coffeella* em seis temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70±10% e fotofase: 14 horas

| Parâmetro | Temperatura °C                  |                                  |                                  |                                 |                                |                                 |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|           | 18                              | 22                               | 25                               | 28                              | 30                             | 32                              |
| $R_o$     | <b>5,12 a</b><br>(0,75-9,76)    | <b>14,26 b</b><br>(11,28-25,6)   | <b>18,911 b</b><br>(15,29-22,78) | <b>22,23 b</b><br>(14,76-32,3)  | <b>7,08 ab</b><br>(0,9-15,23)  | <b>4,09 a</b><br>(0,77-7,78)    |
| T         | <b>48,80 a</b><br>(47,45-50,51) | <b>31,15 b</b><br>(29,55-32,69,) | <b>23 c</b><br>(22,33-25,68)     | <b>20,54 c</b><br>(48,87-22,48) | <b>13,86 d</b><br>(12,5-15,67) | <b>13,79 d</b><br>(12,40-15,37) |
| $\Lambda$ | <b>1,03 a</b><br>(0,99-1,05)    | <b>1,09 a</b><br>(1,04-1,12)     | <b>1,13 a</b><br>(1,07-1,15)     | <b>1,16 a</b><br>(1,09-1,21)    | <b>1,15 a</b><br>(1,00-1,21)   | <b>1,10 a</b><br>(0,98-1,16)    |
| $r_m$     | <b>0,03 a</b><br>(0,00-0,05)    | <b>0,08 b</b><br>(0,04-0,11)     | <b>0,11 b</b><br>(0,06-0,14)     | <b>0,15 b</b><br>(0,09- 0,19)   | <b>0,14 ab</b><br>(0,004-0,19) | <b>0,10 ab</b><br>(0-0,15)      |

Ro taxa líquida de reprodução, T tempo de uma geração,  $\lambda$  razão finita de aumento,  $r_m$  taxa infinitesimal de aumento

#### 4.4 Conclusões

1. *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) se desenvolve na faixa térmica de 18 a 32°C, sendo as temperaturas no intervalo de 22 a 28°C as mais adequadas por proporcionar maior viabilidade do período ovo-adulto.
2. Os maiores valores de taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ) de *L. coffeella* são obtidos na faixa de 22 a 30 °C

#### Referências

- BARRERA, J.F.; J. HERRERA, R.; RABANALES, A.; RABANALES, P. Es *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) plaga secundaria en cafetales donde *Idiarthron subquadratum* (Orthoptera: Tettigoniidae) es plaga clave? In: CONGRESO NACIONAL DE CONTROL BIOLÓGICO, 17., 2003, Guadalajara. **Memorias...** Guadalajara, 2003. p. 114-117. Disponível em: <[http://plagas-cafe.tap-ecosur.edu.mx/Proyecto\\_Produce/PDFs/EsLeucopteraPlaga2003.pdf](http://plagas-cafe.tap-ecosur.edu.mx/Proyecto_Produce/PDFs/EsLeucopteraPlaga2003.pdf)>. Acesso em 11 ago. 2016.
- BENAVIDES, P.; GIL, Z.N.; CONSTANTINO, L.M.; VILLEGAS, C.; GIRALDO-JARAMILLO, M. Plagas del café: broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y monalónion. In: GAST, F.; BENAVIDES, P.; SANZ, J.R.; HERRERA, J.C.; CRISTANCHO, M.A.; MARIN, S.M. (Ed.). **Manual cafetera colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura**. Chinchiná: Legis, 2013. t. 2, p. 215-260.
- BIRCH, L.C. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. **The Journal of Animal Ecology**, London, v. 17, p. 15-26, 1948.
- BORKHATARIA, R.R.; COLLAZO, J.A.; GROOM, J. Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. **Ecology Applied**, London, v. 16, p. 696–703, 2006.
- \_\_\_\_\_. El minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana**. Chinchiná: Cenicafé, 2008. p. 360-363.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMIENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015**: quarto levantamento. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2016.
- CROWE, T.J. Coffee leaf miners in Kenya. I. Species and life histories. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 29, p. 173-183, 1964.



GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 920 p.

GUERREIRO-FILHO, O. Coffee leaf miner resistance. **Brazilian Journal Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 109-117, 2006.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade statistics tables**. Disponível em: <<http://www.ico.org>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

KATIYAR, K.P.; FERRER, F. Technique biology and sterilization of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* Guér (Lepidoptera: Lyonetiidae). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Isotopes and radiation in entomology**. Vienna, 1968. p. 165-175.

MAGALHÃES, F.L.; FERNANDES, A.J.; DEMUNER, M.C.; PICANC, P.; GUEDES, R.N.C. Phenolics and coffee resistance to the leaf mines *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, n. 4, p. 1438-1443, 2010.

MAIA, H.N.M.; LUIZ, A.J.B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 2, p. 511-518, 2000.

MARTINS, M.; GUIMARAES-MENDES, A.N.; NOGUEIRA-ALVARENGA, I. Incidência de pragas e doenças em agroecossistemas de café orgânico de agricultores familiares em poço fundo-mg. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 28, p. 1306–1313, 2004.

MEYER, J.S.; IGERSELL, C.G.; MACDONALD, L.L. Uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap technique. **Ecology**, Tempe, v. 67, p. 1156-1166, 1986.

NANTES, J.F.D.; PARRA, J.R.P. Biologia de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), em três variedades de café (*Coffea* sp.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Curitiba, v. 6, p. 156-163, 1977.

\_\_\_\_\_. Influência de alimentação sobre a biologia de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Cientifica**, São Paulo, v. 6, p. 263-268, 1978.

NOTLEY, F.B. The *Leucoptera* leaf miners of coffee on Kilimanjaro. II. *Leucoptera coffeae*, **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 46, p. 899-912, 1956.

PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guerin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 29, p. 45-76, 1985.

PARRA, J.R.P.; HADDAD, M.L.; SILVEIRA NETO, S. Tabela de vida de fertilidade de *Perileuoptera coffeella* (Guerin-Meneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em três temperaturas. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 125;129, 1995.

PAULINI, A.E.; ANDRADE, I.P.R.; MATIELLO, J.B.; MANSK, Z.; PAULINO, A.J. Eficiência de controle do bicho-mineiro do café (*Perileuoptera coffeella* Guér-Mèn., 1842) e sua relação com produtividade In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: SEB, 1975. p. 1-3.

PEREIRA, E.J.G.; PICANÇO, M.C.; BACCI, L.; CRESPO, A.L.B.; GUEDES, R.N.C. Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 97, p. 421–432, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Manejo integrado do bicho-mineiro *Perileuoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), e seu reflexo na produção de café. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, p. 77-82, 1996.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; ZACARIAS, M. S. Alerta para o bicho-mineiro. **Cultivar**, Pelotas, v. 8, p. 13-16, 2006.

REYES, J.A.O. Fertilidad, fecundidad, longevidad y vigor sexual del *Leucoptera coffeella* Guérin (Lepidoptera: Lyonetiidae) (minador de la hoja del café). **Acta Agronômica**, Palmira, v. 23, n. 3/4, p. 19-26, 1972.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System: getting started with the SAS learning**. Cary, 2010.

SEGURA, H.R.; BARRERA, J.F.; MORALES, H.; NAZAR, A. Farmers' perceptions, knowledge, and management of coffee pests and diseases and their natural enemies in Chiapas, Mexico. **Jornal Economic Entomology**, Lanham, v. 97, p.1491–1499, 2004.

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

SOUZA, J.C.; REIS, P.R.; RIGITANO, R.L.O. **Bicho-mineiro do-cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998. 28 p. (Boletim Técnico, 54).

SUTHERLAND, T.D.; YOUNG, J.H.; WIESMAN, S.; HAYASHI, C.Y.; MERRITT, D. Insect silk: one name, many materials. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 55, p. 171-188, 2010.

VEGA, F.E.; POSADA, F.; INFANTE, F. Coffee insects: ecology and control. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of pest management**. London: M. Dekker, 2006. p. 1-4.

## 5 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) PARA SEU ZONEAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL

### Resumo

*Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) constitui-se em uma das principais pragas do cafeeiro no Brasil. A duração média do desenvolvimento biológico de *L. coffeella* foi afetada pela temperatura, ocorrendo um aumento da velocidade de desenvolvimento com a elevação térmica. O limite térmico de desenvolvimento ou temperatura base ( $T_b$ ) foi de 13°C e a constante térmica ( $K$ ) de 259 GD. Com a determinação, em condições de laboratório, das exigências térmicas de *L. coffeella* e mediante a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível obter mapas de distribuição do desenvolvimento deste inseto para o estado de São Paulo no Brasil. Assim, podem ocorrer de 5,12 a 14,17 gerações/ano, levando-se em consideração as exigências térmicas desta praga. A maior incidência da praga deve coincidir com o aumento da temperatura. Os dados biológicos de *L. coffeella*, obtidos no presente trabalho poderão auxiliar na estimativa do número de gerações mensal e anual para o fortalecimento dos programas de manejo integrado deste inseto.

Palavras-chave: SIG (Sistema de Informação Geográfica); *L. coffeella*; temperatura

### Abstract

*Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) is one of the main pests of the coffee crops at Brazil. The mean biological lifetime of *L. coffeella* was affected by temperature, with an increase if the lifetime velocity with the thermal increase. The temperature threshold ( $T_t$ ) was 13°C and a thermal constant ( $K$ ) of 259 DD. Using the before mentioned variables in laboratory and using the Geographic Information system tool, insect distribution maps were obtained at the Sao Paulo state in Brazil. 5,12 to 14,17 generations/ year can occur, considering the pest thermal requirements. The higher insect incidence should occur with the increased temperatures. Biological data of *L. coffeella* could help to estimate their monthly and annually generations, contributing in the integrated pest management establishment.

Key words: GIS (Geographic Information System); *L. coffeella*; temperature

### 5.1 Introdução

A cafeicultura comercial é encontrada entre os 20° de latitude norte e 26° de latitude sul. A temperatura ótima para esta cultura situa-se entre 18 e 22°C; sendo que as temperaturas inferiores a 12°C e superiores a 24°C, são inadequadas para

seu crescimento e produtividade (MAESTRI; BARROS, 1977; PEREIRA; CAMARGO; CAMARGO, 2008).

No Brasil a safra 2015, apresentou uma queda do 5,3% no volume total de produção, devido a condições climáticas desfavoráveis, especialmente devido a um desvio do padrão de precipitação pluvial e pela temperatura média elevada do segundo semestre do 2015 (CONAB, 2015).

Assim, a cultura do café é vulnerável às variações climáticas e os insetos, por serem pecilotérmicos, são também altamente influenciados por esta variabilidade do clima, onde a temperatura é considerada o fator físico mais importante, pois afeta aspectos biológicos como a reprodução, a fecundidade, a duração do período de desenvolvimento, a taxa de emergência e a longevidade dos insetos (STERN; BOWEN, 1963; BUTTLER JUNIOR; LOPEZ, 1980; HARRISON; KING; OUZTS, 1985; NOLDUS, 1989; FLETCHER, 1989).

O clima e o tempo são comumente aceitos por entomologistas como influências dominantes no comportamento, abundância e distribuição dos insetos (MESSENGER, 1959). Potencialmente, as mudanças climáticas podem afetar vários aspectos do ciclo e ecologia dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados por variáveis de disponibilidade de energia como graus-dia. Por conseguinte, possíveis respostas incluem mudanças nos padrões fenológicos, mudanças na seleção de hábitat e expansão geográfica da área de ocorrência dos insetos (HUGHES, 2000; MENENDEZ, 2007).

Na maioria dos estudos de zoneamento, a temperatura é o principal fator envolvido (PARRA, 1985; HAMADA et al., 2007). A relação entre a temperatura e a duração do desenvolvimento dos insetos, pode ser modelada, com o auxílio de expressões matemáticas (LACTIN et al., 1995; BRIERE et al., 1999; IKEMOTO; TAKAI, 2000), e, esses estudos em condições de laboratório, fornecem informações importantes para a confecção de modelos matemáticos, os quais são amplamente utilizados em ecologia e manejo de pragas, bem como para a previsão de ocorrência de pragas e de seus inimigos naturais (OBRYCKI; TAUBER, 1981; BRAMAN et al., 1992; BERNAL, GONZALEZ, 1993). Tais estudos são também utilizados na análise de abundância de pragas e no sincronismo fenológico em relação às mudanças climáticas (GHINI et al., 2008; VAN NIEUWENHOVE; FRIAS; VIRLA, 2016) bem como na determinação do número de gerações de acordo com as condições

climáticas do local (GOMEZ-TORRES; NAVA; PARRA, 2014) e para o zoneamento ecológico de pragas (MILANEZ, PARRA, 2000).

Sistemas de modelagem são aplicados em programas de manejo de pragas para dar informação sobre as épocas adequadas de amostragem e implementação de estratégias de controle, baseando-se na compreensão da dinâmica dos insetos pragas e inimigos naturais (PARRA, 1985; DAVIS; BRENES; ALLEE, 1996; HAMADA et al., 2007).

