



A METAMORFOSE DOS INSETOS E SEUS MISTÉRIOS: FENÔMENO DO DESENVOLVIMENTO E FONTE ABUNDANTE DE CONHECIMENTO

Moysés Elias Neto

Departamento de Biologia; Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto; Universidade de São Paulo; Av. Bandeirantes 3900, 14040-901; Ribeirão Preto, SP
 - Laboratório de Biologia do Desenvolvimento de Abelhas (LBDA); Programa de Pós-Graduação em Entomologia; Universidade de São Paulo (campus Ribeirão Preto)
 - Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Labjor); Programa de Pós-Graduação lato sensu em Jornalismo Científico; Universidade Estadual de Campinas
 E-mail: meliasneto@pg.ffclrp.usp.br

Palavras-chave: metamorfose, Genética do Desenvolvimento, *Apis mellifera*

Resumo:

O ano de 2010 foi eleito o Ano Internacional da Diversidade Biológica e os mega-diversos insetos metamórficos certamente são atração especial desta celebração. A metamorfose, drástica reorganização do desenvolvimento durante a qual a larva se transforma em adulto, tem fascinado gerações de pensadores ao longo dos tempos, e ainda guarda mistérios. A Genética do Desenvolvimento tem contribuído cada vez mais para desvendar alguns dos segredos da preparação do inseto para um novo modo de existência e possibilitado um avanço na tentativa de compreensão dos mecanismos geradores de tamanha diversidade.

A metamorfose dos insetos

O fascínio pela metamorfose já seduziu gerações de pensadores da Ciência, da Filosofia e inclusive da Arte. Mesmo após tanto tempo de exaustivos estudos e reflexões, e de inspirações homéricas, este fenômeno da natureza ainda guarda mistérios e propicia às novas gerações de admiradores não menos encanto.

No sentido biológico, o processo metamórfico é uma drástica reorganização do desenvolvimento na qual uma larva imatura se transforma em um adulto reprodutivamente ativo. Essa transição ocorre durante um estágio do ciclo de vida denominado pupal, aparentemente inativo, porém internamente bastante dinâmico. A larva e o adulto possuem características completamente distintas entre si e correspondem a formas especializadas para o crescimento e a reprodução. A pupa não se alimenta nem se movimenta. Essa aparente inércia encobre um intenso processo de diferenciação de células, tecidos e órgãos que, em conjunto, incorporam a revolução ontogenéti-

ca do inseto em sua preparação para um novo modo de existência.

A Assembléia Geral das Nações Unidas declarou o ano de 2010 como o Ano Internacional da Diversidade Biológica. Os insetos certamente podem ser considerados uma atração especial desta celebração, uma vez que são conhecidas quase 1 milhão de espécies desta classe de artrópodes, com estimativa da existência de cerca de 5 milhões. Em particular, os holometábolos compreendem aproximadamente 80% das espécies de insetos e destacam-se como a linhagem mais diversificada dentre todos os animais.

Uma indagação muito comum entre os entomólogos continua sendo: que adaptações possibilitaram aos insetos, em especial aos holometábolos, a diversificação que nenhum outro grupo animal jamais atingiu em toda a história da vida em nosso planeta? Uma delas é o exoesqueleto (ou cutícula), que confere proteção e suporte, além ser uma interface entre o animal e o meio ambiente. Outro elemento fundamental são as asas, que possibilitam ampla dispersão. Mas, nenhuma explicação de tamanha diversidade é tão convincente quanto as importantes adaptações relacionadas à metamorfose, como a habilidade de exploração de nichos ecológicos distintos (um pela larva e outro pelo adulto) e a possibilidade de ciclos de vida relativamente flexíveis (alguns incrivelmente rápidos e outros estrategicamente prolongados, em sintonia com as condições do meio ambiente).

Na classe Insecta são observadas basicamente três condições metamórficas, com crescentes graus de modificações morfológicas: ametábola, hemimetábola e holometábola (**Figura 1**). Os insetos ametábolos, por exemplo, as traças (ordem Thysanura), possuem desenvolvimento direto, no qual o adulto assemelha-se a uma forma ampliada do juvenil. Nos outros dois grupos, o desenvolvimento é indireto. Em hemimetábolos, como libélulas, gafanhotos, percevejos, o indivíduo jovem que eclode do ovo (ninfa) passa por uma transformação parcial, evidenciada pelo desenvolvimento de algumas estruturas como as asas e a genitália. Já nos holometábolos, como besouros, abelhas, mariposas, pernilongos, a metamorfose é completa, envolvendo uma dramática reestruturação de todo o corpo do animal.