As análises destes possíveis efeitos climáticos nas populações dos insetos-praga são fundamentais para os programas de gestão do risco neste setor produtivo, já que fornecem informações que permitirão o fortalecimento das plataformas de informação ao produtor de café, bem como a geração de alertas sanitários em estações de aviso que orientarão os cafeicultores sobre tomadas de decisão para o plantio e o controle das principais pragas de cafeicultura.

O bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), é a principal praga do cafeeiro no Brasil, devido à sua ocorrência generalizada e aos prejuízos econômicos causados (GALLO et al., 2002); Parra (1985), fez o zoneamento ecológico de *L. coffeella* para o Estado de São Paulo e Ghini et al. (2008) fizeram uma análise de risco para determinar o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial de bicho-mineiro no Brasil

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi determinar o número de gerações de *L. coffeella* ao longo do ano para o Estado de São Paulo, Brasil, baseando-se em suas exigências térmicas e em graus-dia acumulados.

## **5.2 Material e Métodos**

### **5.2.1 Determinação das exigências térmicas de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842)**

Os experimentos para obtenção dos valores da duração e viabilidade de *L. coffeella* em diferentes temperaturas foram discutidos no capítulo 3, sendo esses resultados utilizados para o desenvolvimento deste capítulo de “Exigências térmicas e zoneamento climático de *L. coffeella*.”

Para a determinação das exigências térmicas das diferentes fases de desenvolvimento e do ciclo total (ovo-adulto) de *L. coffeella* foram obtidos os

parâmetros biológicos nas temperaturas de 18, 22, 25, 28, 30, 32 e 35±1 °C, mantidas em câmaras climatizadas em condições de UR de 70±10% e fotofase de 14 horas. Para atingir este objetivo, as folhas destacadas da variedade Obatã contendo os ovos, eram transferidas para placas de Petri de vidro numeradas, e mantidas em câmaras climatizadas reguladas nas temperaturas mencionadas (Capítulo 3).

Para acompanhamento diário até a fase adulta, para cada temperatura, foram avaliadas seis repetições, sendo que cada repetição, foi constituída por uma parcela de 50 indivíduos, onde foram avaliados diariamente: duração de desenvolvimento de ovo até adulto e respectiva viabilidade.

Com esses dados de duração para cada uma das fases de desenvolvimento de *L. coffeella*, foram calculadas as taxas de desenvolvimento para cada um desses estágios: ovo, larva e pupa. A duração do ciclo total de desenvolvimento foi obtida com o somatório da duração média para cada fase nas diferentes temperaturas. As médias para cada fase foram transformadas em taxa de desenvolvimento, form. (1):

$$\text{Taxa de desenvolvimento} = \frac{1}{\text{duração(dias)}} \quad (1)$$

A taxa de desenvolvimento foi determinada para aplicação do modelo linear, que permite o cálculo da temperatura base e a constante térmica de desenvolvimento, de acordo com a form. (2) (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999). Como padronizações foram adotadas as seguintes siglas:  $T_{opt}$ , para temperatura ótima de desenvolvimento,  $T_b$  para limite térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base,  $K$  para a constante térmica de desenvolvimento.

$$K = D \times (T - T_b) \quad (2)$$

Onde,  $K$ = constante térmica expressa em graus-dia (GD);  $D$ = duração (dias);  $T$ = temperatura (°C);  $T_b$ = limiar térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base (°C).

Para as estimativas dos valores de  $T_b$  e  $K$  pelo modelo de graus-dias foram utilizados os dados da faixa de temperaturas de 18 a 30°C para a fase de ovo e as temperaturas no intervalo de 18 a 28 °C para as fases de larva, pré-pupa e pupa, sendo as demais temperaturas não incluídas nas análises. Isto é normalmente feito

devido a linearidade da equação (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999). Esta equação linear foi utilizada por meio do método da hipérbole (HADDAD; PARRA, 1984), sendo que os valores de  $T_b$  e  $K$  obtidos pelas form. (3) e (4):

$$T_b = -\frac{a}{b} \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{b} \quad (4)$$

Os procedimentos de cálculo para o modelo avaliado e os gráficos foram realizados no programa estatístico R versão 3.2.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

Os parâmetros  $T_b$  e  $T_{máx}$  foram estimados também experimentalmente, em função da viabilidade e da duração média das fases de desenvolvimento de *L. coffeella* nas temperaturas estudadas. Considerou-se como a  $T_{opt}$  a faixa térmica na qual correu a intersecção das temperaturas que apresentaram, estatisticamente, a menor duração e a maior viabilidade. Para a determinação de  $T_b$  e  $T_{máx}$  foram feitas algumas estimativas; para  $T_b$  foi considerado que o valor se encontra abaixo de 18°C, pois nesta temperatura houve desenvolvimento do inseto. Para  $T_{máx}$ , como houve temperatura na qual não houve desenvolvimento, considerou-se como faixa térmica aquela situada entre tal temperatura e a anterior que permitiu o desenvolvimento do inseto.

### 5.2.2. Análises estatísticas dos parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos de duração e viabilidade foram comparados pelo modelo linear generalizado (MLG). Seguindo a distribuição de Poisson, foram feitas comparações múltiplas por contrastes com o teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) no programa SAS, Statistical Analyses System (2010).



### 5.2.3 Número de gerações de *L. coffeella*

#### 5.2.3.1 Número de gerações de *L. coffeella* com base nas normais climatológicas de temperatura

O cálculo do número hipotético de gerações (ciclos) de *L. coffeella* com base em suas exigências térmicas e dos graus-dia acumulados foi realizada para o Estado de São Paulo- Brasil ao longo do ano.

O cálculo dos graus-dia acumulados foi fundamentado no método de Arnold (1959) com base na form. (5)

$$NC = \frac{(tm-tb)d}{K} \quad (5)$$

Onde, NC=número de ciclos; tm=temperatura média mensal; tb=temperatura base ou limite térmico inferior de desenvolvimento; K=graus-dia acumulado necessário para completar um ciclo (ovo-adulto); d=número de dias do mês.

#### 5.2.3.2 Obtenção da informação climática

Para o estado de São Paulo, o cálculo da temperatura média mensal dos diferentes municípios foi baseado no modelo proposto por Rodriguez-Lado; Spavorek e Vidal-Torrado (2007) e Alvares et al. (2013), baseado na análise da temperatura média mensal de 256 estações meteorológicas por meio da uma regressão linear múltipla.

### 5.2.4 Utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinação do número de gerações de *L. coffeella* para o estado de São Paulo - Brasil

O processamento dos dados e geração dos mapas com o número de ciclos mensais (período ovo-adulto, sem considerar o período de pré-oviposição) foi realizado com o sistema de Informações Geográficas (SIG) TNT Mips 7.2 com o modelo de Elevação Digital (DEM-SRTM) desenvolvido pela Embrapa (MIRANDA,

2005) para o Estado de São Paulo, com uma resolução espacial de 1000 metros. Para facilitar a compreensão dos mapas gerados, foi feita uma divisão em intervalos de isotermas, de <18°C, 18,1°C a 20°C, 20,1°C a 22°C, 22,1°C a 24°C e >24,1°C.

Os municípios selecionados para o Estado de São Paulo para serem analisados com base na temperatura do ar, para avaliar o desenvolvimento de *L. coffeella* foram divididos por mesorregiões e representam 74% da área plantada (Tabela 1), com os municípios representativos por mesorregião na Figura 1 (SAA,2008). Das 15 mesorregiões que o estado de São Paulo, está dividido (IBGE, 2016), oito têm áreas representativas em café (Tabela 1).

### **5.3 Resultados e Discussão**

#### **5.3.1 Determinação das exigências térmicas de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842)**

Foram observadas diferenças estatísticas significativas ( $P < 0,05$ ) para o tempo de desenvolvimento e a viabilidade nas temperaturas estudadas para as diferentes fases de desenvolvimento de *L. coffeella*, conforme já apresentado no capítulo 3 (Tabela 2).

Tabela 1 - Regiões de cafeeiras com a respectiva porcentagem de participação e área, e municípios por região no Estado de São Paulo, Brasil. Anos 2007-2008

| Mesorregião       | Região                                  | % de participação | Área (ha) | Municípios  |
|-------------------|---|-------------------|-----------|---|
| 2                 | Ribeirão Preto                          | 24,79             | 53.246,44 | Pedregulho, Altinópolis, Franca, Cristais Paulista, Ribeirão Corrente, Jeriquara, Patrocínio Paulista, Restinga, Cajuru, Batatais, Santo Antônio da Alegria, Itirapuã, Cássia dos Coqueiros.  |
| 4                 | Bauru                                   | 3,23              | 6.937,71  | Dois Córregos, Itaí, São Manuel, Arandu   |
| 6                 | Piracicaba                              | 0,68              | 1.460,57  | Torrinha  |
| 7                 | Campinas                                | 24,49             | 52.602,07 | Caconde, São Sebastião da Gramma, Espírito Santo do Pinal, Santo Antônio do Jardim, Mococa, São João de Boa Vista, Divinolândia, Serra Negra, Tapiratiba, Socorro, São José do Rio Pardo, Amparo, Itapira, São José de Bela Vista, Águas da Prata |
| 8                 | Presidente Prudente                     | 2,82              | 6.937,71  | Osvaldo Cruz, Parapuã, Rinópolis,   |
| 9-10              | Assis – Marília                         | 17,23             | 37.008,31 | Garça, Tejupa, Gália, Fartura, Vera Cruz, Piraju, Lupércio, Ocaçu, Manduri, Timburi, Álvaro de Carvalho, Sarataia, Marília  |
| 12                | Macro metropolitana Paulista (Sorocaba) | 0,64              | 1.374,65  | Bragança Paulista   |
| Demais municípios |   | 26                | 56.062,60 |   |

Fonte: São Paulo (2008)

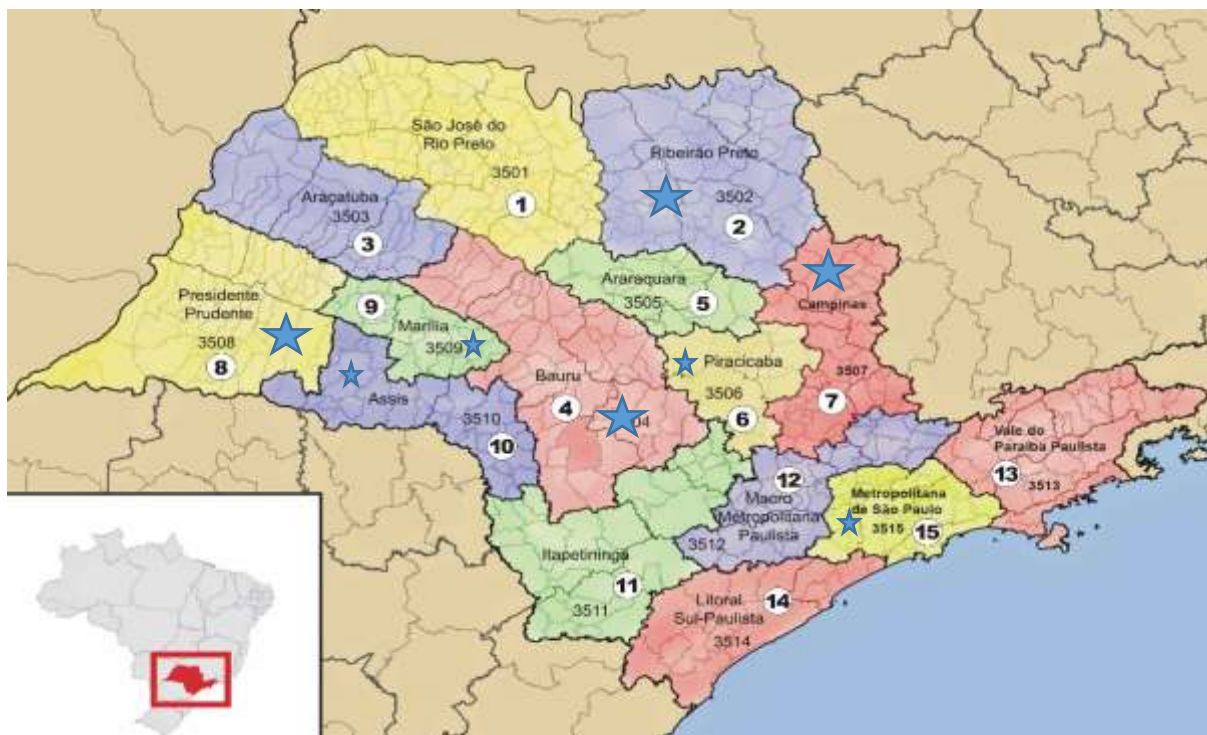


Figura 1 - Localização das mesorregiões do estado de São Paulo. Fonte: IBGE,2016. As estrelas de coloração azul representam as áreas cafeeiras do estado

Não foi verificado desenvolvimento em todas as temperaturas estudadas, existindo variações; assim, para a fase de ovo ocorreu eclosão na faixa de 18 a 35°C; para as fases de larval e pupal houve desenvolvimento no intervalo de 18 a 32°C.

O tempo de desenvolvimento foi inversamente relacionado ao aumento da temperatura até o limite de 32°C, nas diferentes fases (Tabela 2).

De modo geral, nas temperaturas extremas foram observadas menores viabilidades nas fases de desenvolvimento de *L. coffeella*. A viabilidade foi baixa nas temperaturas de 30, 32 e 35°C para a fase de ovo; para as fases larval e pupal, a viabilidade foi menor nas temperaturas acima de 30°C (Tabela 2).

A relação da taxa de desenvolvimento com a temperatura, foi adequadamente descrita pelo modelo linear, já que os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o coeficiente ajustado ( $R^2_{adj}$ ) foram maiores ou iguais a 0,91 para todas as fases. Autores como Burnham e Anderson (2002); Quinn e Keough (2002), relatam que valores superiores a 0,85 são apropriados para o ajuste no modelo linear (Tabela 3).

Para a confecção do modelo foi utilizada apenas a parte linear da curva de desenvolvimento. Deste modo, nas fases de ovo, lagarta, pupa e o período ovo-adulto foi utilizada a faixa de 18 a 30°C (Figura 2). Os limiares térmicos inferiores ou

temperaturas bases de cada uma das fases de desenvolvimento estiveram entre 12 e 14°C e as constantes térmicas (K) ficaram entre 43 a 138 GD. Para o período ovo-adulto o limiar térmico inferior foi de 13°C e a constante térmica de 259 GD (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise da regressão linear estimada, limite térmico inferior (Tb) e constante térmica de desenvolvimento para as diferentes fases de desenvolvimento e para o período ovo-adulto de *Leucoptera coffeella*

| Fase de desenvolvimento | Faixa de temperatura (°C) | Equação da regressão*   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado | Tb* | K** |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|-----|-----|
| Ovo                     | 18-30                     | $Y=-0,38315+0,02577*T$  | 0,93           | 0,91                    | 14  | 43  |
| Lagarta                 | 18-30                     | $Y=-0,09240+0,00779*T$  | 0,96           | 0,95                    | 12  | 138 |
| Pupa                    | 18-30                     | $Y=-0,16610+0,01316*T$  | 0,97           | 0,96                    | 13  | 78  |
| Ovo-Adulto              | 18-30                     | $Y=-0,04843+0,003875*T$ | 0,98           | 0,97                    | 13  | 259 |

\*Limite térmico inferior de desenvolvimento (°C), \*\*Constante térmica de desenvolvimento (em graus dia)

Estes valores de Tb e K são diferentes daqueles relatados por Parra (1985) e Notley (1948), provavelmente, pelas diferentes técnicas de criação utilizadas e por se tratarem de populações de *L. coffeella* de diferentes locais, bem como de variedades de café utilizadas, além de, no presente trabalho, ter sido utilizados um número maior de temperaturas para determinação das exigências térmicas.

Comparando os resultados dos limiares térmicos inferiores (Tb) e as constantes térmicas (K) para cada fase de desenvolvimento, com os dados de Parra (1985), se observa que os dados das fases larval e pupal não são tão distantes entre si.

Tabela 2 - Duração média e viabilidade média das fases de ovo, lagarta, pupa, período ovo-adulto ( $\pm$ EP) de *Leucoptera coffeella*, em sete temperaturas constantes em folhas destacadas de cafeeiro Obatã. UR: 70 $\pm$ 10 % e fotofase: 14 horas

| Temperatura<br>°C | Duração (dias) * |                   |     |                  |     |                  |     | Viabilidade (%)    |                 |                 |                 |                 |        |
|-------------------|------------------|-------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|                   | N                | Ovo               | N   | Lagarta          | N   | Pupa             | N   | Ovo-adulto         | Ovo             | Lagarta         | Pupa            | Ovo - adulto    |        |
| 18                | 300              | 10,3 $\pm$ 0,2 a  | 272 | 21,6 $\pm$ 0,8 a | 246 | 14,7 $\pm$ 0,3 a | 209 | 46,62 $\pm$ 1,3 a  | 91 $\pm$ 1,6 a  | 88 $\pm$ 3,6 a  | 85 $\pm$ 3,0 a  | 70 $\pm$ 5,9 a  |        |
| 22                | 300              | 5,7 $\pm$ 0,0,1 a | 280 | 12,9 $\pm$ 0,2b  | 261 | 7,8 $\pm$ 0,1 b  | 236 | 26,41 $\pm$ 0,31 b | 93 $\pm$ 3,9 ab | 90 $\pm$ 5,6 ab | 90 $\pm$ 4,6 ab | 75 $\pm$ 4,7 ab |        |
| 25                | 300              | 3,4 $\pm$ 0,16b   | 291 | 9,6 $\pm$ 0,3 bc | 263 | 5,9 $\pm$ 0,2 c  | 248 | 20,88 $\pm$ 0,66 c | 97 $\pm$ 2,7 b  | 97 $\pm$ 2,6b   | 95 $\pm$ 3,4 ab | 89 $\pm$ 7,1 b  |        |
| 28                | 300              | 4,00 $\pm$ 0,1b   | 282 | 7,3 $\pm$ 0,2c   | 262 | 5,4 $\pm$ 0,4 c  | 229 | 17,67 $\pm$ 0,7 c  | 94 $\pm$ 1,8 ab | 93 $\pm$ 3,8b   | 87 $\pm$ 4,4 b  | 76 $\pm$ 6,9 ab |        |
| 30                | 300              | 2,3 $\pm$ 0,1b    | 265 | 7,6 $\pm$ 0,4 c  | 214 | 4,2 $\pm$ 0,3 cd | 167 | 14,14 $\pm$ 0,2 cd | 88 $\pm$ 2,3 b  | 81 $\pm$ 5,8c   | 78 $\pm$ 6,7 bc | 56 $\pm$ 6,0 c  |        |
| 32                | 300              | 3,9 $\pm$ 0,3b    | 257 | 7,1 $\pm$ 0,6c   | 208 | 3,5 $\pm$ 0,3 d  | 208 | 11,53 $\pm$ 0,1 d  | 86 $\pm$ 3,4 b  | 81 $\pm$ 6,8c   | 73 $\pm$ 10,6 c | 50 $\pm$ 8,9 c  |        |
| 35                | 300              | 3,1 $\pm$ 0,4b    | 105 | -                | -   | -                | -   | -                  | 35 $\pm$ 8,9 c  | -               | -               | -               |        |
| F,                |                  | 168,11            |     | 178,3            |     | 109,91           |     | 82,66              |                 | 10,44           |                 | 11,87           | 123,74 |
| gl                |                  | 6,33              |     | 5,30             |     | 5,30             |     | 6,33               |                 | 5,30            |                 | 5,30            | 5      |
| P                 |                  | <0,001            |     | <0,001           |     | <0,001           |     | <0,001             |                 | <0,001          |                 | <0,001          | <0,001 |

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas não são significativamente diferentes (Tukey, P<0,05\*) O número de repetições é dado pelo valor de n. Ovo-adulto é o somatório das médias das fases de ovo, larval e pupal

Este modelo linear para determinação do limite térmico inferior ( $T_b$ ) é amplamente utilizado em diversos trabalhos (VAN NIEWENHOVE; FRIAS; VIRLA, 2016; SANDHU et al., 2010; HADDAD; PARRA; MORAES, 1999); entretanto, este modelo apresenta limitações para o cálculo dos parâmetros de limiar térmico superior, recomendando-se para este caso o uso de modelos matemáticos não lineares que auxiliem no cálculo, como o trabalho de Logan et al, (1976).

Como na menor temperatura estudada ( $18^{\circ}\text{C}$ ) ocorreu desenvolvimento do inseto, o limiar térmico inferior ou  $T_b$  deve estar abaixo desta temperatura para todas as fases de *L. coffeella*; esta informação está de acordo com os relatos de Parra (1985) para o Brasil e Notley (1948) para a África; os diversos autores relatam que a  $T_b$  para *L. coffeella* se encontra entre  $11$  e  $13^{\circ}\text{C}$  (PARRA, 1985; NOTLEY, 1948; GONZALEZ; KONNOROVA; JASIC, 1972 apud PARRA, 1985).

Com base nos dados biológicos, a temperatura ótima de desenvolvimento ( $T_{opt}$ ) para *L. coffeella* encontra-se entre  $22$  e  $28^{\circ}\text{C}$ , já que nestas temperaturas foi verificado rápido desenvolvimento e maior viabilidade (Tabela 3); como consequência, nessa mesma faixa térmica, os parâmetros calculados na tabela de vida de fertilidade apresentaram os maiores valores, seja a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e razão infinitesimal de aumento ( $r_m$ ) (ver capítulo 3, item 4.3.2); assim, a faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento do bicho-mineiro do cafeeiro deve estar entre  $22$  e  $28^{\circ}\text{C}$ .

Quanto ao limite térmico superior ( $T_{máx}$ ) verificou-se que ele se situa entre  $32$  a  $35^{\circ}\text{C}$  (Tabela 3); nesta última temperatura, conforme já relatado (capítulo 3), houve desenvolvimento embrionário com uma baixa viabilidade ( $35,8\%$ ), ocorrendo  $100\%$  de mortalidade na fase larval.

Portanto, considerando-se os valores estimados pelo modelo linear e comprovados biologicamente, a faixa térmica de desenvolvimento de *L. coffeella* é mais ou menos constante em todas as fases do desenvolvimento (Tabela 4).

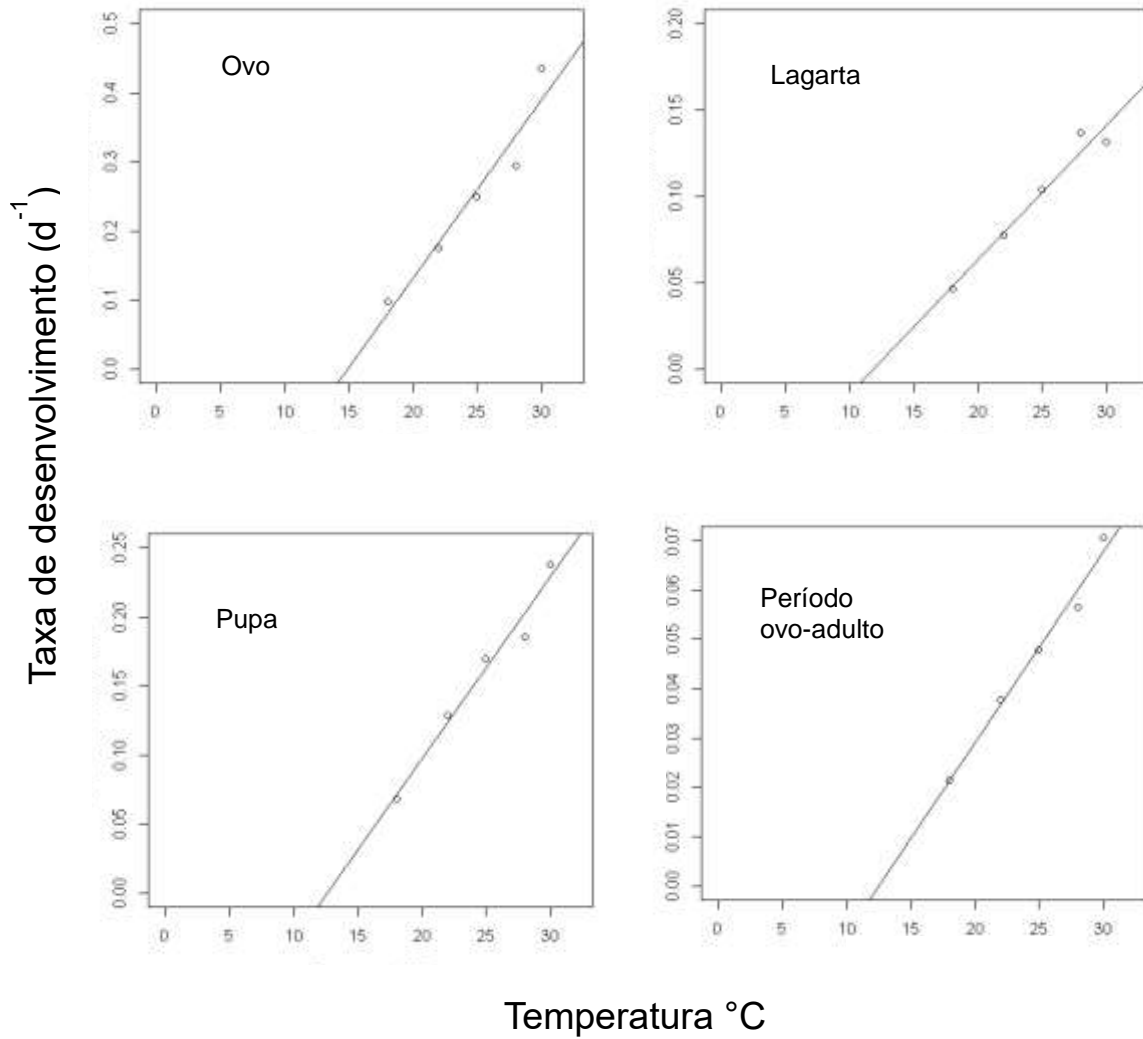


Figura 4 - Relação da taxa de desenvolvimento ( $dia^{-1}$ ) e temperatura ( $^{\circ}C$ ) das diferentes fases de desenvolvimento de *Leucoptera coffeella* e para o período ovo-adulto, descrita pelo modelo linear

A informação obtida na presente pesquisa pode ser usada em programas de Manejo Integrado deste inseto fornecendo informações biológicas úteis para a previsão de surtos e crescimentos populacionais de *L. coffeella*, que podem ajudar no zoneamento da praga, além de ser utilizada como suporte de estudo para o comportamento da praga em diferentes cenários climáticos, de acordo com o trabalho desenvolvido por Ghini et al. (2007).