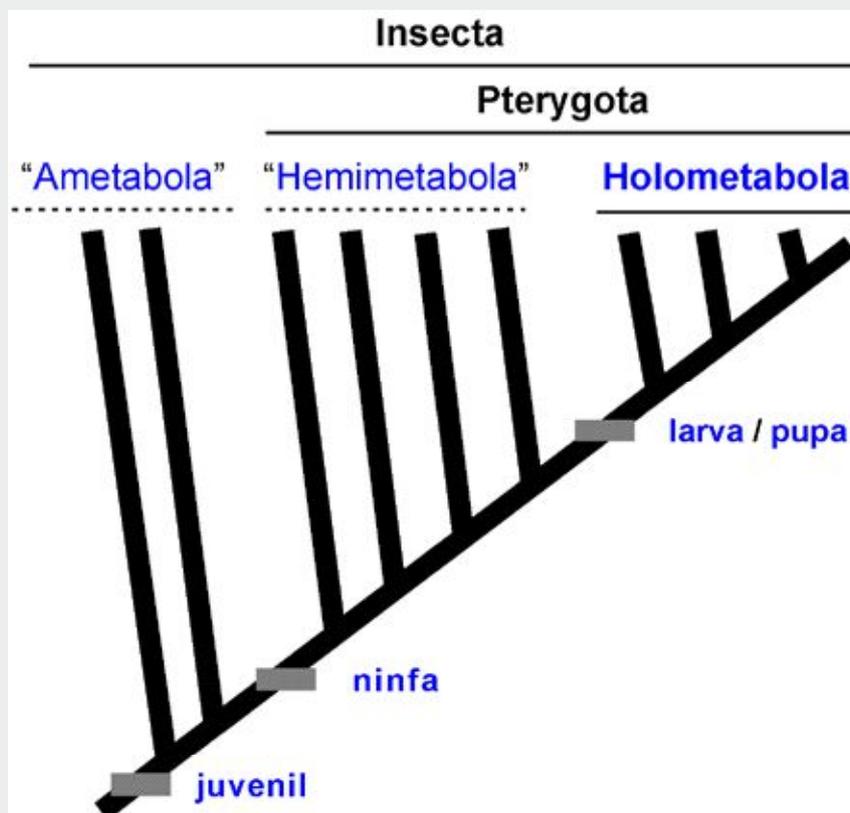


Figura 1. Diagrama filogenético simplificado mostrando os três grandes grupos de insetos de acordo com o padrão metamórfico (em azul). O clado Pterygota (“Hemimetabola” + Holometabola) compreende os insetos alados. Holometabola é um grupo reconhecidamente monofilético, pois consiste de um conjunto de organismos que compartilham um ancestral comum e exclusivo, representando uma linhagem evolutiva natural e não um agrupamento taxonômico artificial (representado entre aspas, como ocorre em “Ametabola” e “Hemimetabola”).

Investigando a origem da metamorfose

Enquanto as consequências adaptativas do padrão de desenvolvimento holometábolo são relativamente bem conhecidas, as causas de sua origem revelam-se um tanto quanto enigmáticas. Do ponto de vista evolutivo, o que é a larva? E a pupa? De quais formas ontogenéticas elas derivaram?

No início do século XX, duas diferentes hipóteses foram propostas para estas intrigantes questões. O entomologista italiano Antonio Berlese (1863-1927) consi-

derou a larva dos Holometabola homóloga ao embrião dos Hemimetabola, mais especificamente a um estágio de vida transitório e normalmente negligenciado denominado pró-ninfa. Nesse sentido, a pupa seria homóloga à ninfa. Por outro lado, E. Poyarkoff enfatizou a homologia entre a larva dos holometábolos e a ninfa dos hemimetábolos, sendo a pupa um sub-estágio do adulto. Na tentativa de explicar essas teorias por meio de analogias, pode-se considerar que Berlese comparou a larva a um “embrião de vida livre” e Poyarkoff considerou a pupa como “um molde do adulto” (**Figura 2**).

A

ANTONIO BERLESE
(VIA ROMANA, 19 — Firenze)

INTORNO ALLE METAMORFOSI DEGLI INSETTI

B

ESSAI
D'UNE THÉORIE DE LA NYMPHE
DES
INSECTES HOLOMÉTABOLES

PAR
E. POYARKOFF
Laboratoire de Physiologie du Ministère de l'Intérieur, Saint-Petersbourg

Figura 2. Frontispício dos clássicos artigos de Berlese (A, publicado na revista *Redia* em 1913) e Poyarkoff (B, publicado em *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale* em 1914).