Tabela 4 - Faixa térmica de desenvolvimento de *Leucoptera coffeella*

| Fase de desenvolvimento e período | Faixa de temperatura °C |
|-----------------------------------|-------------------------|
| ovo-adulto                        |                         |
| Ovo                               | 14-35                   |
| Lagarta                           | 12-32                   |
| Pupa                              | 13-32                   |
| Ovo-adulto                        | 13-32                   |

### 5.3.2 Número de gerações de *L. coffeella* para o estado de São Paulo, Brasil

Com o mapa de isotermas e com os parâmetros biológicos obtidos nas diferentes temperaturas de *L. coffeella*, foi possível determinar para os diferentes municípios da região cafeeira do estado de São Paulo, Brasil, o número estimado de gerações mensais e anuais para a referida praga (Tabela 5) e o mapeamento realizado com esses dados, para cada um dos meses do ano, nas Figuras 2 a 13, e para o ano todo na Figura 14.

Para o estado de São Paulo, as maiores infestações ocorrem no período de estiagem que, geralmente se inicia em abril e perdura até setembro e outubro; já que nos períodos chuvosos as populações ficam reduzidas (CONCEIÇÃO et al., 2005).

De acordo com os resultados obtidos, o número de gerações de *L. coffeella* é de 0,68-1,24 para os meses de setembro e outubro, (Figuras 2 e 3), de acordo com Souza, Reis e Rigitano (1998), ataques e drásticas perdas de folhas nesses meses comprometem a florada e frutificação, esses meses coincidem com o incremento da temperatura, que favorece o inseto.

Os meses de novembro a janeiro, apresentam entre 0,88 a 1,39 gerações por mês de *L. coffeella* (Tabela 5), os incrementos térmicos, favorecem o incremento das populações deste inseto (Figuras 4, 5 e 6).

Nos meses de fevereiro e março, o número de gerações oscila entre 0,73 a 1,22. Nessa época, os frutos maiores, já com 120 dias, e ataques *L. coffeella*, não devem impactar muito o desenvolvimento, embora as temperaturas sejam favoráveis para o desenvolvimento do inseto (Figuras 7 e 8).

No período de abril até junho, o número de gerações varia entre 1,17 a 0,1, dependendo do mês. É a época em que se apresentam os frutos maduros

(CAMARGO; CAMARGO, 2001) e as temperaturas começam a diminuir gradativamente, afetando o número de gerações de *L. coffeella*. No mês de junho, a temperatura média para o estado de São Paulo é de 17,2°C, com 0,99 a 0,1 gerações da praga (Tabela 5), apresentando condições térmicas pouco favoráveis (Figuras 9,10 e 11).

Os meses de junho até agosto (Figuras 11,12 e 13) apresentam temperaturas médias mensais mais baixas do ano, gerando assim, um menor número de gerações de *L. coffeella* quando comparado aos outros meses do ano (Tabela 5). É a época em que são consideradas como época de repouso e senescência de partes da planta de café (PEREIRA, CAMARGO, CAMARGO, 2008), mas ataques severos nesses meses podem impactar negativamente a formação de flores nos meses de setembro e outubro (SOUZA; REIS; RIGITANO, 1998).

O número total de gerações por ano pode variar entre 5,12 a 14,17, dependendo da região e das variações térmicas (Figura 14). Assim, as mesorregiões Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Piracicaba, Campinas e Sorocaba, apresentam maior número de gerações acumuladas por ano quando comparadas com as outras (Tabela 5), já que a cafeicultura nessas regiões se encontra em sua maioria em altitudes mais baixas (600 m) e com temperaturas mais altas.

De acordo com os dados obtidos neste trabalho, podem ocorrer de 5,12 a 14 gerações (Figura 14), sendo que para a região cafeeira propriamente dita, podem ser encontradas até 13,9 gerações por ano (Tabela 5), estes resultados são diferentes aos encontrados por Parra (1985) e por Enriquez et al. (1976), quem encontraram menor número de gerações, já autores como Gonzáles et al. (1972) apud Parra (1985) relatam que esta espécie pode ter até 15 gerações por ano. Já para as mesorregiões avaliadas no presente trabalho, na de Presidente Prudente se obteve um valor de mais de 12 gerações por ano, similar ao reportado por Parra (1985); já os outros valores encontrados para as mesorregiões restantes são superiores ao relatado por este autor.

Tabela 5 - Temperatura média mensal e número provável de gerações de *Leucoptera coffeella* em mesorregiões cafeeiras do Estado de São Paulo, com base na temperatura do ar e no Sistema de Informação Geográfica (SIG) durante os meses do ano

| Mês          | Mesorregião         |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |                   |                       |  |                       |
|--------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|--|-----------------------|
|              | Presidente Prudente |                       | Assis-Marília     |                       | Bauru             |                       | Ribeirão Preto    |                       | Piracicaba        |                       | Campinas          |                       | Macro Metropolitana Paulista* (Sorocaba) |                       |
|              | Tmed<br>Mês<br>°C   | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C | Intervalo<br>gerações | Tmed<br>Mês<br>°C                        | Intervalo<br>gerações |
| Setembro     | 23,8                | 0,97-0,99             | 23,4              | 0,68-1,00             | 22,3              | 0,68-0,76             | 22,7              | 0,74-0,80             | 23,7              | 1,16                  | 22,8              | 0,82-0,92             | 24,6                                     | 1,22                  |
| Outubro      | 24,9                | 1,15-1,18             | 24,5              | 0,87-1,24             | 23,5              | 0,87-0,94             | 23,9              | 0,91-1,10             | 24,8              | 1,22                  | 24,0              | 0,73-1,20             | 25,2                                     | 1,23                  |
| Novembro     | 25,2                | 1,21-1,24             | 24,9              | 0,96-1,20             | 24,1              | 0,96-1                | 24,5              | 0,93-1,23             | 25,2              | 1,23                  | 24,5              | 0,88-1,24             | 25,4                                     | 1,17                  |
| Dezembro     | 25,3                | 1,32-1,34             | 25,9              | 1,08-1,27             | 24,0              | 1,09-1,11             | 24,0              | 0,99-1,2              | 25,5              | 1,27                  | 24,9              | 0,94-1,23             | 25,1                                     | 1,29                  |
| Janeiro      | 25,3                | 1,37-1,39             | 25,2              | 1,15-1,26             | 25,1              | 1,16-1,18             | 25,1              | 0,99-1,25             | 25,6              | 1,29                  | 25,3              | 0,80-1,27             | 24,9                                     | 1,22                  |
| Fevereiro    | 25,4                | 1,23-1,25             | 25,1              | 1,04-1,14             | 25,2              | 1,05-1,17             | 25,1              | 1,04-1,24             | 25,5              | 1,27                  | 25,4              | 0,73-1,25             | 24,5                                     | 1,12                  |
| Março        | 25,3                | 1,17-1,18             | 24,8              | 0,95-1,07             | 24,9              | 0,97-1,12             | 24,7              | 0,93-1,23             | 25,4              | 1,26                  | 25,0              | 0,66-1,22             | 24,1                                     | 1,21                  |
| Abril        | 24,7                | 1,04-1,06             | 23,7              | 0,80-0,94             | 23,7              | 0,80-0,91             | 23,6              | 0,89-1,06             | 24,7              | 1,23                  | 23,8              | 0,52-1,17             | 23,9                                     | 1,15                  |
| Mai          | 23,6                | 0,78-0,81             | 22,0              | 0,52-0,91             | 22,1              | 0,53-0,61             | 22,1              | 0,78-0,94             | 23,7              | 1,15                  | 21,9              | 0,27-0,94             | 23,5                                     | 1,17                  |
| Junho        | 22,5                | 0,60-0,63             | 20,9              | 0,35-0,50             | 20,8              | 0,35-0,43             | 20,9              | 0,76-0,96             | 22,6              | 0,99                  | 20,7              | 0,1-0,71              | 22,9                                     | 0,99                  |
| Julho        | 22,1                | 0,61-0,64             | 20,7              | 0,34-0,50             | 20,2              | 0,34-0,43             | 20,6              | 0,37-0,49             | 22,1              | 0,95                  | 20,3              | 0,1-0,70              | 22,9                                     | 1,00                  |
| Agosto       | 22,9                | 0,82-0,84             | 22,0              | 0,53-0,70             | 20,9              | 0,53-0,60             | 21,4              | 0,57-0,64             | 22,5              | 0,95                  | 21,4              | 0,46-0,88             | 22,7                                     | 0,96                  |
| <b>Anual</b> | <b>24,3</b>         | <b>12,22-12,55</b>    | <b>22,9</b>       | <b>9,27-11,73</b>     | <b>23,1</b>       | <b>9,33-10,26</b>     | <b>23,3</b>       | <b>9,9-12,14</b>      | <b>24,3</b>       | <b>13,97</b>          | <b>23,3</b>       | <b>7,01-12,73</b>     | <b>21,9</b>                              | <b>13,73</b>          |

As temperaturas médias mensais foram obtidas de Alvares et al. (2013). \*Macro Metropolitana Paulista segundo a IBGE (2016)

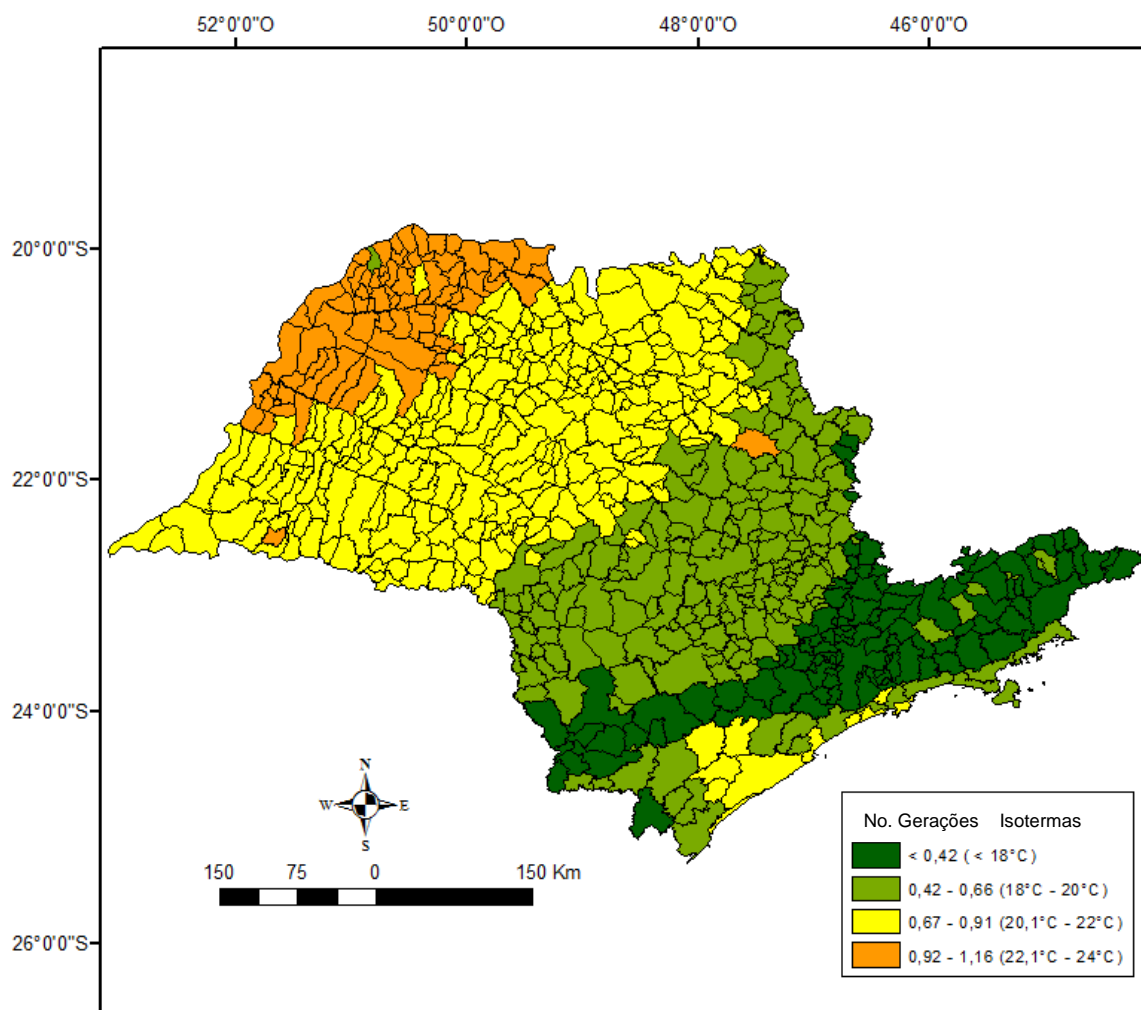


Figura 2 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de setembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

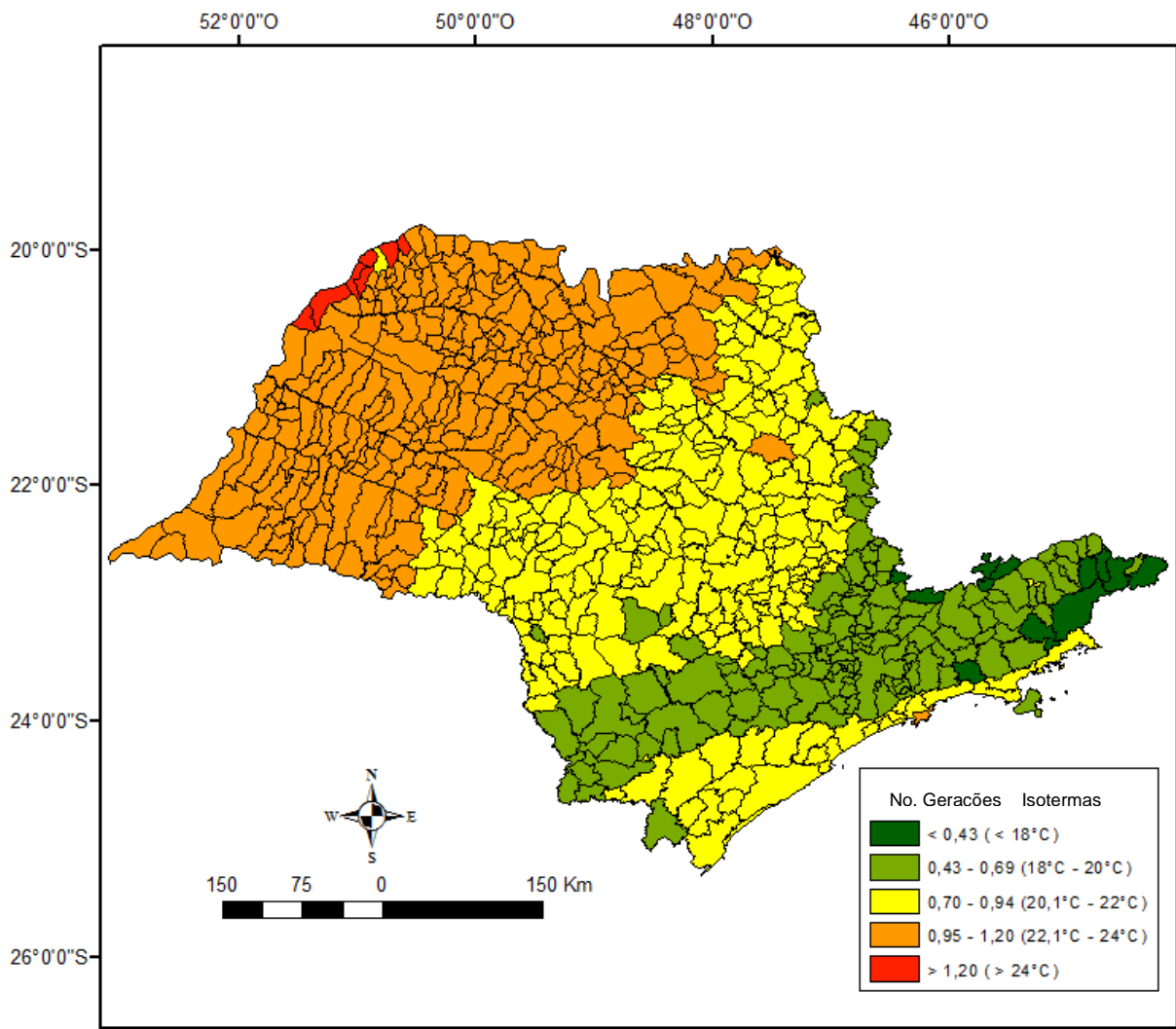


Figura 3 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de outubro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

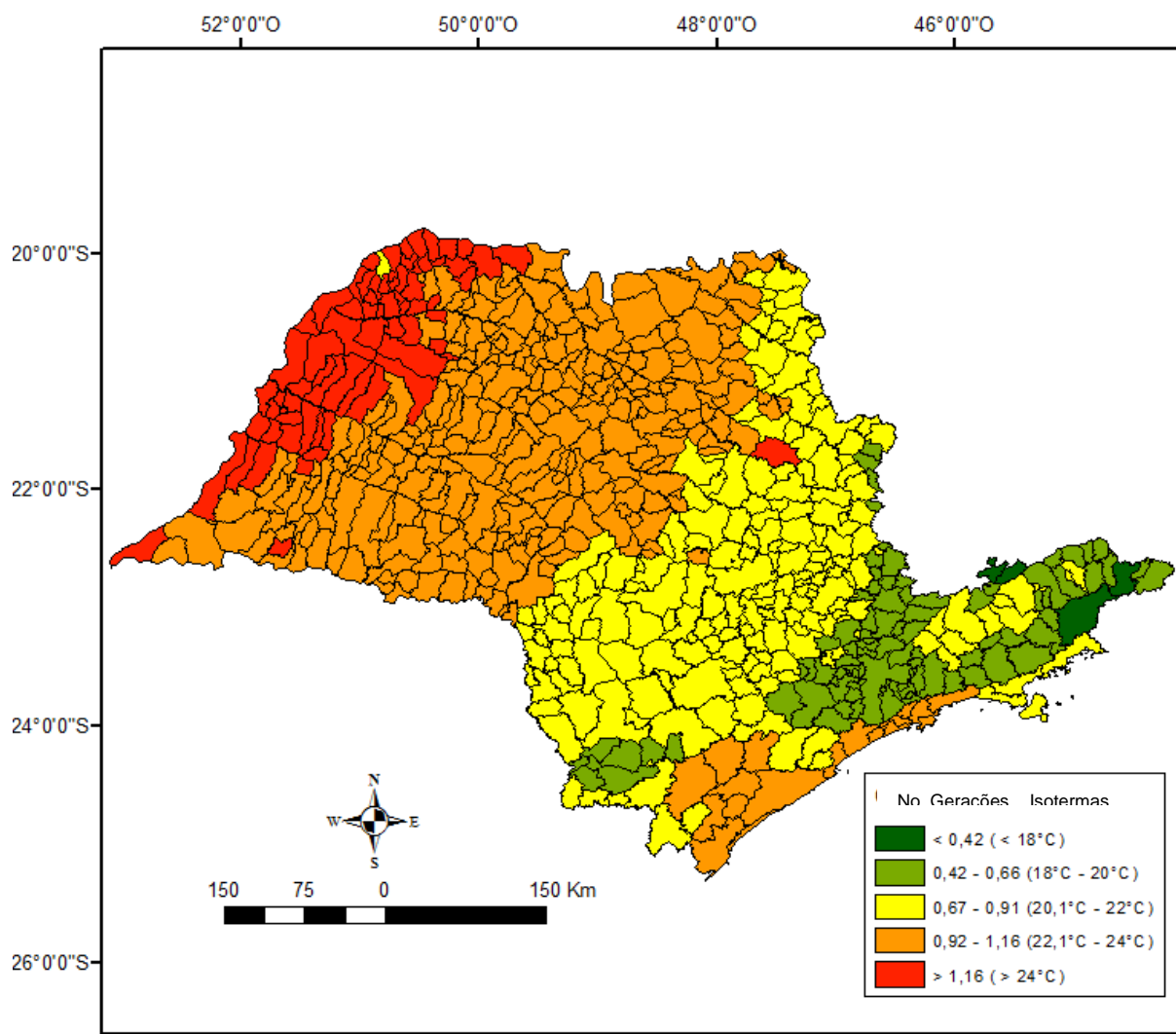


Figura 4 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de novembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

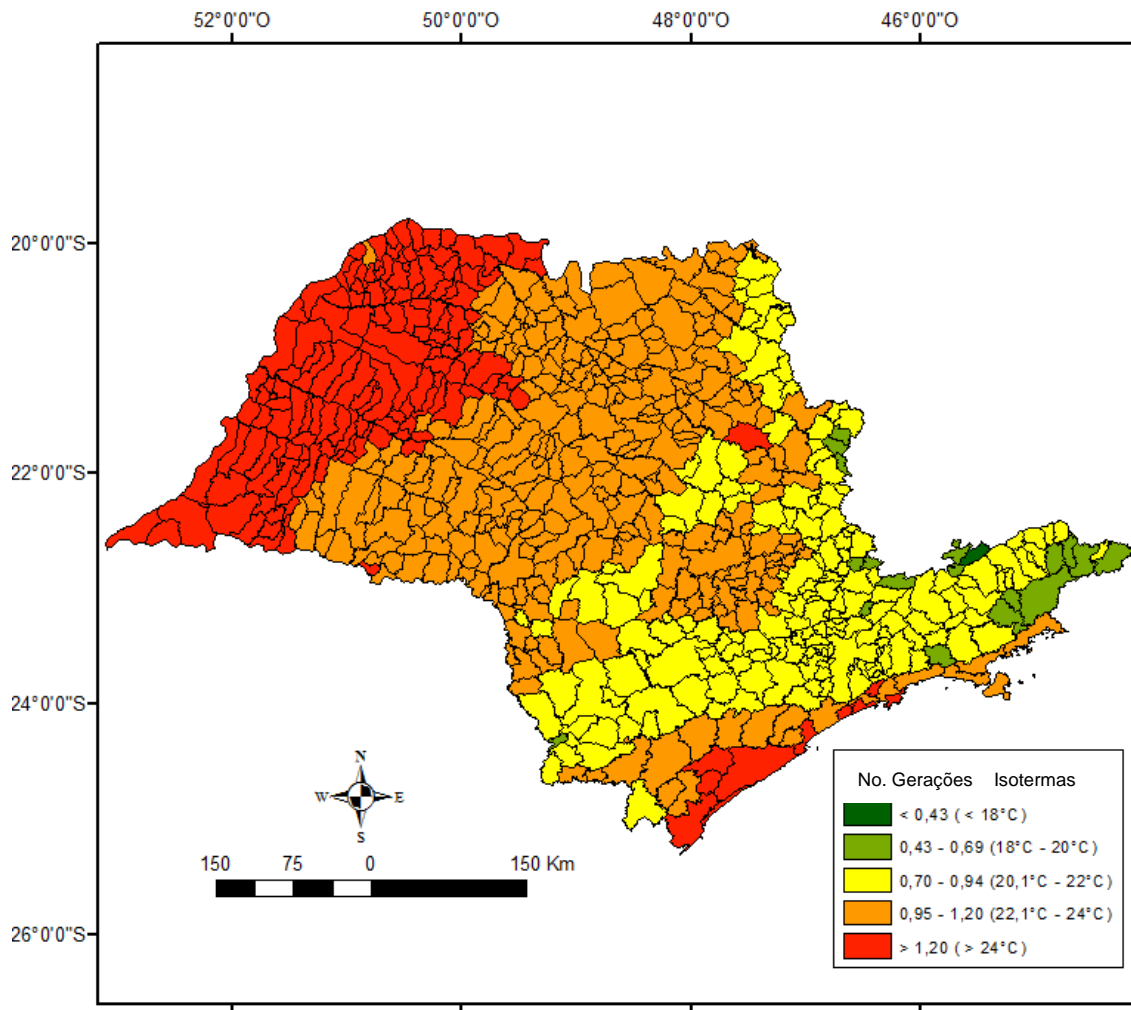


Figura 5 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de dezembro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

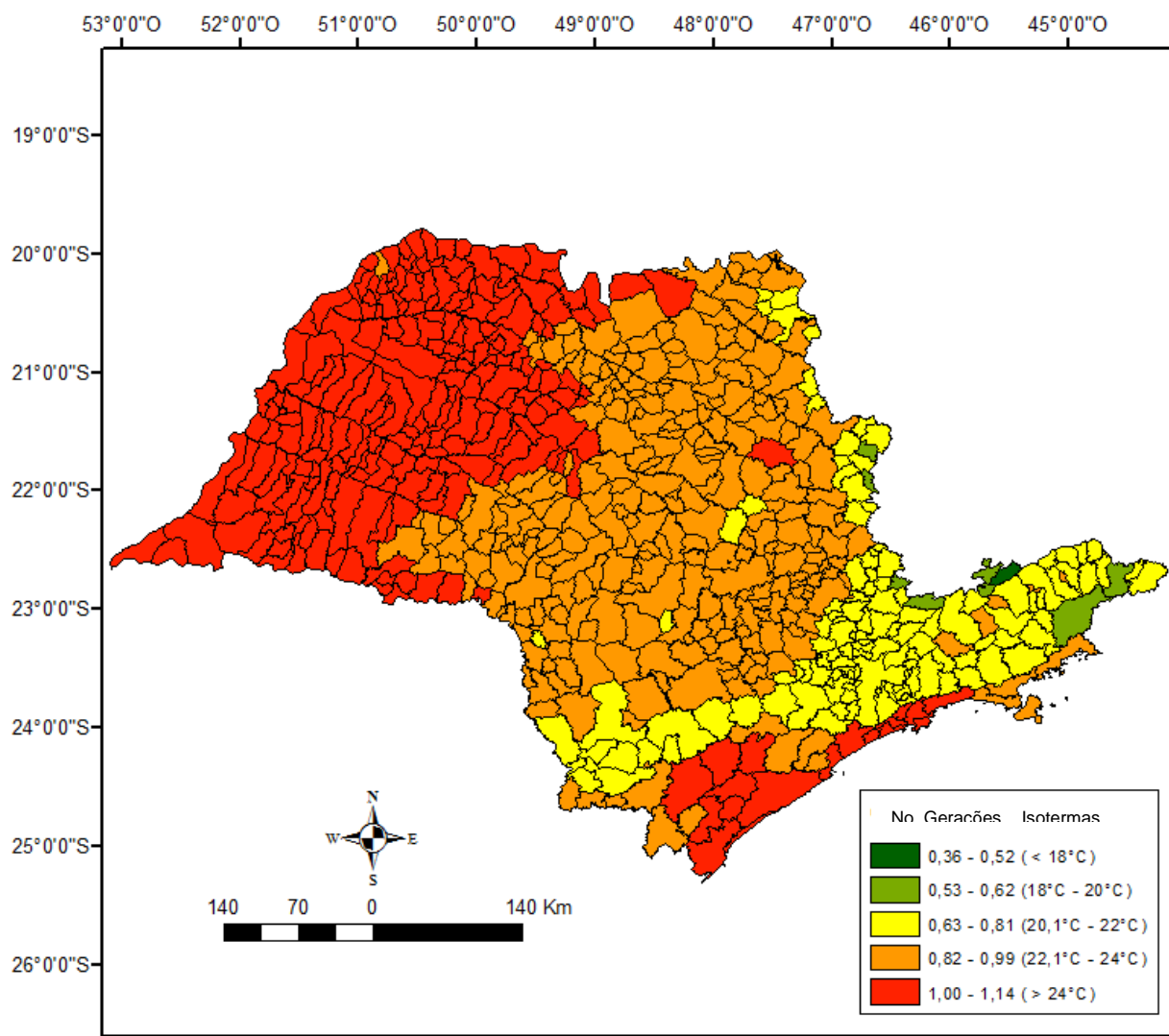


Figura 6 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de janeiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil



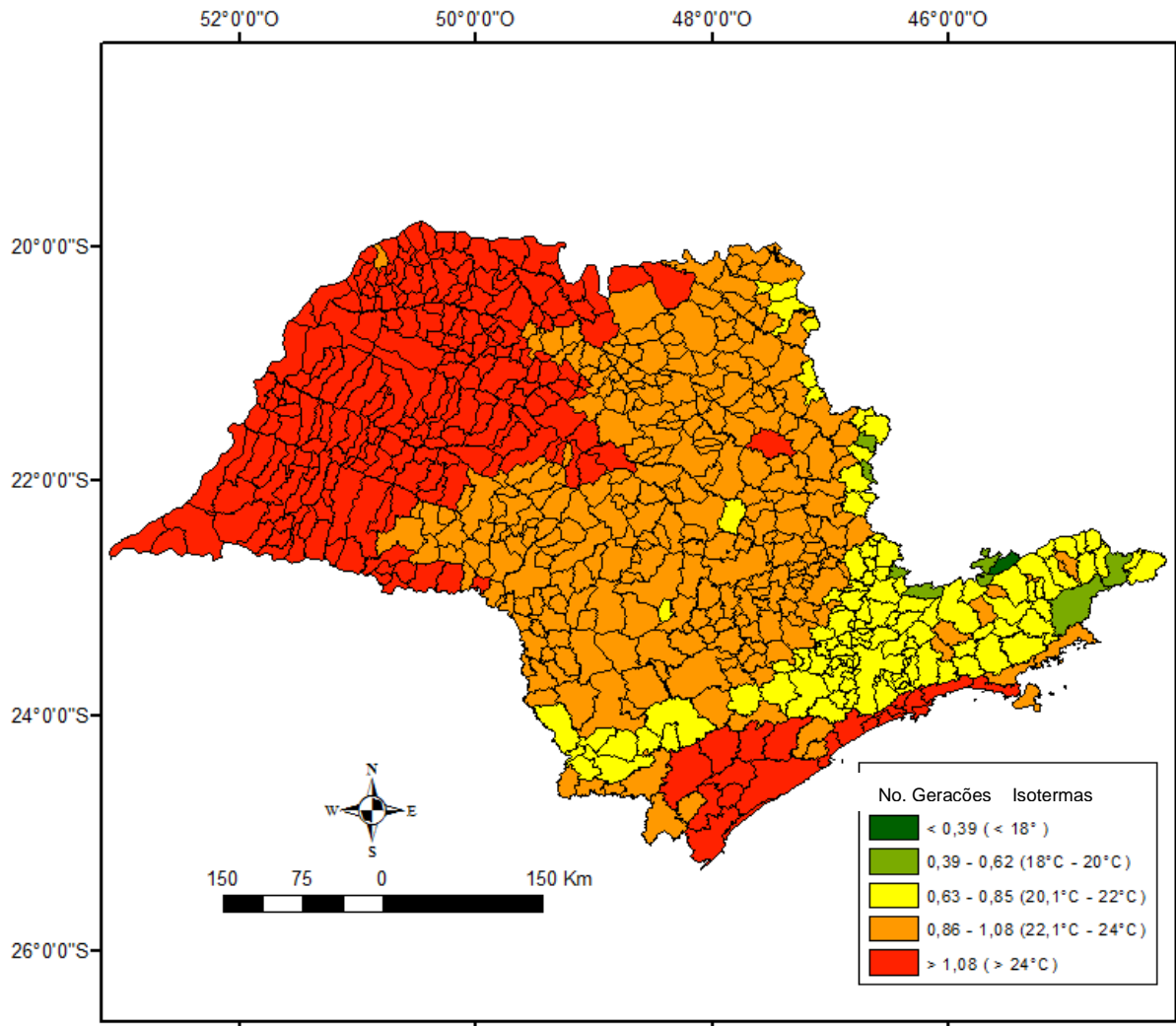


Figura 7 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de fevereiro nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

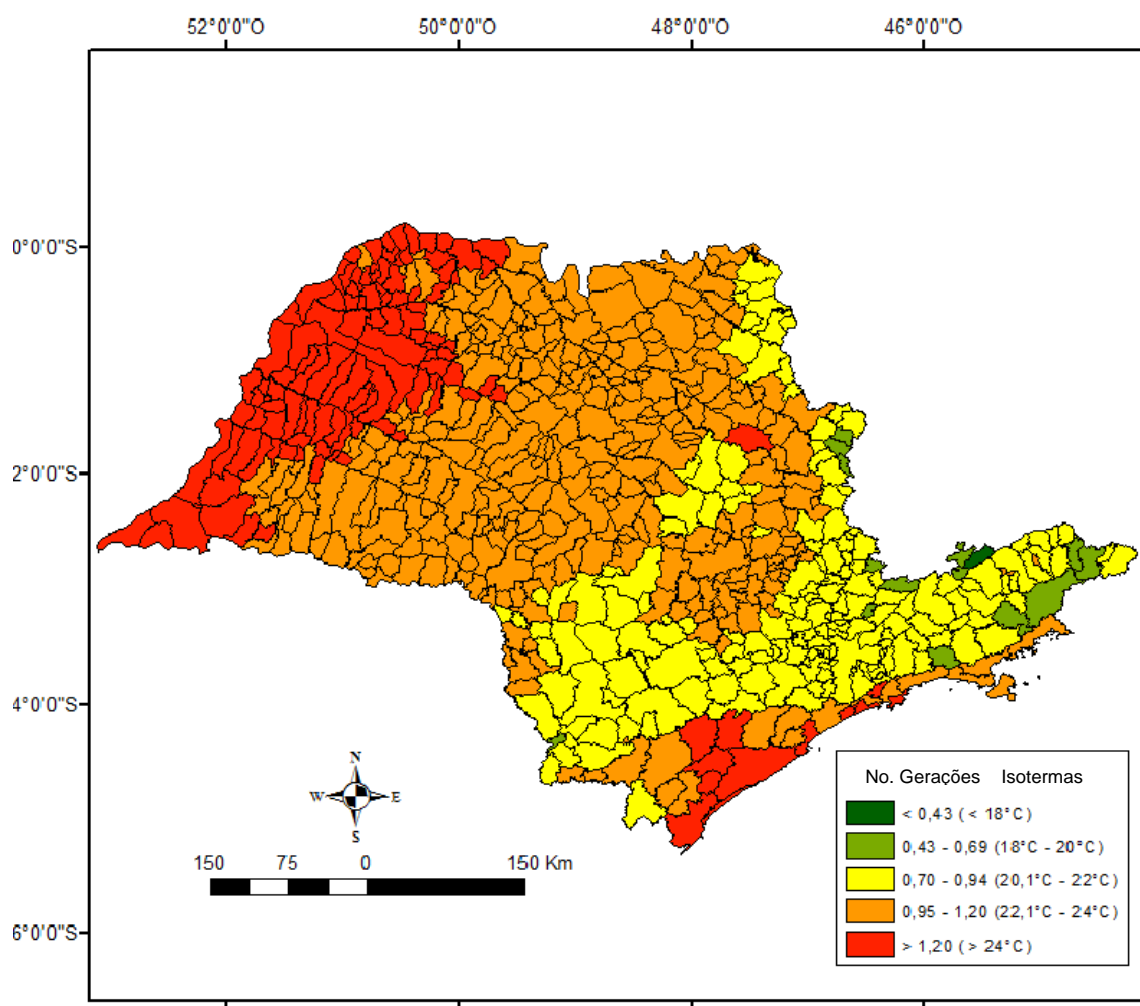


Figura 8 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de março nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

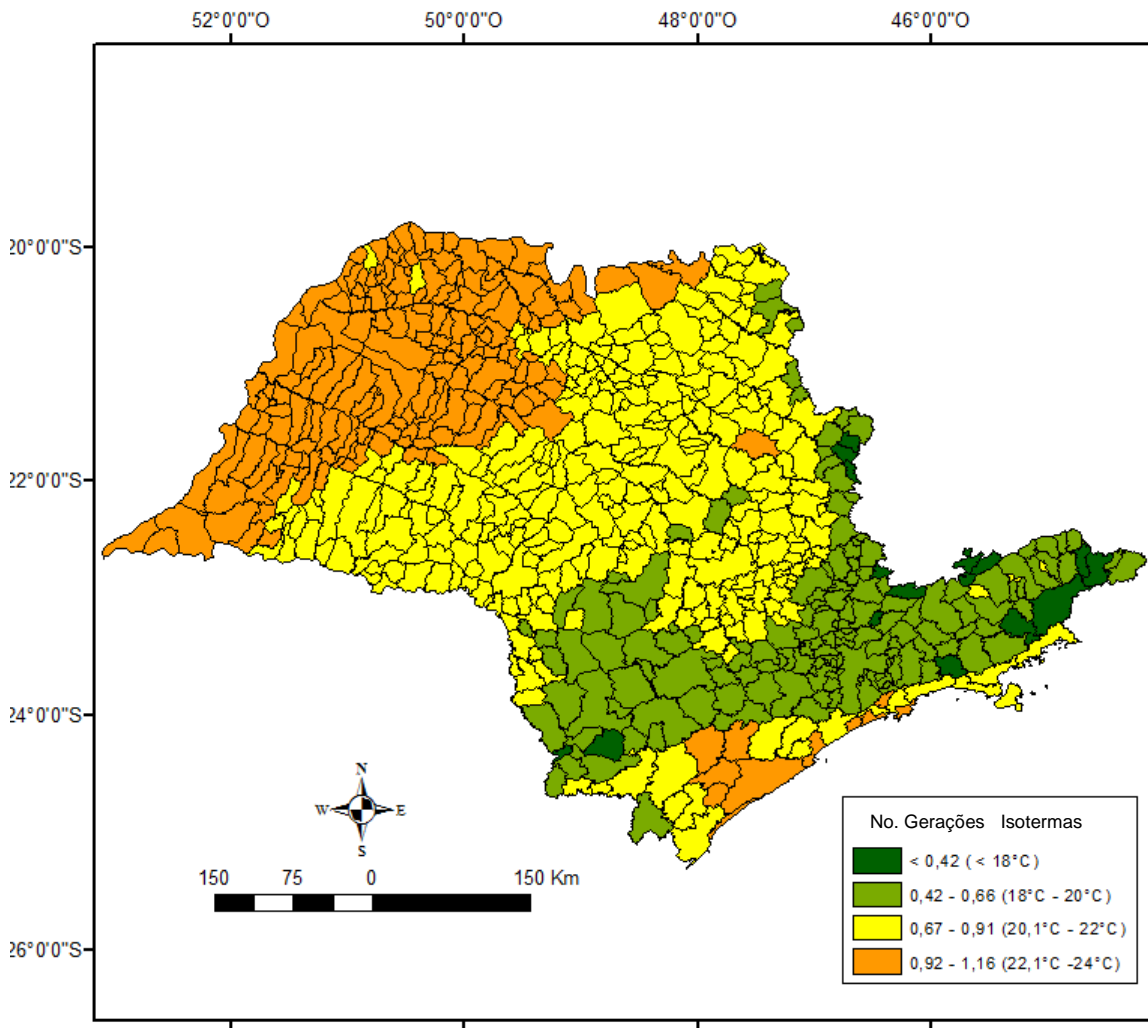


Figura 9 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de abril nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