Após um tempo prolongado de muitos impasses e poucos consensos, apenas na última década uma luz foi lançada sobre essa problemática. Há aproximadamente dez anos, em setembro de 1999, o casal de biólogos James Truman e Lynn Riddiford, na época professores da Universidade de Washington, publicou um artigo emblemático na revista *Nature* intitulado *The origins of insect metamorphosis*. Neste trabalho, evidências endócrinas e morfológicas corroboram a teoria de Berlese sobre a equivalência entre a pró-ninfa e a larva, e entre a ninfa e a pupa.

Segundo a hipótese de Truman e Riddiford, a origem da metamorfose está intimamente relacionada à heterocronia, isto é, à modificação no padrão temporal da secreção de hormônio juvenil, que é um fator morfogenético fundamental para o desenvolvimento dos insetos. A antecipação na liberação desse hormônio durante o período embrionário do ancestral de todos os holometábolos pode ter sido a causa da transição entre a pró-ninfa e a primeira larva, chamada pelos autores de “protolarva”. Tal mudança foi mantida ao longo da história evolutiva e a larva tornou-se um estágio de vida cada vez mais estável e representativo para o desenvolvimento.

A partir dessas considerações, o grupo de pesquisa por eles liderado já acumulou novas evidências que fortalecem ainda mais a hipótese do cientista italiano. É o caso, por exemplo, do gene *broad*, componente essencial na evolução da metamorfose uma vez que codifica o fator de transcrição determinante do estágio metamórfico tanto em hemimetábolos (ninfa) como em holometábolos (pupa).

Apesar disso, um consenso nessa discussão secular sobre a origem da metamorfose em insetos está longe de ser alcançado. O artigo mencionado é sem dúvida seminal, revitalizou estudos na área e hoje é fonte de inspiração para novas linhas de pesquisa. No entanto, apesar da hipótese ser extremamente elegante e de grande poder

explicativo, ainda não foi plenamente aceita pela comunidade científica.

A Genética do Desenvolvimento nos estudos sobre metamorfose

Nas investigações de Truman e Riddiford foi utilizado um clássico modelo holometábolo, o lepidóptero *Manduca sexta*. O prestígio científico desta mariposa se deve em parte a atributos interessantes que facilitam o manuseio experimental, como o tamanho grande e o ciclo de vida relativamente curto. Além disto, devido aos danos econômicos que provoca como praga do tabaco, tem sido também estudada com a finalidade de auxiliar o combate à sua própria proliferação através da produção de inseticidas que bloqueiam a metamorfose.

No Brasil, um outro holometábolo, a abelha *Apis mellifera*, vem se firmando como um importante organismo para estudos sobre metamorfose. Desta linha de pesquisa participa ativamente o Laboratório de Biologia do Desenvolvimento de Abelhas (LBDA), do campus de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, coordenado pelos professores Zilá Simões, Márcia Bitondi e Klaus Hartfelder. As investigações deste grupo enquadram-se na área conhecida como Genética do Desenvolvimento.

A espécie *Apis mellifera* possui um rico histórico como organismo experimental, tendo sido estudada sob perspectivas tão diferentes como a de um apicultor e a de um biólogo molecular. A notabilidade deste inseto se deve à sua natureza singular, associada a interesses econômicos não apenas pelos recursos aproveitáveis das colmeias (cera, mel, própolis, geleia real, pólen, entre outros), mas também por seu potencial agrícola polinizador. Além disso, representa um ícone dentre os insetos sociais. Em 2006 esta espécie esteve em evidência no cenário científico internacional com o anúncio do sequenciamento de seu genoma por um consórcio de laboratórios de pesquisa, entre os quais o LBDA. O projeto

genoma em *Apis mellifera* foi o primeiro a ser realizado com um inseto social e, dada a importância deste trabalho, os resultados foram publicados na revista *Nature*, um dos mais importantes periódicos científicos.

A metamorfose em *Apis mellifera*, assim como em todos os demais holometábolos, ocorre dentro do contexto dos ciclos de crescimento caracterizados por mudas, ou seja, substituição periódica da velha cutícula por uma nova, recém sintetizada. A transição larva-pupa-adulto

ocorre através de dois ciclos de muda: a pupação (muda metamórfica) e a diferenciação do adulto (muda imaginal) (**Figura 3**). O que torna este modelo ainda mais interessante é que a ontogênese desta abelha se desdobra na produção de três formas típicas de adultos morfológica e funcionalmente diferentes: o zangão (macho), a rainha (fêmea reprodutiva) e a operária (fêmea infértil, porém com potencial reprodutivo).