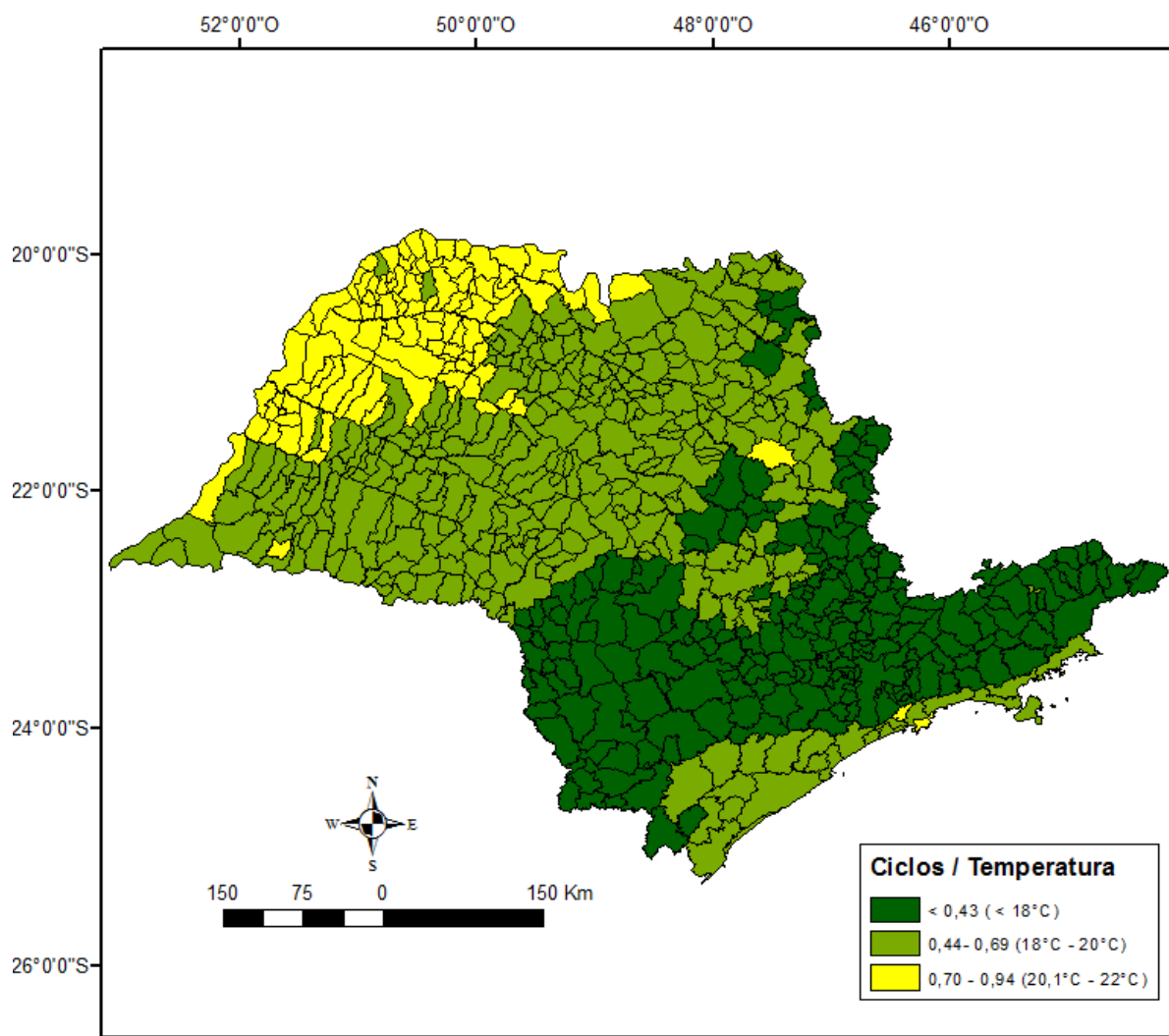


Figura 10 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de maio nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

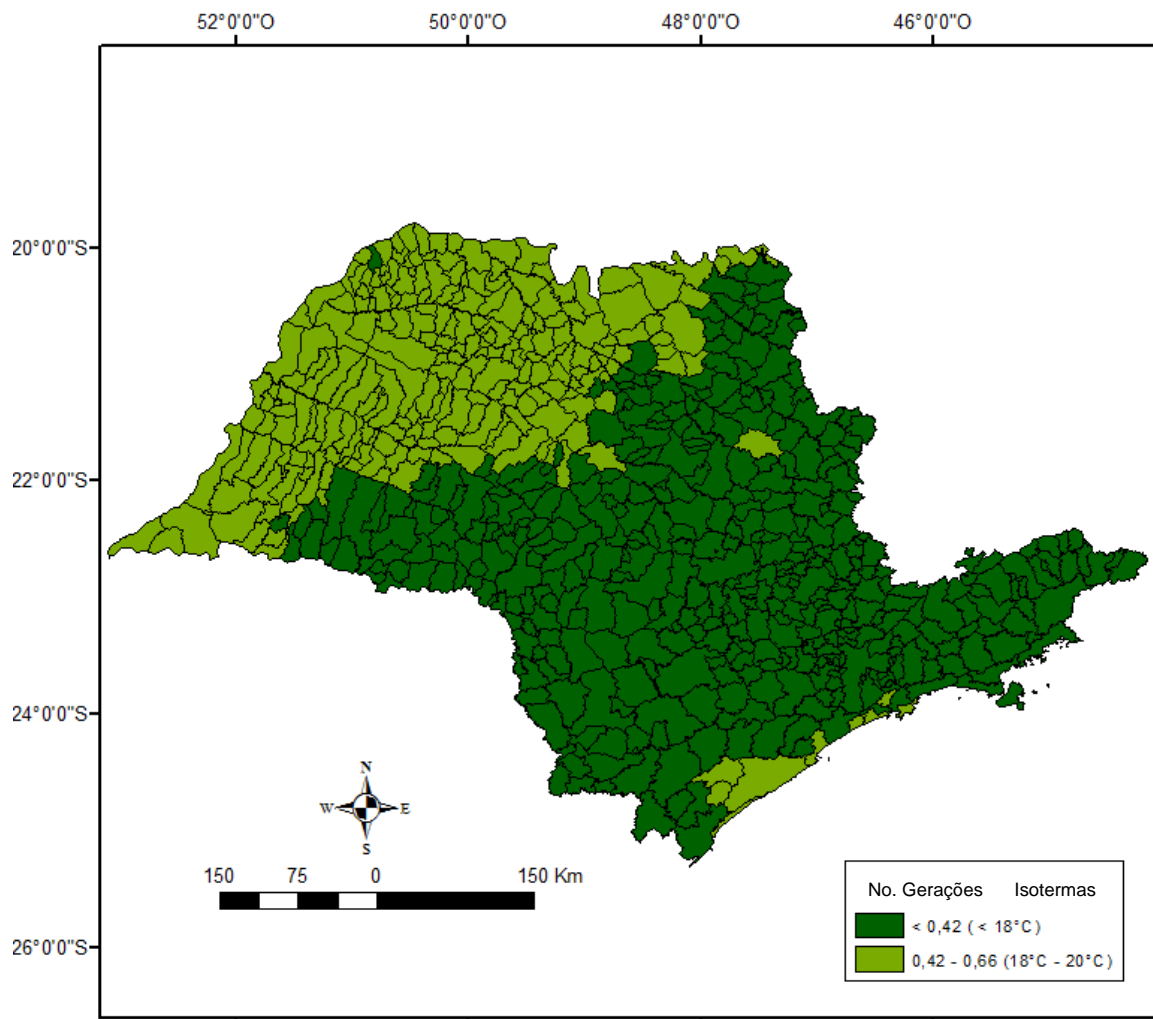


Figura 11 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de junho nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

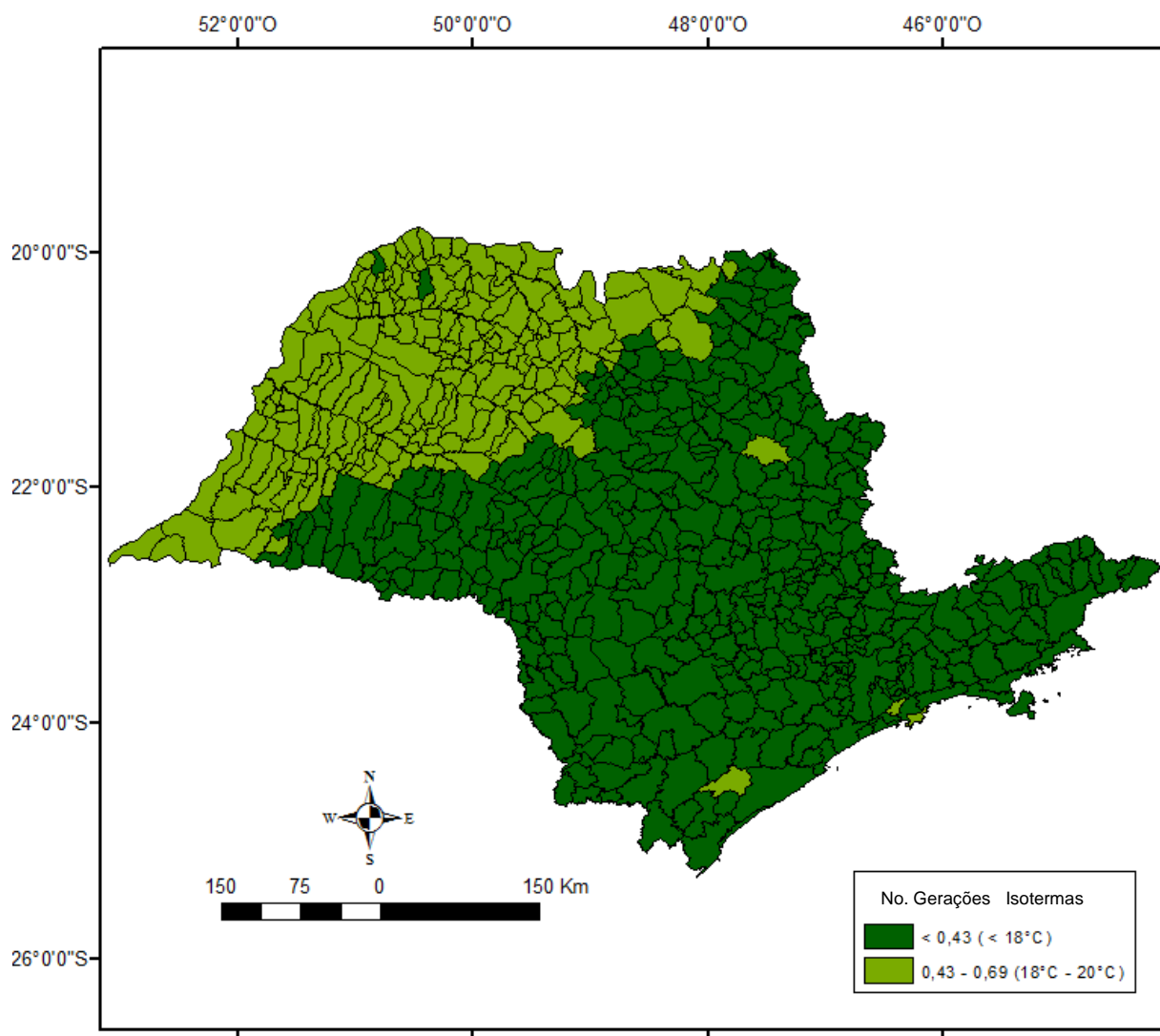


Figura 12 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de julho nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

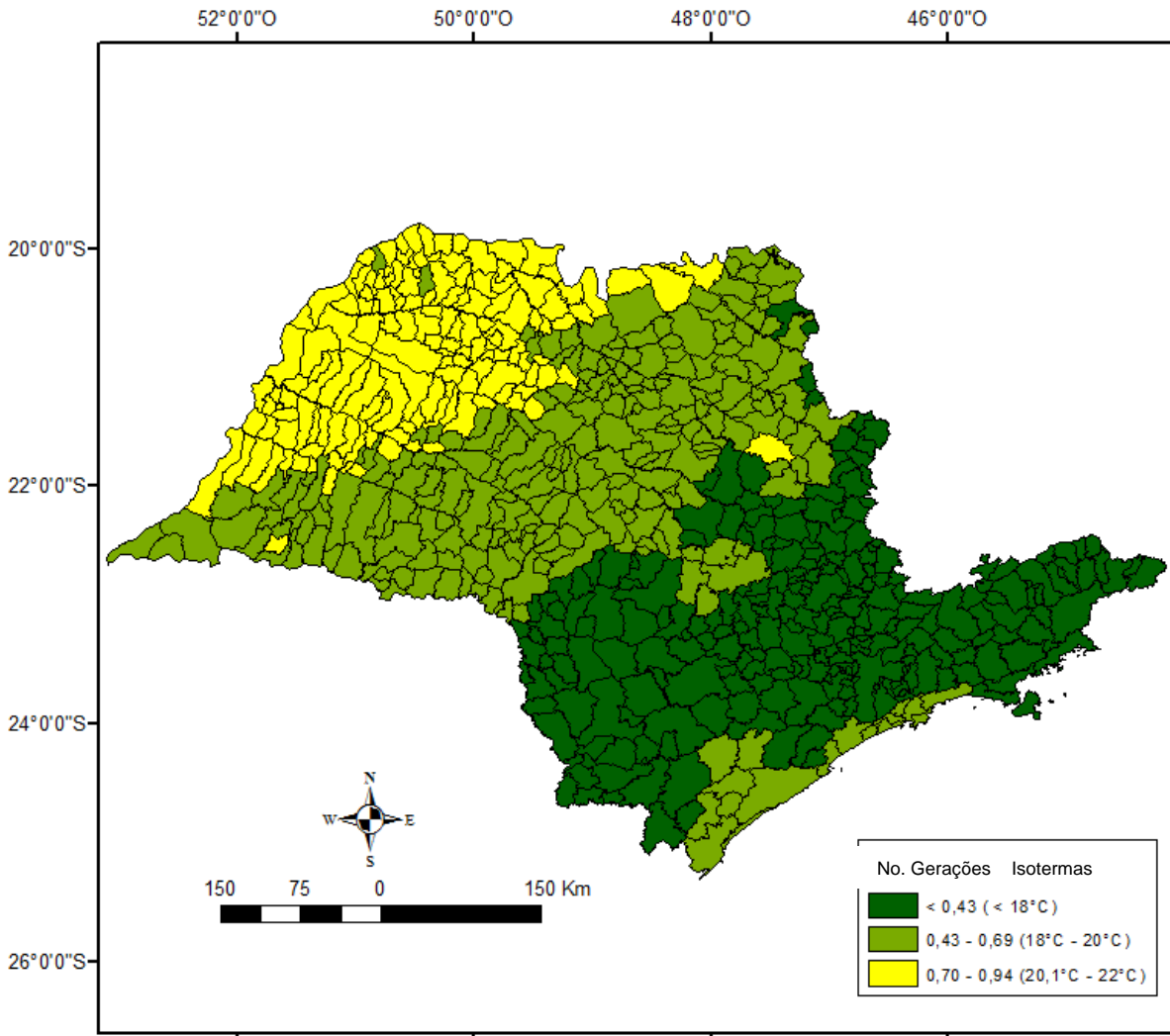


Figura 13 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* no mês de agosto nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

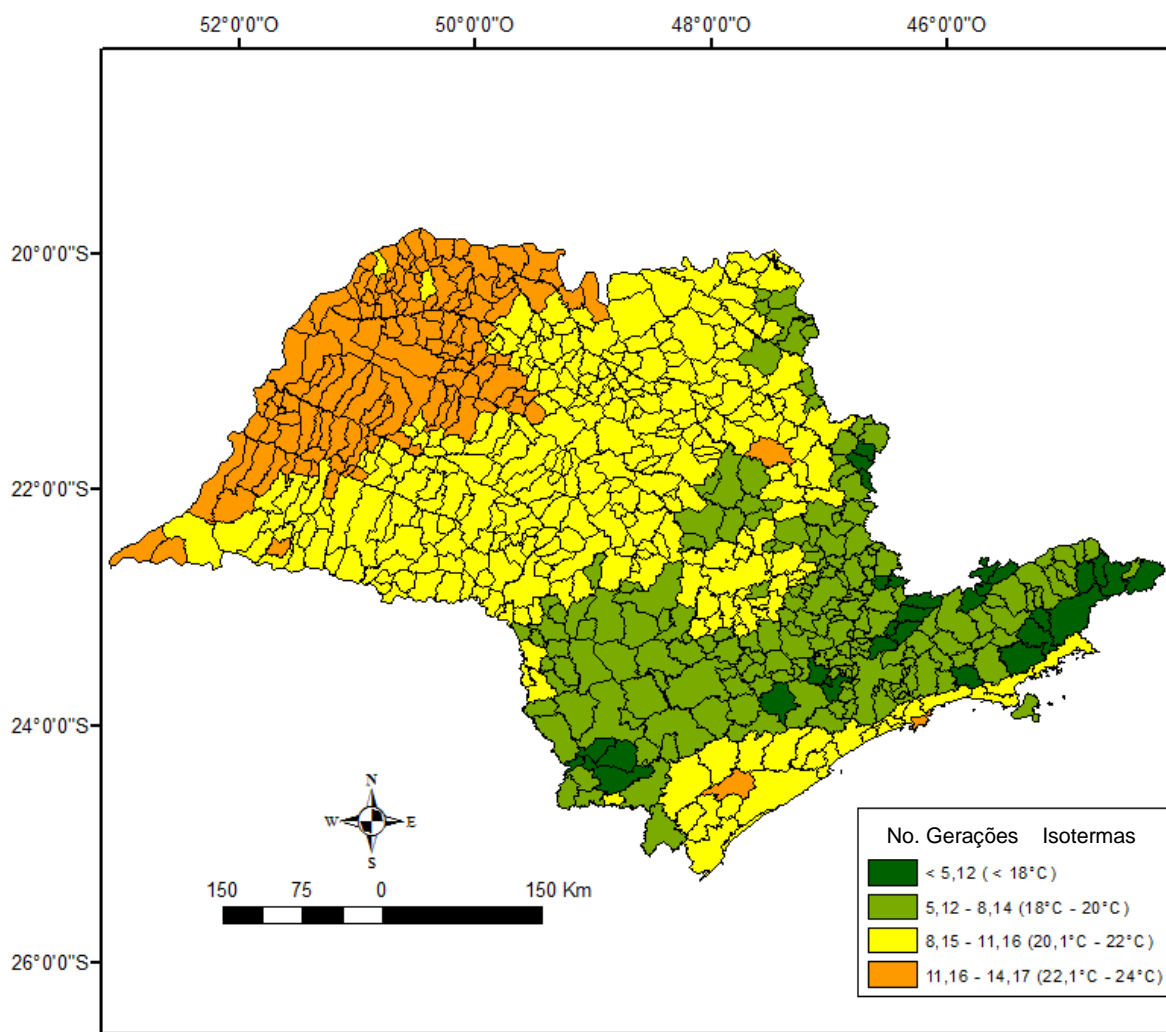


Figura 14 - Número de gerações (período ovo-adulto) de *Leucoptera coffeella* anual nos intervalos de isotermas de <18°C, 18°C-20°C, 20°C-22°C, 22°C-24°C, >24°C no Estado de São Paulo, Brasil

Este cálculo do provável número de gerações de *L. coffeella*, não oferece valores absolutos, já que é necessário ter presente que as populações deste inseto, em condições de campo estão reguladas por outros fatores bióticos e abióticos além da temperatura (Parra, 1985), por isso outros fatores devem ser levados em conta no momento da elaboração de programas de controle integrado desta praga.



## 5.4 Conclusões

1. O tempo de desenvolvimento para o período ovo-adulto de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) é diretamente relacionado com temperatura na faixa de 18 a 32°C;
2. O limite térmico inferior de desenvolvimento ( $T_b$ ) de *L. coffeella* é de 13°C e a constante térmica ( $K$ ) é de 260 GD;
3. Com base no sistema de informações geográficas (SIG), para o estado de São Paulo, podem ocorrer de 5,12 a 14,17 gerações/ano de *L. coffeella*.
4. Nas diferentes regiões cafeeiras do estado de São Paulo, e levando-se em consideração as exigências térmicas de *L. coffeella*, a maior incidência da praga, ocorre naquelas regiões e épocas do ano com temperaturas mais elevadas, mas a praga pode ocorrer o ano todo.

## Referências

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; de MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

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**, St. Joseph, v. 74, p. 430-445, 1959.

BERNAL, J.; GONZÁLES, 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.

BRAMAN, S.K.; PENDLEY, A.F.; SPARKS, B.; HUDSON, W.G. Thermal requirements for development population trends, and parasitism of azalea lace bug (Heteroptera: Tingidae). **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 85, p. 870-877, 1992.

BRIÈRE, J.F.; PRACROS, P.; LE ROUX, A.Y.; PIERRE, J.S. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 28, n. 1, p. 22-29, 1999.

BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. **Model selection and multi model inference: a practical information-theoretic approach**. New York: Springer, 2002. 488 p.

BUTTLER JÚNIOR, G.D.; LOPEZ, J.D. *Trichogramma pretiosum*: development in two hosts in relation to constant and fluctuating temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 73, p. 671-673, 1980.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMIENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015**: quarto levantamento. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

CONCEIÇÃO, C.H.C.; GUERREIRO-FILHO, O.; GONÇALVES, W. Fluctuação populacional do bicho mineiro em cultivares de café arábico resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 625-631, 2005.

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

ENRIQUEZ, E.; BEJARANO, S.; VILA, V. Morfologia, ciclo biológico y comportamiento de *Leucoptera coffeella* Guer. Men. **Revista Peruana de Entomologia**, Lima, v. 18, n. 1, p. 79-81, 1976.

FLETCHER, B.S. Temperature-development rate relationships of the immature stages and adults of tephritid fruit flies. In: ROBISON, A.S.; HOOPER, G. (Ed.). **Fruit flies: their biology natural enemies and control**. New York: Elsevier Science, 1989. p. 209-232.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 920 p.

GOMEZ-TORRES, M.L.; NAVA, D.E.; PARRA, J.R.P. Thermal hygrometric requirements for the rearing and release of *Tamarixia radiata* (Waterston)(Hymenoptera, Eulophidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 58, n. 3, p. 291-295, 2014.

GHINI, R., HAMADA, E.; JUNIO PEDRO, M.J.; MARENGO, J.A.; RIBEIRO, R. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 187-194, 2008.

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

HADDAD, M.L.; PARRA, J.R.P.; MORAES, R.C.B. **Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. 29 p.

HAMADA, E.; MORANDI, M.A.B.; TAMBASCO, F.J.; PEREIRA, D.A.; EVANGELISTA, S. **Estimativa de áreas favoráveis a ocorrência da *Diaphorina citri* (vetor do greening asiático) no estado de São Paulo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. Disponível em:

<<http://www.cenargen.embrapa.br/publica/trabalhos/cot058.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2016.

HARRISON, W.W.; KING, E.G.; OUZTS, J.D. Development of *Trichogramma exiguum* and *T. pretiosum* at five temperature regimes. **Environmental Entomology**, College Park, v. 14, p. 118-121, 1985.

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

IKEMOTO, T.; TAKAI, K. A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. **Environmental Entomology**, College Park, v. 29, p. 671-682. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Centro de referência em nomes geográficos**. Disponível em:<<http://www.ngb.ibge.gov.br/?pagina=meso>>. Acesso em: 17 maio 2016.

LACTIN, D.; HOLLIDAY, N.J.; JOHNSON, D.L.; CRAIGEN, R. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 24, n. 1, p. 68-75, 1995.

LOGAN, J.A.; WOLLKIND, D.J.; HOYT, S.C.; TANIGOSHI, L.K. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 5, n. 6, p. 1133-1140, 1976

MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Coffee. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press. 1977. p. 249-278.

MENENDEZ, R. How are insects responding to global warming? **Tijdschrift voor Entomologie**, Gravenhage, v. 150, p. 355-365, 2007.

MESSENGER, P.S. Bioclimatic studies with insects. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 4, p. 183-206, 1959.

MILANEZ, J.M.; PARRA, J.R.P. Biologia e exigências térmicas de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n.1, p. 23-29, 2000.

MIRANDA, E.E. **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 mar. 2016.

NOLDUS, L.P.J.J. Semiochemicals, foraging behavior and quality of entomophagous insects for biological control. **Journal of Applied Entomology**, College Park, v. 108, p. 425-451, 1989.

NOTLEY, F.B. The *Leucoptera* leaf miners of coffee on Kilimanjaro. I. *Leucoptera coffeella*. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 39, n. 3, p. 339-416, 1948.

OBRYCKI, J.J.; TAUBER, M.J. Phenology of three coccinellid species: thermal requirements for development. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 74, p. 31-36, 1981.

PARRA, J.R.P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guerin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 29, p. 45-76, 1985.

PEREIRA, A.R.; CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 127 p.

QUINN, G.P.; KEOUGH, M.J. **Experimental design and data analysis for biologist**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 537 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

RODRIGUEZ-LADO, L.; SPAROVEK, G.; VIDAL-TORRADO, P. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 460-467, 2007.

SANDHU, H.S.; NUSSLY, G.S.; WEBB, S.E.; CHERRY, R.H.; GILBERT, R.A. Temperature-dependent development of *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane under laboratory conditions. **Environmental Entomology**, College Park, v. 39, n. 3, p. 1012-1020, 2010.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA; CATI; IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/dadosestado.php>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System: getting started with the SAS learning**. Cary, 2010.

SOUZA, J.C.; REIS, P.R.; RIGITANO, R.L.O. **Bicho-mineiro do-cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado**. Belo Horizonte: EPAMIG. 1998. 28 p. (Boletim Técnico, 54).

STERN, V.M.; BOWEN, W. Ecological studies of *Trichogramma semifumatum* with notes on *Apanteles medicaginis*, and their suppression of *Colias eurytheme* in Southern California. **Annals of the Entomological Society of America**, Columbus, v. 56, p. 358-372, 1963.

VAN NIEUWENHOVE, G.A.; FRIAS, E.A.; VIRLA, E.G. Effects of temperature on the development performance and fitness of the corn leafhopper *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: Cicadellidae): implications on its distribution under climate change. **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 18, p. 1-10. 2016.