Figura 3. Metamorfose da abelha *Apis mellifera*. Transição larva-pupa-adulto através das mudas metamórfica e imaginal (setas). Nesta sequência de fotos, referente ao desenvolvimento da fêmea operária, é possível observar a mudança geral na forma corpórea durante a pupação, bem como a pigmentação dos olhos e do restante do corpo ao longo do processo de diferenciação do adulto.

Em artigo recém-publicado no periódico *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, o grupo de Ribeiro Preto caracterizou um componente significativo da muda e metamorfose de *Apis mellifera*: o gene codificador da enzima Lacase 2. Um dos resultados do trabalho (**Figura 4**) mostra a consequência da manipulação ex-

perimental da expressão deste gene, por meio de técnica denominada silenciamento gênico. Em abelhas submetidas a esse procedimento, observa-se claramente o efeito inibitório na diferenciação do adulto, evidência do papel desta enzima como mediadora de reações que envolvem a esclerotização (enrijecimento) e a melanização (pigmentação) do exoesqueleto.

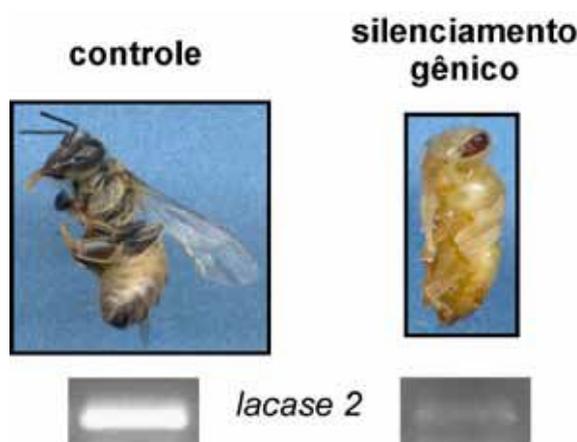


Figura 4. Inibição da diferenciação do adulto. As fotos representam vista lateral de fêmeas operárias controle (esquerda) e submetida ao silenciamento gênico (direita). As bandas claras na porção inferior correspondem à quantidade relativa de RNA mensageiro codificador da enzima Lacase 2 (recém-publicado no periódico *Insect Biochemistry and Molecular Biology*).

Esta é uma singela descoberta dentre tantos segredos que os mestres da diversidade, os insetos metamórficos, ainda estão por revelar. Para o austríaco Karl von Frisch (1886-1982), as abelhas são comparáveis a um poço mágico do qual quanto mais conhecimento se tira mais há para tirar. Podemos parafraseá-lo na ideia de que também a metamorfose é um poço inesgotável de saberes e mistérios. Este exímio zoólogo, ganhador do prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1973, ainda deixa outra grande lição: “Basta que contemples a viva natureza com olhos abertos, terás assunto para a eternidade e aprenderás a ser modesto”.

Agradecimentos:

Aos professores Márcia M. G. Bitondi e Claudio G. Froehlich pelos ensinamentos e comentários ao texto, e ao professor Francis M. F. Nunes pelo exemplo e incentivo na área de divulgação científica. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo 2007/08300-2) pelo apoio científico e financeiro.

Sugestões de leitura:

- Costa, C.; Ide, S. & Simonka, C.E. (Eds.), 2006. Insetos Imaturos. Metamorfose e Identificação. Holos, Ribeirão Preto.
- Elias-Neto, M.; Soares, M.P.M.; Simões, Z.L.P.; Hartfelder, K. & Bitondi, M.M.G., 2010. Developmental characterization, function and regulation of a Laccase2 encoding gene in the honey bee, *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apinae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 40, 241-251.
- Gilbert, S.F., 2006. *Developmental biology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland.
- Grimaldi, D. & Engel, M.S., 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hartfelder, K., 2006. Genética do Desenvolvimento e evolução dos grandes grupos de animais. *Genética na Escola* 01.02, 93-100.
- Truman, J. W. & Riddiford, L. M., 1999. The origins of insect metamorphosis. *Nature*. 401, 447-52.
- Winston, M.L., 2003. *A biologia da abelha*. Magister, Porto Alegre.